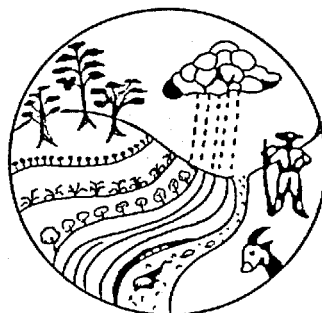


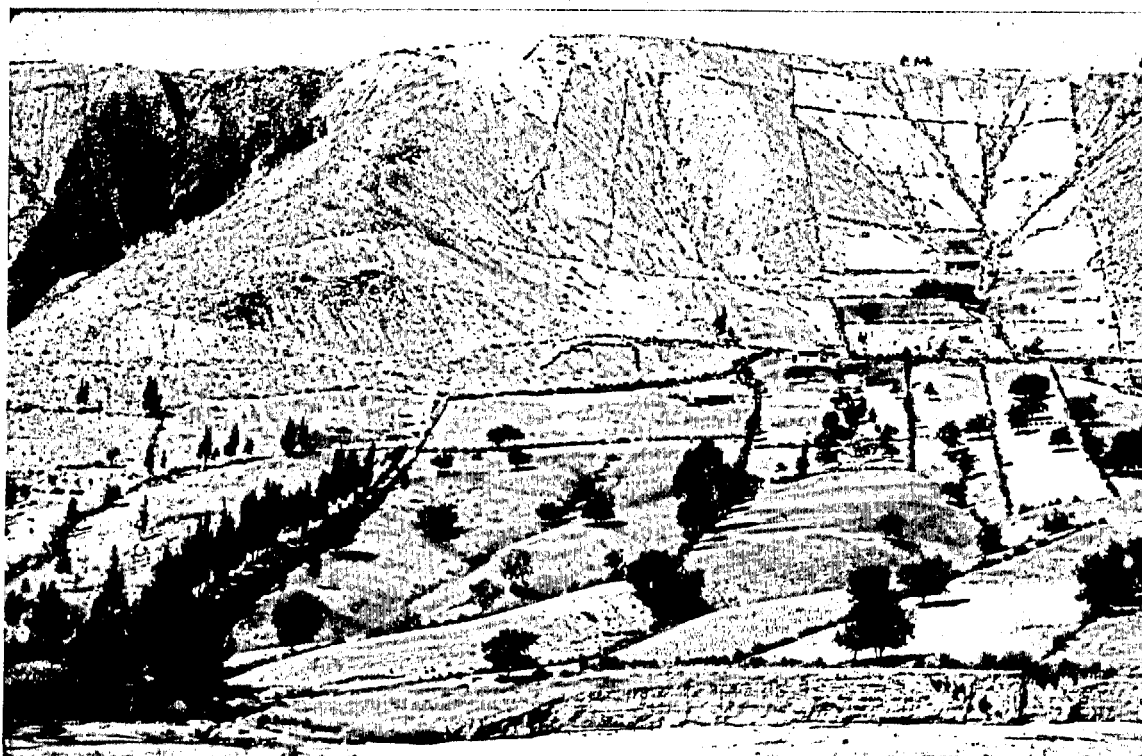
RESEAU EROSION

BULLETIN 15

1995



ENVIRONNEMENT HUMAIN DE L'EROSION



Centre ORSTOM - BP 5045 - F 34032 Montpellier cedex 1, France
Tel : (33) 67 61 75 65 ou 61 Fax : (33) 67 54 78 00

SOMMAIRE DU BULLETIN RESEAU EROSION N°15

1995

AVANT-PROPOS

LE RESEAU Editorial (2), Questionnaire d'inscription (3)

FICHE AUTEURS Equipe "BIDI" : Lamachère, Serpantié, etc...(4)

La XIème REUNION Compte rendu et bilan de l'année 1994 (Roose) (14)
Les excursions (Veyret et Penven+Muxart) (19)

Thème 1 : Relations entre structures agraires, démographie et érosion

Ngenzi et Mietton (31), Faho (44), Perez et Sene (59), Laouina (70), Segala (78), De Noni, Viennot (96), Quantin et Zebrowski (104), Rossi, Pouyllau, Amelot, Lagree et al. (111), Bisson, Veyret et Vidal (137), Veyret (149), Pech (152)

Thème 2 : Stratégies de lutte antiérosive, aspects économiques et rôle des divers acteurs

Bizimana et Duchaufour (166), Rishirumuhirwa (168), Ngarambe (175), Roose (189), Boli, Bep et Roose (204), Tchotsoua et Bonvallot (214), Lindskog et Terzberg (232), Ndiaye (247), de Graaff et Stroosnijder (254), Martin (266), Sorg (272), Chisci (283), Durousset (284), Castro, Chevallier, Auzet, Mietton (285), Bisson (299), Teixeira, De Freitas et Blancaneaux (300)

Thème 3 : Processus d'érosion et gestion de l'eau, de la parcelle au bassin-versant.

Heusch (317), Azontonde (326), Thebe (327), Tsayem-Demaze (329), Tassin (340), Coque-Delhuille et Gentelle (345), Bergaoui et Camus (362), Kaabia (382), Avenard (394), Touaibia, Dautrebande, Gomer et Mostefaoui (408), Gallien, Le Bissonais, Eimberck, Benkhadra, Ligneau, Ouvry, Martin (419), Bernard, Wicherek et Laverdière (424), Oliveira (433), Ballif (437) Crozaz (449), Kostadinov et Topalovic (461), Asseline, De Noni, Nouvelot et Roose (471), Chebbani, Mededjel et Belaidi (489)

BIBLIOGRAPHIE Liste des ouvrages reçus (498)
Liste des ouvrages signalés (519)
Résumés de thèses (549)

NOUVELLES DE Réseau Parcours, ANAE (563)

ANNONCES DIVERSES Vient de paraître (566)
Les congrès récents ou futurs (588)
Liste des participants au 1/7/95 (598)

Liste des communications à la XIème Réunion du Réseau Erosion

Thème 1 - Relations entre structures agraires, démographie et érosion

- NGENZI E. et MIETTON M. : Occupation du sol et pratiques culturales en fonction de la pente. Stratégies antiérosives paysannes au Rwanda. (31)
- FAHO Th. : Enjeux de la LAE face à la démographie galopante et à la rarefaction des terres cultivables disponibles dans le Centre Est du Burkina. (44)
- PEREZ P. et SENE Modou : Evolution des structures agraires et érosion dans le Sud-Saloum (Sénégal) (59)
- LAOUINA Abd. : Démographie et dégradation des sols dans le Rif (Maroc). (70)
- SEGALA F. : Dynamique des systèmes agraires face aux déséquilibres démographiques et environnementaux : cas des moyennes collines du Népal Central. (78)
- DE NONI G., VIENNOT M. : Environnement historique de l'érosion en Equateur. (96)
- QUANTIN P., Zebrowski Cl. : Impact de l'homme sur l'érosion des sols à "tepetate" de la région de Mexico (104).
- ROSSI G., POUYLLAU M., AMELOT X., LAGREE S., MELLAC M., POUILLE F. : Dynamique socio-spatiale des versants montagnards : exemples en Equateur, au Rwanda et au Vietnam. (111)
- BISSON J., VEYRET Y., VIDAL T. : Minorque, une île sans érosion. (137)
- VEYRET Y. : L'environnement humain de l'érosion: quelques éléments de réflexion (149)
- PECH P. : Déprise rurale et regain d'activité morphologique : exemple du Pays du Buëch (Hautes Alpes). (152)

Thème 2 - Stratégies de LAE , aspects économiques et rôle des divers acteurs

- BIZIMANA M., DUCHAUFOR H. : Avantages et inconvénients de la haie mixte Calliandra/Setaria comme dispositif antiérosif en milieu rural burundais. (166)
- RISHIRUMUHIRWA Th. : Environnement socio-économique et démographique et crise érosive au Burundi. (168)
- NGARAMBE V. - Influence de la complexité du système foncier sur la LAE au Burundi (175)
- ROOSE E. - La GCES. proposition d'une nouvelle approche de LAE pour Madagascar (189)
- BOLI Z., BEP A ZIEM, ROOSE E. : Impact de l'érosion sur la productivité végétale sur sols sableux du Nord Cameroun. (204)
- TCHOTSOUA M. et BONVALLOT J. Crise socio-économique et érosion accélérée à Yaounde : gestion de l'environnement urbain en milieu tropical humide. (214)
- LINDSKOG P. et TENGBERG A. Les causes physiques et humaines de l'érosion dans le Sahel : proposition d'un modèle. (232)
- NDIAYE T. : Expérience participative de l'aménagement antiérosif de la vallée de Fandale (Bakel, Sénégal) (247)
- de GRAAFF J. et STROOSNIJDER L., Evaluation économique des mesures de CES au Sahel. (254)
- MARTIN P. : Notes sur l'histoire des stratégies de LAE en Ader Douchi Maggia (Niger). (266)

SUITE du Thème 2

- SORG J.P. : Planification d'un programme de recherche sur la forêt dans le Sud-Mali. (272)**
- CHISCI J. : Perspectives on soil protection in the Mediterranean area. (Italy)(283)**
- DUROUSSET E. : Pratiques et représentations sociales associées à l'érosion des sols viticoles et aux inondations en Saône et Loire. (France)(284)**
- CASTRO N.M., CHEVALLIER P, AUZET V., MIETTON M. : Stratégie des agriculteurs face à l'érosion dans les grandes cultures au sud du Brésil. (285)**
- BISSON J. : Victoire sur le désert au Sahara maghrébin ? (299)**
- TEIXEIRA S., De FREITAS P., BLANCANEAUX Ph. : Les effets économiques et physiques du semis direct pour une production soutenue en grains du Cerrados, Brésil (300)**

Thème 3 - Processus d'érosion et gestion de l'eau : de la parcelle au bassin-versant.

- HEUSCH B. : Pourquoi la banquette CES diminue les rendements et augmente l'érosion ? (317)**
- THEBE B. : Approche d'une mesure de l'érosion : cas du bassin versant de Mouda, Nord Cameroun. (327)**
- TSAYEM DEMAZE M. : Milieu physique et humain et dégradation des sols en pays Bamiléké de l'Ouest Cameroun. (329)**
- TASSIN J. : L'Homme gestionnaire de son milieu, face à l'érosion en lavaka au Lac Alaotra (Madagascar) (340)**
- COQUE-DELHUILLE B., GENTELLE P. : Erosion historique et actuelle et environnement humain dans le sud du désert arabe (Yémen du Sud). (345)**
- BERGAOUI M. et CAMUS H. : Impact des travaux antiérosifs sur les crues et le transport solide de micro-bassins semi-arides Tunisiens. (362)**
- KAABIA M. : Effets de quelques systèmes de culture sur l'érosion, le ruissellement et la fertilité du sol dans le semi-aride Tunisien. (382)**
- AVENARD J.M. : Dynamique érosive actuelle et actions humaines dans le Prérif. (394)**
- TOUAÏBIA B., DAUTREBANDE S., GOMER D., MOSTEFAOUI M. : Quantification de l'érosion à partir de l'implantation de quatre retenues collinaires dans la zone des marnes : W. Relizane, Algérie. (408)**
- GALLIEN H., LE BISSONNAIS Y., EIMBERCK M., BENKHADRA E., LIGNEAU L., OUVRY J.F., MARTIN P. : Influence des couverts végétaux des jachères sur le ruissellement et l'érosion diffuse en sol cultivé. (419)**
- BERNARD C., WICHEREK S., LAVERDIERE M. : Césium-137 et études environnementales. Exemple de l'érosion des sols. (424)**
- OLIVEIRA M. : Ruissellement et érosion du sol dans les vignes du Douro, Portugal. (433)**
- BALLIF J.L. : Réduction de l'érosion d'un sol viticole champenois. Conséquences de couvertures de compost urbains et d'écorces broyées. Moussy, France : 1985-94. (437)**
- CROZAZ Y. : Le matériel végétal : un outil pour la protection des sols. (449)**
- KOSTADINOV S., TOPALOVIC M. : Erosion et perte d'humus et d'éléments biogènes dans les B.V. à différents états de la couverture végétale. (461)**
- ASSELIN J., DE NONI G., NOUVELOT J.F., ROOSE E. : Caractérisation de l'érodabilité d'une terre de moyenne montagne méditerranéenne. (Sud Aveyron, France) (471)**
- CHEBBANI R., MEDEDJEL N., BELAIDI S. : Application de la GCES dans la région de Tlemcen, Algérie. (489)**

AVANT - PROPOS

L'une des vocations du Réseau Erosion étant de donner la parole aux différents acteurs intéressés par les problèmes d'érosion et de conservation de l'eau et des sols, nous avons voulu rapporter toutes les communications qui ont été présentées aux "XIèmes Journées du Réseau Erosion", sous forme orale ou écrite, sur le thème "ENVIRONNEMENT HUMAIN DE L'EROSION". Nous y avons joint une longue revue bibliographique et quelques textes supplémentaires qui nous ont été adressés récemment. C'est la raison pour laquelle ce bulletin est un peu volumineux.

Nous tenons à remercier très sincèrement les organisations qui nous ont aidé financièrement et moralement à développer le RESEAU EROSION et en particulier à organiser les XIèmes Journées et à éditer et diffuser ces comptes rendus à 700 équipes de chercheurs et développeurs dispersés dans une cinquantaine de pays. Merci à l'ORSTOM, au Ministère de la Coopération française et du Développement, ainsi qu'au Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale (CTA), sans lesquels nous ne pourrions poursuivre nos activités d'information entre la recherche et le développement.

Le Centre Technique de coopération Agricole et rurale a été fondé en 1983 dans le cadre de la convention de Lomé entre les Etats membres de l'Union européenne et les Etats du Groupe ACP(Afrique, Caraïbes, Pacifique) Le CTA est à la disposition des Etats ACP pour leur permettre un meilleur accès à l'information, à la recherche, à la formation et aux innovations dans les domaines du développement agricole et rural et de la vulgarisation. Le CTA publie des études, organise des conférences et séminaires, édite une grande diversité d'ouvrages, renforce les services de documentation dans les pays ACP et propose un important service de documentation

CTA, Postbus 380, 6700 AJ Wageningen.

Enfin, il nous faut remercier Y Veyret, M.J. Penven et T. Muxart de leur coopération pour l'organisation de la réunion et tous les participants qui nous ont envoyé leurs ouvrages et leurs communications sans lesquels il nous serait bien plus difficile de constituer des comptes rendus aussi enrichissants.

Nous vous donnons rendez -vous du 13 au 15 septembre 1995 à Paris (Centre ORSTOM, 213 rue LaFayette) pour participer aux XIIèmes Journées du Réseau Erosion consacrées à "la dynamique des états de surface du sol et la spatialisation des risques de ruissellement et d'érosion".

*L'équipe d'animation
Georges De Noni - Jean-François Nouvelot - Eric Roose*

EDITORIAL :

Origine :

En 1983, le département MAA de l'ORSTOM (Milieu et Activités Agricoles) a chargé E. ROOSE d'animer un "Réseau Erosion", sorte de "coopérative de l'information" reliant les nombreuses équipes de chercheurs travaillant en France et Outre-Mer dans le domaine de l'érosion, de la conservation de l'eau et de la fertilité des sols. Un modeste budget permet la réalisation d'un bulletin tous les ans, l'achat de documents et l'organisation d'une réunion annuelle autour d'un thème technique. En 1993, un Comité d'animation a pris le relais pour mieux gérer ce réseau multidisciplinaire devenu très important : actuellement 700 équipes de diverses disciplines ont adhéré au Réseau Erosion dont 330 en Europe, 310 en Afrique, 60 en Amérique et quelques isolés en Indonésie et au Vietnam.

Conditions d'adhésion :

Elles consistent à répondre annuellement au questionnaire (p. 3) et à envoyer des articles ou des informations bibliographiques ou régionales sur les problèmes posés par la recherche et le développement dans le domaine de l'érosion et de la gestion durable de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols.

Le Réseau Erosion comporte trois activités :

1 - Les réunions annuelles ont lieu généralement en septembre sur les thèmes suivants :

- 1985 - Efficacité des méthodes antiérosives (cf. Cah. ORSTOM Pédo 1986, 2)
- 1987 - Erodibilité des sols, érodabilité des terrains (cf. Cah. ORSTOM Pédo 1989, 1)
- 1990 - Aménagements conservatoires de terroirs. Effets d'échelle
- 1991 - Lutte antiérosive en montagne : approches forestières et paysannes
- 1992 - L'Homme et l'Erosion en régions tropicales (CEGET) et méditerranéennes (CIEM)
- 1993 - Contribution de l'élevage et de l'agroforesterie à la restauration de la fertilité des sols (ORSTOM, Montpellier)
- 1994 - L'environnement humain de l'érosion : aspects socio-économiques et hydrauliques (Centre ORSTOM, Paris)
- 13-15/9/1995 Dynamique des états de surface du sol et spatialisation des risques d'érosion/ruissellement (ORSTOM, Paris)

2 - Le bulletin du Réseau Erosion comprend différentes rubriques :

- informations sur le Réseau et compte rendu de la réunion annuelle ;
- les fiches auteurs : exposé de la problématique, des méthodes, des résultats d'une équipe et liste bibliographique ;
- revue bibliographique : résumé de thèses, d'articles sélectionnés, d'ouvrages reçus ou signalés ;
- compte rendu des congrès ou missions effectuées ;
- nouvelles du monde et opinions : articles, débats et nouvelles des membres ou des programmes en cours ou en projet, informations diverses et conférences futures.

Chaque membre est tenu de participer chaque année à l'une de ces rubriques.

3 - Une bibliothèque vivante au Centre ORSTOM de Montpellier sur le thème de la lutte antiérosive, qui évolue en base documentaire sur la production des participants.

L'organisation du réseau se veut souple et comprend depuis 1993 :

- un Comité d'animation multidisciplinaire de l'ORSTOM ;
- dix conseillers représentants des organismes français les plus concernés (M. Mietton de l'Université, Feuvrier du CEMAGREF, Le Bissonais de l'INRA, Bertrand du CIRAD, Cosandey du CNRS, Morel du LAMA de Grenoble, Lilin du Ministère de l'Environnement, Peltier du CIRAD-Forêt, Peyre de l'INAPG et Wichereck de l'ENS ;
- des correspondants nationaux : Belgique (Poessen), Suisse (Hurni), Pays-Bas (Bergsma), Algérie (Arabi), Italie (Torri), Allemagne (Klemm), Sénégal (Diatta), Espagne (Rubio), Burundi (Rishirumuhirwa).

L'objectif du réseau évolue avec sa maturité. Le réseau tente d'associer des équipes de recherche, de formation et de développement intéressées par les multiples facettes de l'érosion, principalement en milieu aménagé, en vue d'accélérer la diffusion de l'information, d'aider les jeunes chercheurs à se tenir informés et à publier leurs premiers résultats. Le réseau cherche enfin à favoriser l'extension de recherches dans certains domaines reconnus prioritaires dans les pays d'agriculture intensive comme dans les pays en développement (par ex. le coût économique de l'érosion et de la lutte antiérosive, la restauration de la fertilité des terres, l'amélioration de la capacité d'infiltration, la gestion de la biomasse,...)

Nous remercions vivement l'Observatoire Sahara-Sahel, le Ministère de la Coopération, le Ministère des Affaires Etrangères, le CTA et l'ORSTOM pour l'aide financière et le soutien moral sans lesquels le Réseau Erosion n'aurait pu se développer.

Eric ROOSE, Georges DE NONI, Jean-Marie LAMACHERE - ORSTOM - BP 5045 - MONTPELLIER - F 34032
Tél. (33) 67-61-75-65 ou 61 ou 32 - Télex : 485 507 F - Téléfax : (33) 67-54-78-00 - Email viala@orstom.orstom.fr

LE RESEAU

Erosion, dégradation de l'environnement et systèmes de production dans la région de Bidi (Burkina Faso, nord Yatenga)

Jean-Marie. LAMACHERE et Georges SERPANTIE
ORSTOM, Laboratoire d'Hydrologie, BP 5045, 34032 Montpellier
Antenne ORSTOM, 01 BP 171, Bobo Dioulasso 01, Burkina Faso

Historique des recherches sur les systèmes de production, l'érosion et la dégradation de l'environnement dans la région de Bidi

De 1983 à 1989, l'ORSTOM a mené dans la région de Bidi, au nord-ouest du Burkina Faso et de la province du Yatenga, près de la frontière malienne, un programme de recherche sur la dynamique des systèmes agro-pastoraux (département MAA, UR 3G) animé par Georges SERPANTIE. Les contraintes hydriques, imposées à l'agriculture et à l'élevage, depuis 1970, par une longue période sèche, particulièrement sévère au cours des années 1982, 1983 et 1984, ont justifié l'adjonction d'un programme hydrologique à ce programme agropastoral. Le programme hydrologique (département DEC, UR 24), conçu et réalisé en collaboration avec Georges SERPANTIE, a été animé par J.M. LAMACHERE.

De 1989 à 1992, s'est développé dans la province du Yatenga, et plus particulièrement dans la région de Bidi, le projet Yatenga pour la mise en valeur agricole des bas-fonds. Le projet Yatenga, coordonné par J.M. LAMACHERE, a été avec les projets Comoé, Mali-sud, Siné Saloum et Casamance, l'une des cinq composantes du grand programme CORAF/R3S sur la mise en valeur agricole des bas-fonds au Sahel (projet CE-DGXII, STD2-3).

De 1992 à 1995, le programme VERITAS (département DEC, UR 24), animé par Olivier PLANCHON, a pris le relais des recherches sur le ruissellement et l'érosion sur versants cultivés de la région de Bidi.

Le programme de recherche sur la dynamique des systèmes agropastoraux

Deux principaux axes de recherche ont été suivis par le programme sur la dynamique des systèmes agropastoraux :

- **La gestion des ressources** a été analysée à plusieurs niveaux d'organisation sociale, dans ses contraintes, ses finalités et ses stratégies. Dans un premier temps, les enquêtes ont privilégié le suivi des pratiques paysannes, des unités de production, la dynamique du milieu et l'élaboration de la production. Dans un second temps, les expériences ont visé à définir les relations de causalité permettant d'expliquer la dynamique de production.

- **Les relations entre la société et l'espace rural** ont été analysées par le repérage des espaces d'activité, par l'approche historique de la société, de ses règles, de ses stratégies et de son rapport avec le milieu. Ce type d'approche fait jouer les échelles d'espace et de temps avec les niveaux d'organisation sociale.

Ce programme a associé 8 chercheurs : 1 agronome (G. SERPANTIE), 2 ethnologues (B. MARTINELLI et P. MOITY-MZAIZI), 1 géographe (G. MERSADIER), 1 socio-économiste (Y. MERSADIER), 1 pastoraliste (L. TEZENAS DU MONTCEL), 1 hydrologue (J.M. LAMACHERE) et 1 pédologue (B. BACYE).

Il a obtenu la collaboration, sous la forme de missions d'appui, de 3 pédologues (C. VALENTIN et R. MOREAU de l'ORSTOM, F. GUILLET du CIRAD), d'un pastoraliste (G. BOUDET de l'IEMVT), d'un physicien de l'atmosphère (F. LAVENU, ENS-LERTS).

De nombreux étudiants de l'Université de Ouagadougou (IDR et ISHS), de l'EIER (Ouagadougou), quelques étudiants de l'Université Wageningen, de l'Université Paris XI et de l'Ecole Supérieure d'Agriculture d'Angers ont réalisé leurs stages de fin d'études en collaborant à ce programme.

Le programme hydrologique associé au programme sur la dynamique des systèmes agropastoraux

Dans une première phase (1985-1989), le programme hydrologique a visé la **connaissance des ressources en eaux superficielles et des transports solides** de plusieurs bassins versants emboîtés ainsi que l'analyse des conditions optimales d'utilisation des ressources en eaux superficielles sur champs de brousse en conditions paysannes afin d'améliorer la production agricole tout en préservant les sols de l'érosion hydrique.

Dans une seconde phase (1989-1992), le programme s'est orienté vers **l'étude pédologique, hydrologique, agronomique, sociologique et économique du bas-fond de Bidi** et de deux autres bas-fonds de la province du Yatenga. L'étude du fonctionnement hydrologique du bas-fond de Bidi a porté plus particulièrement sur le rôle d'une digue filtrante et d'un petit barrage à batardeaux dans la réalimentation des nappes aquifères et leur effet sur la production agricole de bas-fond.

Parallèlement cette étude, s'est développé un programme de **cartographie des états de surface** et de caractérisation de leur comportement hydrodynamique afin de mieux appréhender la répartition spatiale des phénomènes de ruissellement et d'érosion à l'échelle des bassins versants.

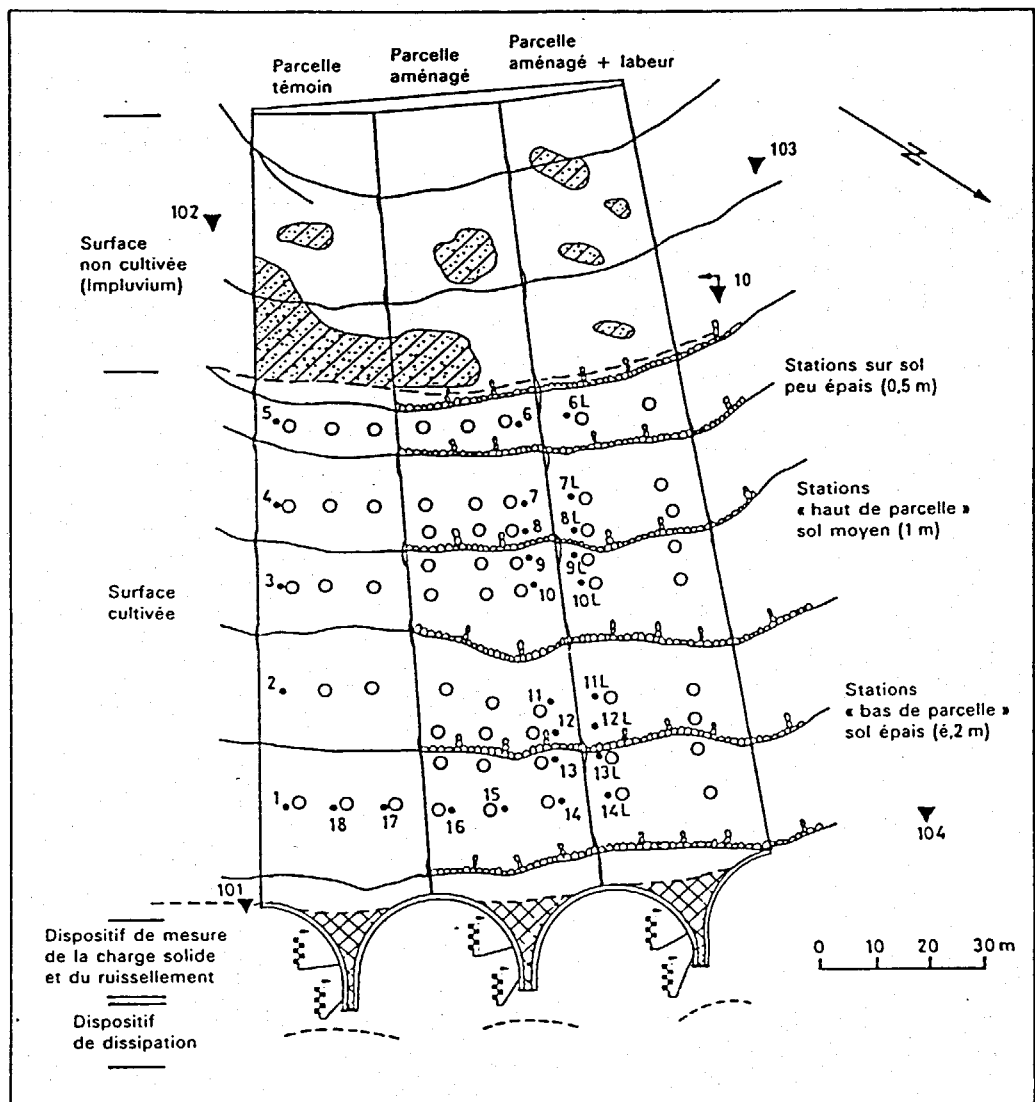
Au programme hydrologique et au programme de mise en valeur des bas-fonds ont été associés : 3 pédologues (F. GUILLET du CIRAD, P. ZOMBRE de l'IDR et E. BARRO du BUNASOLS), 1 agronome (G. SERPANTIE), 1 ethnologue (P. MAIZI), 1 sociologue (M. OUEDRAOGO) et 1 hydrogéologue (Y. KOUSSOUBE).

Il a obtenu, sous la forme de missions d'appui, la collaboration de 2 pédologues (C. VALENTIN et E. FRITSCH), de 2 hydrogéologues (B. DIENG de l'EIER et A. SAVADOGO de la FaST à Ouagadougou), d'un géophysicien (J.C. LACHAUD) et d'un géologue (G. GRANDIN). Plusieurs étudiants de l'EIER, de l'Université de Ouagadougou (Géographie, IDR et FaST) ont réalisé leurs mémoires de fin d'études dans le cadre de ce programme ainsi que deux étudiants de l'ENSHMG (Grenoble).

Les résultats relatifs à l'érosion et à la gestion des sols cultivés

Expériences

Trois parcelles agronomiques contiguës sur sols ferrugineux tropicaux, sableux fins d'origine éolienne, ont été équipées pour la mesure des ruissellements, des transports solides et de l'infiltration afin de tester l'efficacité des cordons pierreux et des labours sur l'infiltration et afin d'améliorer l'alimentation hydrique des cultures par l'utilisation d'impluviums en amont des parcelles. La superficie de chaque parcelle était d'environ 4000 m² dont le quart de la superficie était occupée par l'impluvium.



- | | | | | |
|----|---|-----------------------|-------|---|
| 3. | Point de suivi du profil hydrique et phénologie | (Pente générale 2,5%) | — | Cordon pierreux (0,25 m) |
| ○ | Station de récolte | | ~ | Courbe de niveau (0,5 M) |
| ▨ | Microbuttes sableuses | | 102 ▼ | Pluviomètre |
| — | Tôles (0,2 m et 0,4 m) | | 10 ▼ | Pluviographe |
| — | Muret (0,2 m) | | — | Limnigraphes et échelles limnimétriques |
| ▣ | Exutoire en béton | | | |

Figure . Plan d'Ensemble de l'essai sur parcelles agronomiques (Samniweogo 1985-1987).

Les observations hydrologiques, associées aux observations agronomiques, se sont déroulées sur une période de six années : **3 années avec l'impluvium (1985-87) et 3 années sans impluvium (1988-90)**. Une étude sur l'évolution du statut organique et minéral des sols a été menée au cours des cycles culturaux des années 1989 et 1990.

Deux séries d'expériences de simulation de pluie ont été entreprises. La première série d'expériences a été réalisée en 1988 pour évaluer le rôle des chutes de pluie dans l'évolution de l'aptitude des sols au ruissellement et à l'infiltration après sarclage. La seconde série d'expériences a été réalisée en 1990 pour tester différentes techniques culturales de lutte contre l'encroûtement des sols (paillage et fumure) et pour observer avec précision les transformations de la surface du sol sarclé sous l'effet des chutes de pluie.

Publications

Les résultats des observations sur parcelles agronomiques ont fait l'objet de nombreuses communications et articles par LAMACHERE J.M. et SERPANTIE G. en 1988, 1989, 1990, 1991 et 1992. Les exposés les plus complets correspondent aux articles parus dans l'ouvrage "Utilisation rationnelle de l'eau des petits bassins versants en zone aride" édité par l'AUPELF-UREF en 1991 et dans l'ouvrage "Usage agricole de l'eau" édité par l'ORSTOM en 1992.

La thèse de B. BACYE (Université d'Aix-Marseille III, 1993), dirigée par R. MOREAU du laboratoire ORSTOM des sols cultivés (Montpellier), présente les résultats du suivi de l'évolution du statut organique et minéral des sols cultivés à mi-pente, en bas de pente et dans un bas-fond.

Les conclusions relatives à la première série d'expériences au simulateur de pluies ont été publiées dans les actes du colloque de Niamey (février 1991) : "Soil Water Balance in the Sudano-sahelian Zone" (IAHS, publ. n°199). Les résultats de la seconde série d'expériences au simulateur de pluies constituent une bonne partie de la thèse d'E. BARRO (BUNASOLS, Ouagadougou) en cours de rédaction.

Résultats agronomiques

Les effets des cordons pierreux et des labours sur la production végétale sont très variables d'une année à l'autre en fonction de la pluviosité, principalement de la répartition des chutes de pluie, et des attaques (borers et sautériaux) subies par les cultures.

En année pluviométriquement médiocre (1987), un accroissement du rendement en grain sec a été observé sur la parcelle aménagée par rapport au témoin : il est de l'ordre de 20 % en haut de parcelle et de 40 % en bas de parcelle. A cet accroissement de la production en grain correspond un accroissement à peu près identique de la production en matière sèche. Ces accroissements sont attribués à une forte amélioration de l'alimentation hydrique sur les aires d'inondation en amont des cordons pierreux cloisonnés. En 1987, sur la parcelle labourée, les gains sont encore plus significatifs. Ils conduisent à un doublement de la production en grain et à une augmentation de 60 % de la production de biomasse.

Pour une année à pluviométrie bien répartie (1986), les labours ont permis de doubler la production en matière sèche et de tripler la production en grain.

L'analyse de l'élaboration des rendements met en évidence l'impact généralement bénéfique des cordons pierreux et des labours appliqués à un système de culture dit "des champs de brousse" (sol ferrugineux sableux fin, faible fertilisation minérale, deux sarclages en buttes). Les labours améliorent considérablement les conditions de l'installation du peuplement : enherbement, disponibilités minérales, profondeur d'humectation, aération.

Cette efficacité doit être mise en balance avec un certain nombre de risques : érosion en cas de fortes pluies après labours, appauvrissement rapide du sol, dégradation de la structure du sol par des labours répétés, échaudage en fin de cycle en haut de la parcelle aménagée lorsque les pluies sont insuffisantes (1985).

En cas d'excès pluviométrique lors de période de tallage-montaison (1988), les cordons pierreux ont eu également un effet négatif sur les rendements (-20 %). En outre, compte tenu de la faible capacité de rétention spécifique des sols sur les parcelles agronomiques de Samniwéogo, l'excès d'infiltration provoque rapidement un drainage profond dont l'effet se révèle néfaste s'il se produit pendant le pic de minéralisation comme ce fut le cas en 1987 sur la parcelle labourée.

Résultats hydrologiques

Le travail du sol, labour ou sarclage, d'un sol sableux fin permet une infiltration optimale des pluies et des ruissellements entrant dans les parcelles cultivées sur une tranche pluviométrique d'environ 100 millimètres après le labour ou le sarclage. Au delà, la transformation de l'état de surface par aplanissement du microrelief et formation de croûtes dans les micro-dépressions, favorise le ruissellement dont l'importance croît avec l'intensité de la pluie et l'état d'humectation du sol. Au delà de 200 mm de pluies après labour ou sarclage, le comportement hydrodynamique du sol se stabilise et l'intensité de pluie limite de ruissellement, d'environ 25 à 30 mm/h après sarclage, n'est plus que de 6 mm/h.

L'introduction de la fumure organique ou le paillage du sol semblent avoir un effet retard sur le ruissellement et l'infiltration. Dans un premier temps, sous simulation de pluies, pendant une dizaine de jours, les parcelles paillées ou fumées se comportent sensiblement de la même façon que la parcelle sans amendement organique. Au delà d'environ dix jours, l'accroissement de l'infiltration apparaît très nettement sur les parcelles fumées et paillées. Le rôle de la matière organique en faibles doses ne serait donc pas mécanique mais consécutif à une activité biologique alimentée par l'introduction de matière organique.

Un aménagement en cordons pierreux isohypses cloisonnés (1 cordon tous les 20 mètres) modifie, à l'occasion de fortes pluies, les paramètres d'une crue par écrêtage (30 à 40 % en moins sur le débit maximum) et déphasage (5 à 10 mn de retard sur la pointe de crue). Il réduit ainsi la puissance érosive des crues et accroît la lame infiltrée. Cependant, la diminution du volume total ruisselé sur les parcelles aménagées reste faible pour les fortes crues (10 à 15 %). Elle est beaucoup plus importante à l'échelle annuelle (30 à 50 %).

Le tonnage moyen annuel (suspensions et transports de fond) exporté hors de la parcelle témoin non aménagée a été de 2,2 tonnes par hectare avec ou sans impluvium. Il est d'environ 1 tonne par hectare sur les 2 parcelles aménagées.

Les variations des tonnages en matériaux solides exportés sont extrêmement fortes d'une année à l'autre (1,4 à 3,9 t/ha pour la parcelle témoin, 0,35 à 2,7 t/ha pour les parcelles aménagées), en relation directe avec les volumes ruisselés. Pour la parcelle labourée, l'occurrence des fortes pluies après les labours joue un rôle fondamental dans l'accroissement du tonnage exporté.

Les concentrations en suspensions dans les eaux de crue sont systématiquement plus fortes sur la parcelle témoin non aménagée pendant la pointe de crue (accroissement de 50 à 100 %). Elles sont également plus fortes sur la parcelle aménagée labourée que sur la parcelle aménagée non labourée (accroissement de 35 %), lorsque les deux parcelles ruissellent de manière identique.

Conclusion

L'amélioration de l'alimentation hydrique des cultures pose à plus ou moins long terme le problème du renouvellement de la fertilité des sols, l'accroissement de la production végétale non restituée allant de pair avec un appauvrissement plus rapide des sols. Elle ne constitue donc qu'un des maillons de la chaîne d'adaptation d'un système de culture à une situation nouvelle de déficit pluviométrique et de saturation de l'espace cultivable.

Les expériences réalisées dans la région de Bidi confirment bien la nécessaire gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols, préconisée par Eric ROOSE dans le bulletin pédologique n° 70 édité en 1994 par la FAO.

Les résultats relatifs aux aménagements hydrauliques du bas-fond de Bidi

Au Yatenga, région soudano-sahélienne, les bas-fonds constituent une facette très particulière du paysage. Ce sont des milieux humides variés et évolutifs, et leur situation au sein d'une région aux prises avec la sécheresse et la dégradation du milieu en fait actuellement des lieux de sécurité vivrière et pastorale, chargés d'enjeux sociaux importants. La concentration des ressources (eau et sols argileux) qu'ils présentent pourrait en faire actuellement un lieu d'intensification de cultures céréalières.

Expériences

Différentes modifications du système de culture de bas-fond ont été proposées sur les cultures traditionnelles de sorgho et la riziculture a été introduite en amont des aménagements hydroagricoles. Afin de limiter les contraintes hydriques liées à la forte fluctuation des ressources hydriques et à la violence des crues, deux types d'aménagements ont été construits : une digue filtrante, d'une hauteur maximale de 0,5 mètre, et un micro-barrage muni d'une passe à batardeaux, d'une hauteur maximale de 1,5 mètre.

Afin de tester l'aptitude respective de chaque aménagement à recharger les nappes aquifères de bas-fond, cinq lignes, comprenant chacune 5 à 7 piézomètres répartis en travers du bas-fond, ont été installées sur une distance de 1,5 kilomètre. La fréquence des relevés piézométriques a été fixée à un relevé tous les 15 jours en saison sèche, un relevé tous les 5 jours en période pluvieuse. Trois stations hydrométriques ont été implantées sur cette même distance et suivies pendant six années consécutives. Le réseau pluviométrique était composé de 5 pluviomètres et 3 pluviographes pour un bassin versant de 47,5 km². Des mesures de transport solide ont été réalisées.

Publications

Les résultats des travaux de recherche sur le bas-fond de Bidi ont fait l'objet de deux articles fondamentaux rédigés à l'occasion du séminaire international "Bas-fonds et riziculture" d'Antananarivo (9-14 décembre 1991) organisé par le CIRAD. Le premier article a été rédigé par J.M. LAMACHERE en 1991 à partir des documents fournis par les autres chercheurs associés à ce programme. Il a été diffusé en décembre 1991 à l'occasion du séminaire et il correspond principalement à une valorisation hydrologique des résultats. Le second article a été rédigé par G. SERPANTIE et publié en 1993 dans les actes du séminaire. Il reprend les principaux résultats hydrologiques et agronomiques en les situant dans une perspective historique d'évolution des systèmes de production et dans le cadre des stratégies paysannes de gestion de l'eau et des terroirs.

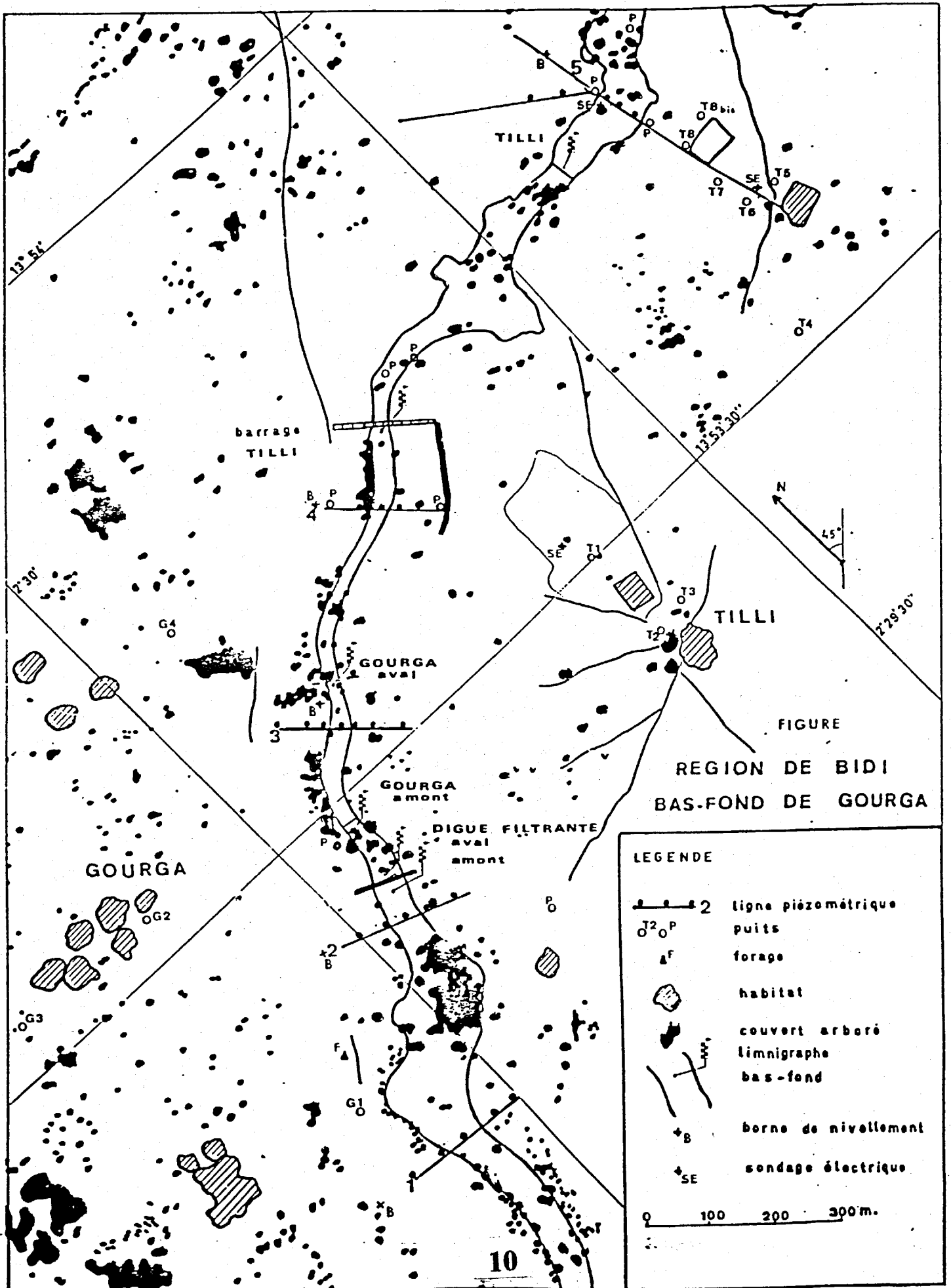











FIGURE
 REGION DE BIDI
 BAS-FOND DE GOURGA

LEGENDE

-  2 ligne piézométrique
-  J² O P puits
-  F forage
-  habitat
-  couvert arboré
-  limnigraphe
-  bas-fond
-  B borne de nivellement
-  SE sondage électrique

0 100 200 300 m.

L'ouvrage "Mise en valeur agricole des bas-fonds au Sahel. Typologie, fonctionnement hydrologique et potentialités agricoles." (1993) intègre les résultats obtenus dans la région de Bidi à ceux des autres projets pilotes localisés dans la Comoé, le Mali-sud, le Siné Saloum et la Casamance.

Résultats agronomiques

Les tentatives de modification du système de culture du sorgho ont échoué par inadaptation des propositions au fonctionnement des systèmes locaux de production. Elles ont cependant révélé les contraintes actuelles des bas-fonds soudano-sahéliens : forte fluctuation des ressources hydriques, crues violentes et enherbement important des parcelles cultivées. L'aménagement du bas-fond par des ouvrages de régulation des crues réduit ces contraintes mais, dans la région de Bidi, la demande sociale porte plutôt sur la recharge des nappes aquifères et la réalisation de cet objectif impose la constitution de retenues temporaires et la fermeture précoce de la passe à batardeaux.

Les propriétaires fonciers ont accepté de céder leurs droits d'usage à condition de cultiver du riz, production secondaire ayant traditionnellement un rôle festif et monétaire. Le test de systèmes de cultures sur de petites superficies de 2 à 4 ares (variétés de 90 jours, labour attelé, fertilisation, plusieurs désherbages) a montré qu'un potentiel de 2,5 t ha⁻¹ de paddy existe les bonnes années pluviométriques en amont de la digue filtrante et en amont du petit barrage dans les zones temporairement inondées. En amont de la digue filtrante, dans la partie centrale du bas-fond, les rendements ont été de proches de 1,5 t ha⁻¹ de paddy en 1986, 87 et 1991. Ils furent inférieurs à 0,1 t ha⁻¹ de paddy de 1988 à 1990.

Résultats hydrologiques

L'étude hydrologique a permis d'estimer à 40 m³/s le débit maximal de la crue de fréquence décennale pour un bassin versant de 45 km², fixant ainsi les normes techniques de protection des ouvrages hydrauliques implantés dans le bas-fond de Bidi et remettant en cause la surélévation du déversoir du barrage d'Améné situé plus en aval sur le même marigot.

Les relations pluies-débits ont mis en évidence l'absence de crues significatives lorsque les pluies journalières sont inférieures à 20 mm avec des conditions moyennes d'humectation des sols et d'intensité des pluies. Elles permettent également l'évaluation des risques d'inondation et de sécheresse pour les cultures de bas-fond.

L'observation des niveaux piézométriques a montré que la recharge des nappes aquifères de ce bas-fond soudano-sahélien sur socle granitique, s'effectue exclusivement à partir des zones inondées par les crues. La digue filtrante, en surélevant les niveaux d'eau, permet de doubler les superficies inondées lors des crues moyennes, sans accroître notablement la durée de submersion. Le petit barrage, en pérennisant le plan d'eau, multiplie par 10 à 20 la durée de submersion en amont de l'ouvrage et permet à la nappe aquifère de s'étendre largement de part et d'autre du bas-fond. Il est ainsi possible d'envisager, en amont du micro-barrage, une irrigation de complément du riz au cours de la saison des pluies et un maraîchage de contre saison par des prélèvements dans la nappe à faible profondeur.

Les mesures d'épaisseur des sédiments déposés en amont des aménagements donnent une valeur maximale de 1 cm à 1,2 cm en amont du petit barrage de Bidi-Gourga, pour une durée de vie de 5 ans, et une valeur maximale de 3 à 3,5 cm en amont du barrage d'Améné pour une durée de vie de 15 ans. Dans les deux cas, la sédimentation est d'environ 2 mm par an. Les sédiments sont presque exclusivement argilo-limoneux. Dans les bas-fonds, on observe localement un colluvionnement sableux important en provenance des versants voisins très dégradés.

Cependant, la faible pente longitudinale du bas-fond (2 m. km⁻¹ dans la partie médiane, 0,7 m. km⁻¹ dans la partie aval) ne permet pas le transport des sables qui restent donc localisés là où ils se déposent au pied des versants.

Conclusion

En zone soudano-sahélienne, avec une pluviométrie moyenne annuelle d'environ 540 mm, les bas-fonds sur substratum granitique, tel le bas-fond de Bidi, ne peuvent jouer pleinement un rôle de sécurité vivrière que si une irrigation de complément permet de satisfaire les besoins hydriques des cultures pendant les phases sèches du cycle cultural, principalement en septembre pendant la phase d'épiaison et de maturation des grains. Sans irrigation de complément, les cultures de bas-fond souffrent autant de la sécheresse que les cultures de mil sur les versants et les récoltes restent aléatoires (1 année sur 2 sur la période 1986-1991).

Dans des bas-fonds à faible pente (1 à 2 m. km⁻¹), la sédimentation, par transport dans le lit du marigot, reste faible en amont des retenues artificielles (au maximum 2 mm par an dans le bas-fond de Bidi). Par contre, les apports solides locaux par dégradation des versants et colluvionnement peuvent être localement importants et conduire à l'ensablement du bas-fond.

Perspectives de valorisation

Deux thèses sont en phase finale de rédaction : la thèse d'E. BARRO sur l'évolution des états de surface des sols ferrugineux cultivés et la thèse de Y. KOUSSOUBE sur l'hydrogéologie de la région de Bidi.

Deux synthèses sont en préparation (1996 et 1997) : une synthèse sur la dynamique des systèmes agro-pastoraux avec G. SERPANTIE comme éditeur scientifique et une synthèse hydrologique sous la responsabilité de J.M. LAMACHERE.

Une thèse est en cours d'élaboration (J.M. LAMACHERE) sur le fonctionnement des hydrosystèmes cultureux de la région de Bidi.

Principales publications

Erosion et gestion des sols cultivés

BACYE B., 1993 - Influence des systèmes de culture sur l'évolution du statut organique et minéral des sols ferrugineux et hydromorphes de la zone soudano-sahélienne (Province du Yatenga, Burkina Faso). *Thèse de docteur de l'Université d'Aix-Marseille*. Centre ORSTOM de Montpellier, 243 p.

GUILLET F., 1991 - Etude et modélisation hydro-pédologique d'un bassin versant de la zone sahélo-soudanienne au Burkina Faso (utilisation du modèle "source"). *Thèse de doctorat de l'université Paris VI* en sciences de la terre. 267 p.

LAMACHERE J.M., 1991 - Aptitude au ruissellement et à l'infiltration d'un sol sableux fin après sarclage. *Soil Water Balance in the Sudano-sahelian Zone*. Proceedings of Niamey Workshop, february 1991, IAHS Publ. n°199, p. 109-119.

LAMACHERE J.M., SERPANTIE G., 1991 - Valorisation agricole des eaux de ruissellement et lutte contre l'érosion sur champs cultivés en mil en zone soudano-sahélienne. In "*Utilisation rationnelle de l'eau des petits bassins versants en zone aride*", actes des journées scientifiques du réseau "Génie Para-Sécheresse" de l'UREF, E.I.E.R., Ouagadougou, 12-15 mars 1990. Ed. John Libbey Eurotext, Paris, p. 165-178.

LAMACHERE J.M., SERPANTIE G., 1992 - Valorisation agricole des eaux de ruissellement et lutte contre l'érosion sur champs cultivés en mil en zone soudano-sahélienne. Burkina Faso, province du Yatenga, région de Bidi. In "*Usage agricole de l'eau*", sixièmes journées hydrologiques de l'ORSTOM, Montpellier, 12-13 septembre 1990. Ed. par Paul CARRE, éd. de l'ORSTOM, coll. colloques et séminaires, p. 259-276.

SERPANTIE G., LAMACHERE J.M., MARTINELLI B., MERSADIER G., MERSADIER Y., MOITY-MAIZI P., TEZENAS DU MONTCEL L., VALENTIN C. 1988 - Programme de recherche : dynamique des systèmes agro-pastoraux en zone soudano-sahélienne. Bidi, yatenga, Burkina Faso. *Résultats d'étape*. ORSTOM, Ouagadougou, 255 p.

SERPANTIE G., TEZENAS DU MONTCEL L., VALENTIN C., 1992 - La dynamique des états de surface d'un territoire agro-pastoral soudano-sahélien. Conséquences et propositions. *L'aridité une contrainte au développement*. Coll. Didactiques, ORSTOM éditions, p. 420-447.

Les résultats relatifs aux aménagements hydrauliques et à l'étude du bas-fond de Bidi

ALBERGEL J., LAMACHERE J.M., LIDON B., MOKADEM A., VAN DRIEL W., 1993 - Mise en valeur agricole des bas-fonds au Sahel. Typologie, fonctionnement hydrologique, potentialités agricoles. *Rapport final d'un projet CEE / CORAF-R3S*. CIEH, Ouagadougou, Burkina Faso, 335 p.

ETRILLARD A.-P., 1994 - Etude de la recharge des nappes aquifères de Bidi au Burkina Faso. Mémoire de fin d'études et D.E.A. de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, Ecole Nationale Supérieure de Géologie de Nancy, 115 p.

LAMACHERE J.M., MAIZI P., SERPANTIE G., ZOMBRE P., 1991 - Un petit bas-fond en zone tropicale sèche, fonctionnement et aménagement (Burkina Faso, Yatenga, région de Bidi). *Communication au séminaire international bas-fonds et riziculture, Tananarive*, décembre 1991. Centre ORSTOM de Montpellier, 23 p.

LAMACHERE J.M., MAIZI P., SERPANTIE G., ZOMBRE P., 1993 - Fonctionnement et aménagement d'un petit bas-fond soudano-sahélien (Bidi, Yatenga, Burkina Faso). *Actes du séminaire d'Antananarivo, Madagascar*, 9-14 décembre 1991. CIRAD - Montpellier p. 469-486.

ZIDA M., 1992 - Conditions hydriques dans un bas-fond sahélien, incidences sur les cultures vivrières. Bidi, Yatenga. Mémoire de fin d'études d'ingénieur ISN-IDR, Université de Ouagadougou. Centre ORSTOM de Ouagadougou, 107 p.

ZOMBRE P., 1992 - Caractérisation morphopédologique des bas-fonds de la province du Yatenga. Programme de recherche en vue de la mise en valeur des bas-fonds au sahel. Projet Yatenga au Burkina Faso financé par la CCE - DG XII.

Rapport n°1 : Généralités, géomorphologie et morphopédologie régionale. Université de Ouagadougou, I.D.R. Centre ORSTOM de Ouagadougou, 42 p. et 2 cartes.

Rapport n° 2 : Monographie des sols des bas-fonds étudiés. Université de Ouagadougou, I.D.R. Centre ORSTOM de Ouagadougou, 176 p. et 7 cartes.

LA XIème REUNION

ET

LE BILAN DU RESEAU POUR 1994

**Compte Rendu des 11èmes Journées du Réseau Erosion
organisées au Centre ORSTOM de Bondy (Paris)
du 20 au 22 septembre 1994**

Thème : “ Environnement humain de l'érosion ”.

1 - La participation

- La 11ème réunion du Réseau Erosion a été organisée par l'équipe Erosion de l'ORSTOM à Montpellier (DE NONI et ROOSE du Département MAA ainsi que NOUVELOT du Département DEC) et une équipe de Paris VII et de l'ENS à St Cloud (Y. VEYRET).

- Nous remercions le Directeur et toute l'équipe du Centre ORSTOM de Bondy pour l'accueil chaleureux et efficace qui nous a été réservé. Grâce à l'appui financier de l'ORSTOM, du Ministère de la Coopération (DEV) et du CTA, nous avons réuni 82 participants provenant de 22 pays dont 10 pays européens, 9 pays africains et 3 pays américains.

- Très interdisciplinaires comme d'habitude, les débats se sont ouverts cette fois aux dimensions humaines de l'érosion : les crises de l'environnement sont souvent un écho des crises de la société, de ses problèmes économiques et démographiques.

2 - Le contenu

La Première Session, présidée par le professeur H. VOGT (géographe à Strasbourg), a montré les relations entre **les structures agraires, la démographie et l'érosion**. Des dix communications présentées, il ressort que si localement, la pression démographique (même aussi faible que 40 hab/km² en zone sahélienne fragile) entraîne une crise foncière et la dégradation des sols, il n'y a pas de relation directe et générale entre la densité de la population et l'érosion. En effet, la société tente de résoudre la crise foncière soit par l'émigration vers une terre d'accueil qui valorise mieux le travail, soit par l'intensification du système de production entraînant une meilleure protection du sol. Remarquons aussi que les pays les plus densément peuplés sont généralement situés sous les tropiques humides où la végétation agroforestière couvre bien les sols.

Dans le cadre de la PAC développée en Europe, outre les problèmes liés à l'intensification de la mécanisation, la déprise rurale entraîne à son tour une recrudescence de l'érosion par manque d'entretien des dispositifs de gestion des eaux et des terres.

Durant la deuxième session, présidée par le professeur J. CHAMPAUD (Président de la CS6 de l'ORSTOM) ont été présentées les stratégies antiérosives et les aspects économiques de l'érosion (12 communications).

- L'analyse historique des stratégies de lutte antiérosive montre que chaque société trouve des parades ± efficaces aux problèmes de dégradation du milieu, adaptées aux

conditions socio-économiques de l'époque et de la région, mais lorsque des "techniques étrangères" sont imposées par un pouvoir central fort, elles sont rejetées par les populations rurales. D'où la remise en cause actuelle (depuis les années 1980) des stratégies d'équipement rural (banquettes, DRS...) et la recherche de stratégies participatives mieux adaptées aux besoins des sociétés rurales (type GCES).

- L'analyse du coût de l'érosion et des méthodes de lutte est une autre voie intéressante pour mieux comprendre l'échec de l'agriculture intensive (mais non durable : trop chère et trop polluante) dans les milieux fragiles et pour sélectionner les méthodes les mieux adaptées. Aucune recette n'est universelle : c'est en fonction des conditions écologiques et socio-économiques régionales qu'il faut bâtir les nouveaux manuels de lutte antiérosive.

La troisième session, présidée par le docteur S. WICHEREK (Ecole Normale Sup. de St Cloud), a ouvert le débat aux processus d'érosion et aux méthodes de gestion de l'eau et des terres, de la parcelle aux bassins versants (11 communications).

- On a discuté de l'intérêt et des limites du Césium 137 pour estimer globalement les pertes en terre moyennes sur 30 ans dans l'hémisphère nord. Parmi les interventions humaines pour la gestion conservatoire de l'eau et des sols, on a retenu certains effets positifs (réduction des débits liquides et solides des crues en Tunisie, réduction des problèmes de ruissellement et d'érosion par les composts et les écorces dans les vignobles, ou par la végétalisation des ravines et des jachères). On a aussi relevé des aspects négatifs comme l'augmentation des risques de drainage si on supprime le ruissellement, de pollution de nappe par l'usage de gadoues de ville mal triées.

Durant les pauses, les participants ont bénéficié d'une **exposition de livres** et publications récentes, **de posters** et de **trois films vidéo** : "Aménagement d'une ravine au Burundi" (film présenté par H. DUCHAUFOUR), "Dégradation des terres au Sénégal" (présenté par P. PEREZ de l'équipe ISRA-CIRAD) et "Approche GCES de problèmes d'érosion posés par l'intensification de la production laitière en Aveyron (équipe ORSTOM de Montpellier).

La 3ème journée a été consacrée à une tournée sur le terrain en Champagne. Yvette VEYRET (Paris VII) a présenté l'évolution historique de l'extension du vignoble dans la région de Château Thierry et les problèmes actuels d'adaptation des techniques d'aménagement de versant pour éviter les coulées boueuses et l'inondation des zones basses aujourd'hui bâties.

L'après-midi, Tatiana MUXART et M.J. PENVEN (Paris II) ont présenté leurs recherches sur l'érosion des terres agricoles et la qualité des eaux de rivière sur le Grand Morin, affluent de la Marne.

3 - Bilan du Réseau Erosion en juin 1995

- Le Réseau Erosion a pour objectif de faire circuler les informations, de favoriser les contacts entre chercheurs, formateurs et développeurs, de donner la parole aux jeunes et d'encourager les nouveaux programmes de recherche dans le domaine du ruissellement, de

l'érosion, de la restauration des sols ainsi que de la gestion durable de l'eau, de la biomasse et des nutriments.

- Le Réseau a atteint sa vitesse de croisière. Le bilan ressemble à celui de l'an dernier ; aussi nous ne rapporterons que les faits nouveaux.

3.1. - La participation au Réseau Erosion

- Sur 700 membres inscrits en juin 1995, 330 travaillent en Europe, 310 en Afrique (surtout Nord, Ouest et du Centre), 60 en Amérique latine, aux USA et au Canada et quelques isolés en Indonésie et Vietnam. Près de 44 % sont des chercheurs, 20 % des enseignants et 36 % des développeurs ou des personnalités ressources. Environ 40 nouvelles inscriptions contre une douzaine de départs pour changement d'adresse ou d'activité ont été enregistrés.

Les nouveaux venus viennent du Tchad, du Maghreb, de Madagascar ou d'Europe de l'Est.

- Suite aux terribles événements du Rwanda et du Burundi, nous avons perdu contact avec une trentaine de participants. Nous déplorons aussi l'assassinat de Melchior BIZIMANA, un fidèle participant aux réunions, un agronome de haute qualité appelé à des fonctions de direction au Ministère de l'Agriculture du Burundi. Notre coeur est serré en pensant à toutes les souffrances de ces peuples.

- Nous avons le plaisir d'annoncer la naissance d'un nouveau réseau au Cameroun appelé **GRES : Gestion des Ressources en Eau et en Sol** sous la direction de Zachée BOLI (Président), Jean-Baptiste TANDJEU (Vice-Président), Michel TCHOTSOUA (Secrétaire) , Paul DASSE (Secrétaire-Adjoint) et Louis AMBASSA-KIKI (Trésorier). Nous félicitons nos confrères de prendre en main la réflexion sur les problèmes environnementaux de leur pays et souhaitons longue vie et pleine réussite. Nous serions heureux d'encourager la naissance de réseaux régionaux qui pourraient recevoir l'aide de la coopération française ou de la FAO.

- Pour faire face aux problèmes posés par la croissance du Réseau Erosion, nous sommes dorénavant trois chercheurs de disciplines complémentaires à gérer le réseau au quotidien : DE NONI, géographe et ROOSE, agropédologue du MAA et LAMACHERE, hydrologue du DEC. NOUVELOT affecté au Mexique a été remplacé en avril par Jean-Marie LAMACHERE, hydrologue qui a travaillé longtemps au Burkina Faso. Nous remercions nos collègues d'avoir accepté de nous rejoindre pour féconder nos efforts d'animation.

- Vu l'abondance de la littérature qui nous parvient, nous avons besoin d'urgence de locaux et d'une secrétaire documentaliste pour gérer plus efficacement la documentation.

3.2. - Le budget

- Au niveau budgétaire, la situation devrait être vivable en 1995 (40 KF de la DG ORSTOM + 5 KF de la commission de Géographie + 70 KF du Min. Coopération DEV-ERN). Cependant, ces subventions ne permettent pas d'engager une secrétaire documentaliste (250 KF/an). Nous recherchons pour se faire une aide auprès de la GTZ et de l'OSS. Nous remercions aussi le CTA qui nous a accordé 7500 écus pour financer la participation de 4 collègues de Haïti, RCA, Madagascar et Cameroun (Pays ACP).

- Cependant, on nous a clairement fait savoir que le Ministère ne pouvait financer indéfiniment les réseaux et qu'il nous fallait atteindre notre autonomie. Il nous faut donc faire appel à une cotisation de l'ordre de 200 FF pour participer à la réunion et recevoir les

documents. Il faudrait trouver le moyen de moduler le taux de cotisation en fonction des possibilités de chacun. .

3.3. - La réunion annuelle

- Les 12èmes Journées du Réseau Erosion organisées par ROOSE, DE NONI et LAMACHERE (ORSTOM de Montpellier) et LE BISSONNAIS (INRA-Orléans) auront lieu les 13 et 14 septembre 1995 à Paris (probablement au Centre ORSTOM, 213 rue La Fayette, près de la gare du Nord). Les thèmes retenus concernent " **La dégradation des états de surface et la spatialisation des risques de ruissellement et d'érosion**". Le vendredi 15 septembre, nos amis de l'INRA (LE BISSONNAIS) nous organiseront une excursion au Pays de Caux où INRA et AREAS (OUVRY) ont beaucoup travaillé sur le thème de la naissance du ruissellement sur les versants en fonction du système de culture et de l'érosion dans les zones basses où se concentre le ruissellement.

- Du 26 au 30 août 1996, aura lieu le Congrès de l'ISCO à Bonn sur le thème "La coopération entre les peuples et les institutions...pour un développement durable".

Du 1er au 7 septembre 1996 est prévu le 2ème Congrès de la société européenne de conservation des sols (ESSC) à l'Université Technique de Munich sur le thème "Développement et mise en oeuvre de stratégies de conservation des sols pour une utilisation durable des terres en Europe".

Quatre sessions sont prévues :

- * compaction et dégradation de la structure des sols,
- * acidification et contamination par métaux lourds,
- * stratégies pour minimiser les effets écologiques de l'érosion,
- * utilisation de tourbe/limon, perte de terre pour les constructions.

Faut-il malgré tout conserver notre réunion annuelle ? Malgré l'abondance de réunions à cette époque, le professeur Alain MOREL de l'Institut Géographique de Grenoble (LAMA) et l'équipe d'animation de l'ORSTOM vous proposent d'organiser (avec le CEMAGREF?) les 13èmes journées du Réseau Erosion vers le 15 septembre 1996 en Ardèche au Centre d'Etudes Méditerranéennes sur le thème " **Erosion sur les versants Méditerranéens arides : risques de ravinement et de mouvements de masse**". Trois ateliers et une sortie dans la région de Die sont proposés.

3.4. - Le Bulletin n° 15 sera tiré en 700 exemplaires

- Les informations et communications qui nous arrivent sont nombreuses... mais rares sont ceux qui respectent les règles les plus simples :

- * marges de 2,5 cm partout et caractère de taille minimale = 12 car on réduit le texte pour un demi format A4,
- * nous envoyer des textes sur papier blanc, prêt à être photocopiés,
- * se limiter à 1 à 3 pages pour les résumés de thèse/mémoire, 1 à 2 pages de réclame pour un livre, 5 à 12 pages, simple interligne pour les communications.

Nos bulletins sont trop épais : il nous faut donc faire un effort de concision pour laisser la chance aux autres de présenter leurs travaux sans que le bulletin ne dépasse 400 pages. Laisser tomber toutes les généralités pour ne présenter que la problématique, les résultats, leur discussion et une ouverture vers des thèmes importants.

- L'envoi de ce bulletin coûte entre 100 et 200 FF selon la destination. Vu les restrictions financières, nous ne pouvons envoyer qu'un seul exemplaire par équipe : envoyer 100 FF pour toute demande complémentaire. Il vous appartient de faire circuler le document dans votre entourage, de photocopier les parties qui vous intéressent et de le déposer à la bibliothèque la plus efficace de votre structure.

Impossible de répondre aux demandes des étudiants isolés du genre "Envoyez-moi d'urgence toute documentation sur l'érosion". Que les étudiants consultent les services les plus proches et les bibliothèques officielles et que leurs demandes soient mieux ciblées.

3.5. - La base documentaire

- Une trentaine de chercheurs/stagiaires/étudiants sont venus consulter la documentation du réseau. L'étroitesse des locaux réduit l'efficacité de ce service.

- Cependant n'arrêtez pas vos envois de documents qui sont traités dans les 6 mois par **notre dévouée bibliothécaire géographe Bernadette DE NONI**. Vous pouvez apprécier une fois de plus dans ce bulletin, l'abondance de la documentation proposée avec des mots clés et un petit résumé si possible fourni par l'auteur.

- Merci aussi de vos listes bibliographiques (expurgées de tout ce qui ne concerne pas l'érosion) avec mots clés et résumé.

- Merci surtout aux auteurs d'ouvrages, qui, outre le don de leur ouvrage nous envoient de très bons résumés en français précisant la problématique, les méthodes, les résultats et les conclusions de leurs travaux (1/2 à 1 page).

- Merci enfin à la FAO qui nous envoie ses "Soil Conservation Notes", à l'ICRAF pour "Agroforesterie", à "ILEA Newsletter", à l'IBSRAM pour ses "IBSRAM Newsletter" et à l'IIED pour l'abonnement à "Haramata" et à ses dossiers sur le "programme zones arides".

Nous souhaiterions développer l'échange d'informations avec nos collègues anglophones, en traduisant en français certains de leurs articles et en leur envoyant de bons "extended abstracts" de certains travaux des francophones, par exemple des thèses. Nous l'avons réalisé jadis avec "Soil technology", H.Hurni encourage cette initiative dans "WASWC Newsletter". Nous invitons donc d'autres revues à encourager ces échanges...et les participants du Réseau à nous envoyer des résumés consistants : nous les proposerons à diverses revues en fonction du sujet traité.

3.6. - Favoriser les contacts et donner la parole

- C'est probablement la meilleure réussite du Réseau Erosion : nous avons établi des contacts entre chercheurs de différentes disciplines - ONG - Ministères - FAO et les associations mondiales et européennes de Conservation des sols. Nous encourageons vivement les membres du Réseau Erosion de participer à l'ISCO, la WASWC et la ESCS.

- **N'oubliez pas de nous informer de vos changements d'adresse.**

Conclusions

Le Réseau Erosion francophone est reconnu bien au-delà du monde francophone pour son efficacité à faire circuler l'information et établir des contacts dans une cinquantaine de pays. Curieusement, du fait de son large champ d'action, il devient difficile de trouver des sources de financement. Il faudra donc s'orienter vers une autonomie financière plus large.

SORTIE DU 20 SEPTEMBRE 1994 - EROSION DES SOLS DANS LE VIGNOBLE DE CHAMPAGNE: Région de Château-Thierry.

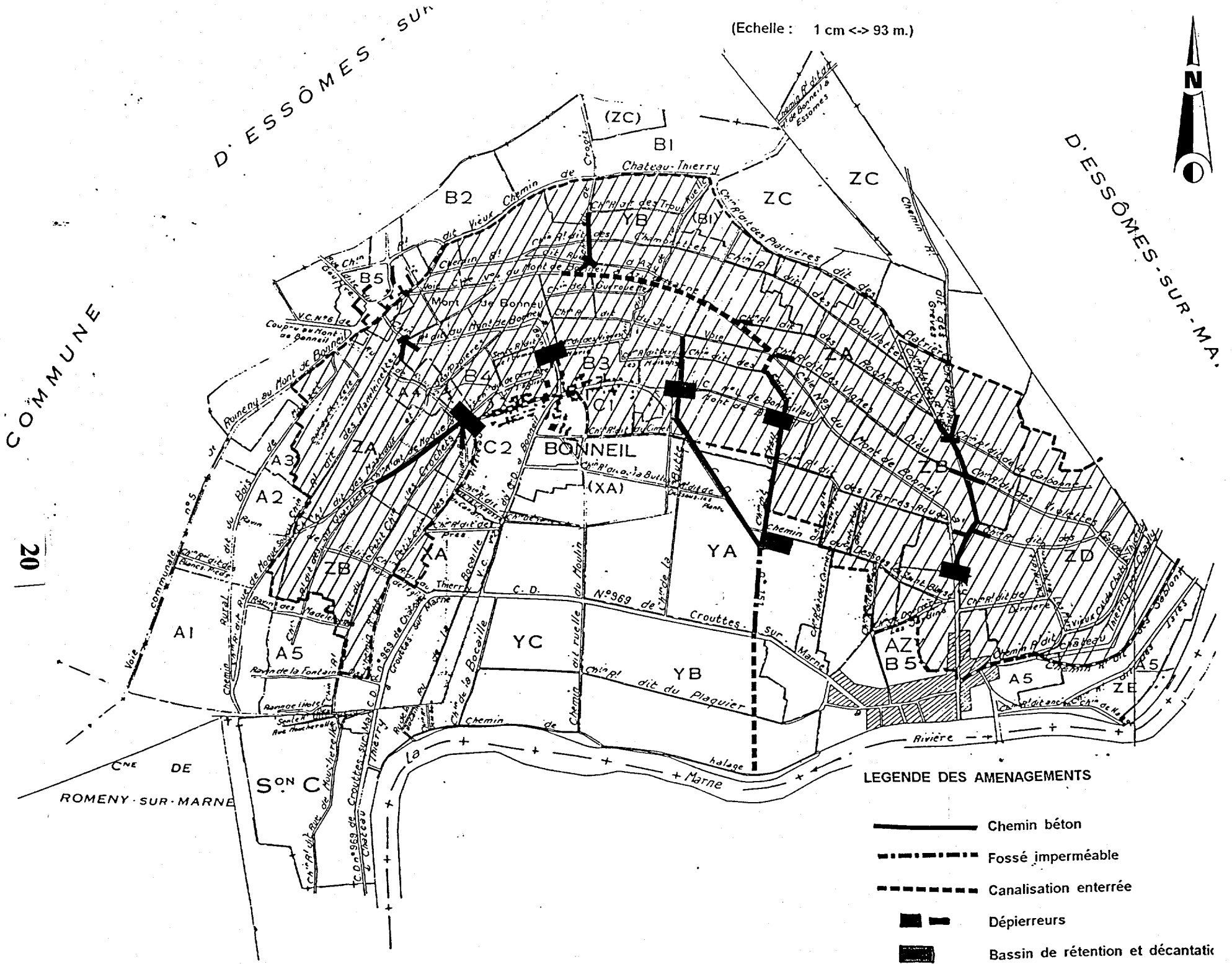
Direction Y.VEYRET

La sortie sur le terrain a pour but d'étudier l'érosion des sols dans le vignoble de Champagne, modalités, causes, lutte et coût.






La région de Château-Thierry dans l'Aisne, qui a été choisie, est assez proche de Paris et offre de nombreuses communes très affectées par les processus d'érosion accélérée.

Les communes de BONNEIL, AZY-SUR-MARNE, au Sud Ouest de CHATEAU THIERRY et celle de PASSY-SUR-MARNE, située à une quinzaine de kilomètres à l'Est de CHATEAU-THIERRY appartiennent à la zone d'appellation contrôlée "Champagne".

| | AZY | BONNEIL | PASSY |
|---------------------------------------|------------|----------------|--------------|
| superficie de la commune | 220 ha | 221 ha | 300 ha |
| superficie A.O.C. | 76 ha | 76 ha | 174 ha |
| superficie plantée en vigne 1991-1992 | 68 ha | 68 ha | 155 ha |
| Habitants(1989) | 350 | 336 | 121 |
| Viticulteurs (familles)1991 | 15 | 48 | 25 |



LEGENDE DES AMENAGEMENTS

-  Chemin béton
-  Fossé imperméable
-  Canalisations enterrées
-  Dépierreurs
-  Bassins de rétention et décantation

COMMUNE

20

CNE DE ROMENY-SUR-MARNE

SUR C

D'ESSOMES-SUR-SUN

D'ESSOMES-SUR-MA.

Ces trois communes sont situées sur la rive droite de la Marne, les terroirs regardent au Sud, ils se caractérisent par l'existence de pentes fortes, supérieures à 20% en moyenne et, parfois, notamment à Passy, pouvant atteindre 40% et plus.

Localisés sur la cuesta d'Ile-de-France composée d'argiles et de sables de l'Yprésien à la base, puis de calcaires bartoniens, eux-mêmes surmontés par des argiles et du calcaire stampiens (calcaire de Brie et argile à meulière de Brie), ces terroirs ont un profil convexo-concave. Les formations tertiaires évoquées sont plus ou moins masquées par des formations superficielles hétérogènes: colluvions et limons.

Ces communes viticoles de coteau, comme beaucoup d'autres en Champagne ont subi récemment de graves dégâts liés au ruissellement. Les dégâts sont répétitifs et préoccupent les communes par le coût qu'ils entraînent. Ruissellement et inondations associés présentent une ampleur et une fréquence relativement nouvelles, associées principalement à l'extension du vignoble, aux nouveaux modes de travail de la vigne.

A Bonneil et Azy-sur-Marne, des dégâts importants ont été enregistrés en 1978, en 1983, en 1987. En 1987, une averse d'intensité pluri-décennale a affecté la commune de Passy-sur-Marne, sur certaines parcelles (les plus pentues en particulier), entre 3 et 10 cm de terre ont été emportés. Le village a été atteint par une lame d'eau très chargée qui a laissé dans certaines habitations plusieurs dizaines de centimètres d'épaisseur de terre. Déjà en 1983 un orage avait déchaussé de nombreux pieds de vigne.

La répétition des épisodes pluvieux sources de dégâts, l'inondation répétée des habitations situées généralement en bas des coteaux, les conséquences au niveau des infrastructures, tout cela a conduit les communes à prendre des mesures destinées à une meilleure maîtrise du ruissellement.

Avant d'envisager les mesures prises, il faut s'interroger sur les causes de telles situations de crise.

LES FACTEURS D'AGGRAVATION DE L'EROSION

Comme l'indique le tableau précédent, le coteau tout entier porte aujourd'hui de la vigne qui occupe tout le terroir classé "appellation Champagne", laquelle appellation a été délimitée en 1927. Même les pentes les plus fortes sont occupées par la vigne.

Cette situation est relativement récente.

| Années | 1799 | 1827 | 1852 | 1931 | 1955 |
|------------|------|------|------|------|------|
| Superficie | 37 | 721 | 3217 | 571 | 587 |

Evolution de la surface en vigne (en ha). Arrondissement de Château-Thierry.

Entre 1825 et la fin du 19ème siècle, la vigne prend une importance considérable sur les coteaux dominant la Marne. La date de 1825, point de départ de l'étude, résulte de l'existence du cadastre napoléonien étudié dans la commune de Passy-sur-Marne.

Ce cadastre montre qu'à côté des vignes existaient d'autres cultures, les friches conservaient

une place considérable surtout sur les pentes les plus marquées. On avait là comme ce fut le cas dans bien d'autres terroirs de France un bel exemple de complémentarité des cultures permettant une quasi auto-subsistance de la population.

A la fin du 19ème siècle survient une crise majeure pour le vignoble, le phylloxéra. L'occupation du sol des coteaux va totalement changer. Pour deux sections représentatives du cadastre de Passy, les vignes ne recouvrent que 20% , tandis qu'elles occupaient 65% de la même surface en 1825. Les effets de la guerre de 1914-1918 sur la population vont encore accentuer le recul de la vigne au profit de cultures autres et de friches.

A partir des années 1960, en raison d'une forte demande de Champagne, la vigne va retrouver une place considérable et devenir la seule culture des pentes de la cuesta.(pour l'ensemble du vignoble champenois on peut admettre que dans les années 1950,la vigne occupait environ 10000 ha, elle occupe aujourd'hui environ 30000 ha).
La reconquête a donc été rapide.

Le tableau ci-dessous résume l'occupation des sols en 1825, 1951 et 1991 sur la section A du cadastre de Passy.

| % | 1825 | 1951 | 1991 |
|----------|------|------|------|
| Vignes | 67 | 25 | 86 |
| Cultures | 33 | 46 | 8 |
| Friches | 0 | 29 | 6 |

Le développement récent de la vigne s'est effectué y compris dans des secteurs qui étaient demeurés en friche jusqu'ici , bien que situés dans la zone d'appellation "Champagne", parce que trop pentus ou considérés par les agriculteurs comme sensibles à des mouvements de terrain...L'extension s'est faite par déboisement des hauts de versants, par disparition des friches sur les pentes les plus marquées...

Le remembrement:

En 1956, une révision de la taille des parcelles a été réalisée, des regroupements ont eu lieu. Au 19ème siècle, la commune de Passy portait 3000 parcelles dont certaines étaient minuscules, beaucoup ont été regroupées. Aujourd'hui le parcellaire reste menu mais bien différent de celui d'il y a un siècle.

Dans le même temps, cette modification du parcellaire liée à la mécanisation a vu la disparition des haies ou des talus (les "chevets" en Champagne), de certains chemins... On peut donc souligner la **simplification du parcellaire** et la disparition des coupures qui pouvaient freiner l'eau et diminuer le ruissellement.

Modifications des façons culturales

Au 19ème siècle, la vigne était planté "en foule" c'est à dire avec une grande densité de pieds sans l'ordonnement actuel.

Environ 30 à 60 000 pieds étaient plantés à l'ha. Le travail était effectué à la main et à la bêche, il conservait un sol irrégulier, motteux, peu sensible à la battance et bien couvert par les nombreux plants en été. Dès cette époque, les agriculteurs, conscients de la descente de terre toujours possible sur ces pentes, construisaient de petits aménagements pour maintenir la terre, pour freiner l'eau (murs de soutènement, réseaux d'évacuation des eaux...) et remontaient la terre quand celle-ci descendait. Tout cela impliquait une main d'oeuvre nombreuse. Aujourd'hui le nombre de plants à l'hectare est de 8000 à 10000.

L'utilisation du tracteur et des enjambeurs de plus en plus volumineux a contribué à modifier les modes de culture de la vigne. Elle explique **l'allongement des rangs dans le sens de la pente**, ils ont en moyenne 100 m à Passy, certains atteignant près de 300m. Les rangs sont beaucoup plus écartés (environ 1m), laissant des portions de sol à nu (inter-rangs). Dans la plupart des cas, les plantations s'effectuent jusqu'en bordure de voirie, ce qui a conduit à supprimer les "chaînettes", espace sur lequel la charrue tourne ordinairement à l'extrémité de chaque raie.

Il faut ajouter la fréquence des passages d'engins qui contribuent à tasser le sol, à favoriser la collecte des eaux dans les traces de roues.

La **non culture de la vigne** de plus en plus pratiquée contribue aussi à aggraver le ruissellement. Elle consiste à ne pas travailler les inter-rangs comme cela était fait autrefois pour faire disparaître les mauvaises herbes. Afin de détruire les adventices, on emploie des herbicides. C'est à dire que la terre des inter-rangs est rapidement compactée, durcie et ne favorise guère l'infiltration, accroît le ruissellement.

Les aspects que l'on vient d'évoquer et qui ne sont pas exhaustifs (il faut encore insister sur la diminution de la quantité de matière organique des sols..), montrent bien que la "crise érosive" qui caractérise le vignoble de Champagne, comme bien d'autres vignobles de coteau en France, en Allemagne, en Suisse... et d'autres régions agricoles européennes, n'est pas due à une modification climatique, à une augmentation des précipitations.. elle résulte d'abord des **modifications des pratiques culturales**, on se situe bien dans ce qui est le titre de ce colloque "l'environnement humain" de l'érosion.

LA LUTTE CONTRE LES EFFETS DU RUISSÈLEMENT

Elle est effectuée à l'échelle individuelle, celle de la parcelle, par le viticulteur.

Elle résulte aussi de pratiques collectives.

Dans les deux cas, il s'agit de favoriser l'infiltration, pour retarder ou diminuer la part du ruissellement. Il faut aussi maîtriser l'évacuation des eaux excédentaires par la mise en place d'aménagements hydrauliques.

1-Les aménagements individuels:

En fonction du niveau de conscience du viticulteur, plusieurs techniques peuvent être employées pour maîtriser l'eau dans la parcelle, il peut s'agir de la réduction de la longueur des rangs, du maintien des obstacles construits ou naturels (murs, talus, haies).

Les couvertures protectrices sur les sols sont une autre façon de maîtriser ruissellement et érosion. Ces couvertures font encore l'objet de recherche et sont discutées.

Le but est d'obtenir un effet de **mulch**, les observations faites à Passy en mai 1992 montrent que certaines parcelles étaient alors couvertes de **composts urbains et gadoues**. S'est posé le

problème des pollutions liés à ces composts (métaux lourds) et de leurs conséquences sur la qualité du vin. Des questions d'esthétique et de nuisances (odeurs) sont aussi à prendre en compte. Ces pratiques sont désormais abandonnées.

Les **écorces et les composts d'écorces** sont utilisées: mais leur coût est assez élevé, les **sarments** sont également employés mais ils flottent lors des fortes pluies et peuvent boucher les conduits, cela y compris quand ils sont broyés. Le Conseil Municipal de Passy a, pour ces raisons interdit l'utilisation des sarments broyés. L'**enherbement** des interrangs (un interrang sur deux ou tous les interrangs) est un moyen pour freiner l'écoulement mais la question de la concurrence avec la vigne pour l'alimentation en eau, explique que cette technique soit encore discutée.cf tableau n°2

Quoi qu'il en soit un gros travail d'information reste à faire pour convaincre les viticulteurs d'agir individuellement et collectivement pour limiter le ruissellement. Cette prise de conscience est la clé de la maîtrise de l'eau, plus encore probablement que les seuls aménagements collectifs dont l'intérêt n'est certes plus à démontrer.

2-aménagements collectifs

Ils concernent le bassin versant dans son ensemble. Les aménagements hydrauliques sont conduits par la DDA en impliquant les agriculteurs et la commune, la commune et les viticulteurs sont demandeurs de ces aménagements, décidés après les dégâts de 1987 qui, dans la commune de Bonneil, ont été évalués à environ 100 000 F.

Les ouvrages effectués sont

-**des ouvrages linéaires** dont le but est de collecter les eaux de ruissellement et de les évacuer vers les exutoires naturels: canalisations à ciel ouvert, canalisations enterrées, fossés et chaussées en béton.

-**les canalisations ouvertes** sont d'un entretien facile, elles nécessitent souvent une emprise considérable.

-**les canalisations enterrées** ont l'avantage de ne pas exiger d'emprise au sol, mais les eaux pénètrent au niveau de grilles ou d'avaloirs qui peuvent se boucher, des bouchons peuvent aussi se former dans les canalisations.

-**les chaussées en béton**, évacuent les eaux et servent d'axes de circulation. Les coûts d'entretien sont peu onéreux, l'emprise au sol est limitée à celle de l'ancien chemin. Existents des chaussées en contre-pente, en V, en forme trapézoïdale. Le traitement des virages est dans tous les cas délicats afin de limiter les débordements possibles.

-**les décanteurs et bassins de retenue** font partie intégrante des aménagements en zone viticole, ils protègent les canalisations contre l'obstruction et récupèrent des matériaux transportés.

Le coût des aménagements:

A Azy et Bonneil, les aménagements réalisés (tableau)approchent les quatre millions de francs.

Les partenaires financiers:

-les communes Azy et Bonneil 10%

-les cotisations par hectare 50%

-les subventions (état, département
CIVC) 40%

En ce qui concerne les exploitants, ils vont payer des charges pendant 9 ans

les deux premières années 2650 F/ha

les années suivantes 2500 F/ha

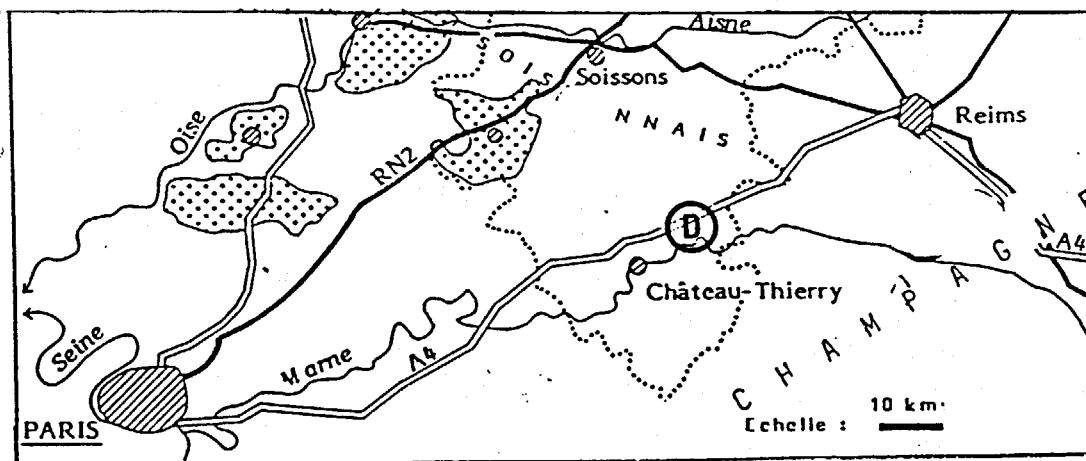
A Passy le montant de l'opération de lutte contre l'érosion s'élève à 2 100 000 F, hors taxes.
40% est payé par des subventions
10% par des prêts du Crédit Agricole aux communes
50% par les viticulteurs, qui donnent 2100F/ha/an sur 15 ans

Les études présentées ici doivent beaucoup aux travaux de M.R.ARBÉY et C.SAVART (Passy-sur-Marne) et de R. WITTEBROODT et A.CHARPENTIER (BONNEIL et Azy-sur-Marne) étudiants à Paris VII.

Organisation de l'excursion: départ de Paris: 8 heures.

Le vignoble et des communes visitées: caractères généraux, paysages, problèmes spécifiques.(Y.VEYRET)

Les aménagements réalisés pour une maîtrise de l'eau seront présentés par Monsieur **CAILLET** Ingénieur à la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt de Laon. Monsieur **PANIGAÏ** Agronome, au Département viticulture, service technique CIVC, conduira une réflexion sur l'environnement dans le vignoble de Champagne.



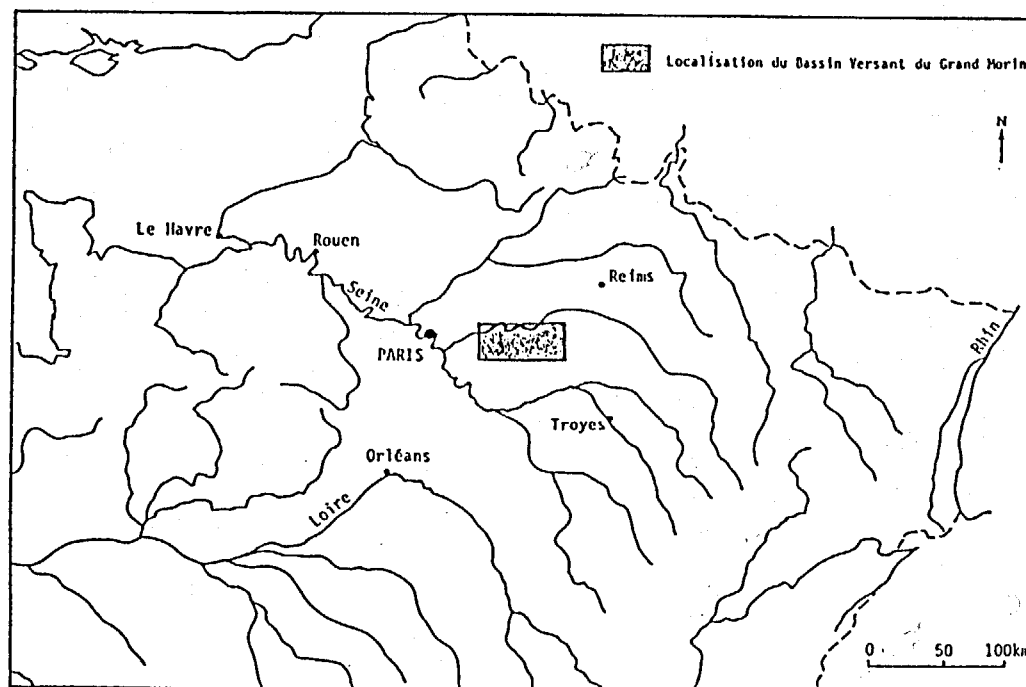
PROGRAMME PIREN-SEINE
Programme Environnement
du CNRS
Groupe de recherche
"Bassins versants ruraux"

Laboratoire de Géographie
Physique. LGP-URA 141
CNRS-Université Paris I
Meudon

EROSION DES TERRES AGRICOLES ET QUALITE DES EAUX DES RIVIERES EN BRIE

(BASSIN VERSANT DU GRAND MORIN)

par Marie-Josée PENVEN et Tatiana MUXART
(LGP-URA 141)



Laboratoire de Géographie Physique "Pierre Birot" U.R.A. 141

Les recherches présentées se placent dans le cadre de l'opération du GDR "**Analyse et modélisation du fonctionnement de la Seine**", dit **PIREN-SEINE**, dirigée par G. de MARSILY, hydrogéologue et Professeur à Paris VI. Lancée en 1989 et reconduite en 1993, l'opération comprend plusieurs groupes de recherche travaillant sur des thématiques complémentaires dont celui axé sur l'étude des "**Bassins versants ruraux**".

La problématique scientifique du programme PIREN-SEINE est de mieux comprendre le fonctionnement de l'écosystème Seine, fortement anthropisé, en analysant et modélisant les évolutions qui s'y produisent à différentes échelles spatio-temporelles. L'objectif pratique qui résulte de la demande sociale est, entre autres, de maîtriser la qualité des eaux du fleuve et de ses affluents utilisées par ailleurs, très souvent pour la production d'eau potable (figure 1).

Les travaux du groupe "**Bassins versants ruraux**" s'intègrent dans ces thématiques (figure 2). Ils concernent l'étude des **effets des changements de l'utilisation de l'espace et des pratiques et techniques qui y sont associées, sur le régime hydrologique et sur la qualité des eaux des rivières issues des bassins versants ruraux en amont de l'agglomération parisienne.**

Un champ d'application large a été retenu, celui du bassin versant de la Marne où sont effectuées des études sur les changements d'occupation et d'usage des sols. Les études détaillées sont réalisées sur des espaces plus petits, car moins complexes. Il s'agit des sous-bassins drainés par un affluent de la Marne, le Grand Morin et par des tributaires de celui-ci, l'Aubetin, l'Orgeval et le Vannetin.

L'évolution de la quantité et de la qualité de l'eau est suivie à différents niveaux d'analyse. Des stations déjà existantes, gérées par le CEMAGREF sur le bassin de l'Orgeval (2 sites retenus) ou équipées, lors de la première phase du programme par le Laboratoire de Géographie Physique (LGP) URA 141 du CNRS sur le Vannetin (4 stations), permettent d'analyser le fonctionnement **d'unités spatiales fonctionnelles emboîtées (USF)** de tailles croissantes. Les espaces ainsi drainés sont caractérisés par une agriculture intensive à dominante céréalière, menée selon des pratiques contraintes, à la fois, par une logique productiviste et par l'application de la Politique Agricole Commune. Les USF s'échelonnent du drain agricole unitaire aux bassins versants élémentaires (strictement agricole) puis composite (milieu rural). Signalons que le relais est ensuite pris, à des niveaux d'intégration plus élevés, par la Compagnie Générale des Eaux dont les stations sont installées sur l'Aubetin, le Grand Morin et la Marne.

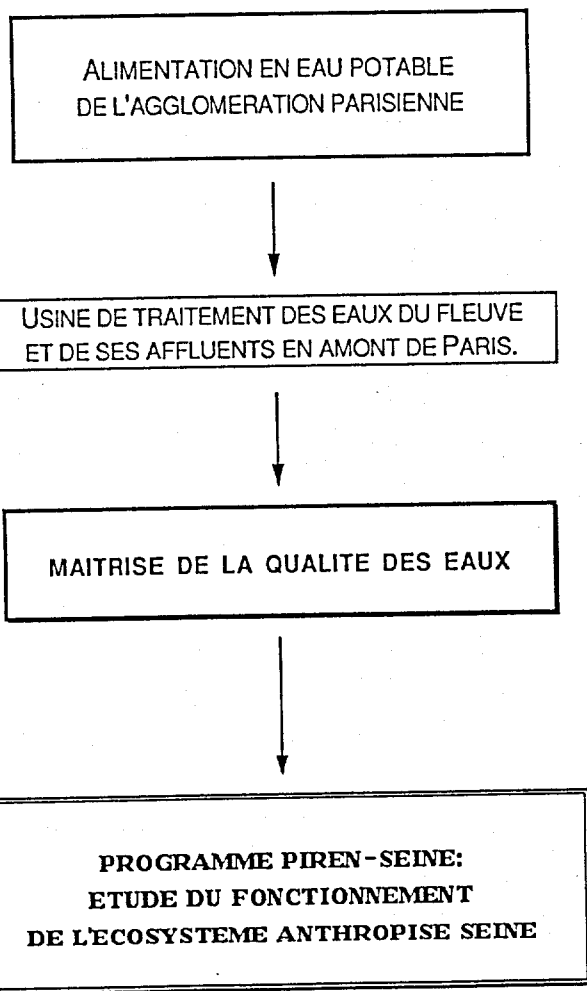


Figure 1. Cadre général des recherches du programme PIREN-SEINE.

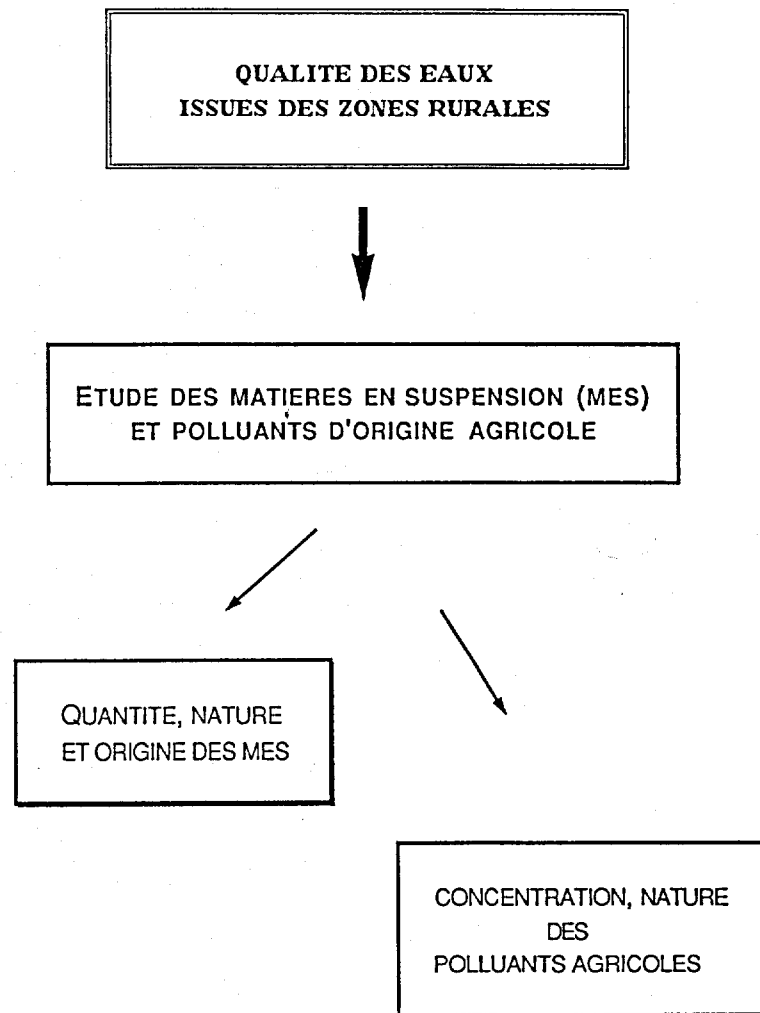


Figure 2. Problématique du groupe de recherches "Bassins versants ruraux" du programme PIREN-SEINE.

Les stations du LGP-URA 141 du CNRS font l'objet de l'excursion programmée lors de la réunion 1994 du "Réseau Erosion". La localisation géographique des USF et leurs caractéristiques sont indiquées respectivement sur la figure 3 et dans le tableau 1.

Dans un premier temps, les **matières en suspension** (MES) ont été choisies comme indicateur de la qualité des eaux. Elles sont mesurées lors des crues et proviennent pour l'essentiel de l'érosion des sols dans les champs.

S'y est ajoutée, plus récemment, l'étude des variations spatio-temporelles des concentrations en nutriments (nitrate et phosphate) et en certains pesticides (triazines, urées substituées) déterminées à l'étiage ou en crue.

Les démarches complémentaires utilisées et les premiers résultats obtenus seront présentés lors de l'excursion du 22 septembre au cours de laquelle un livret guide plus détaillé sera distribué.

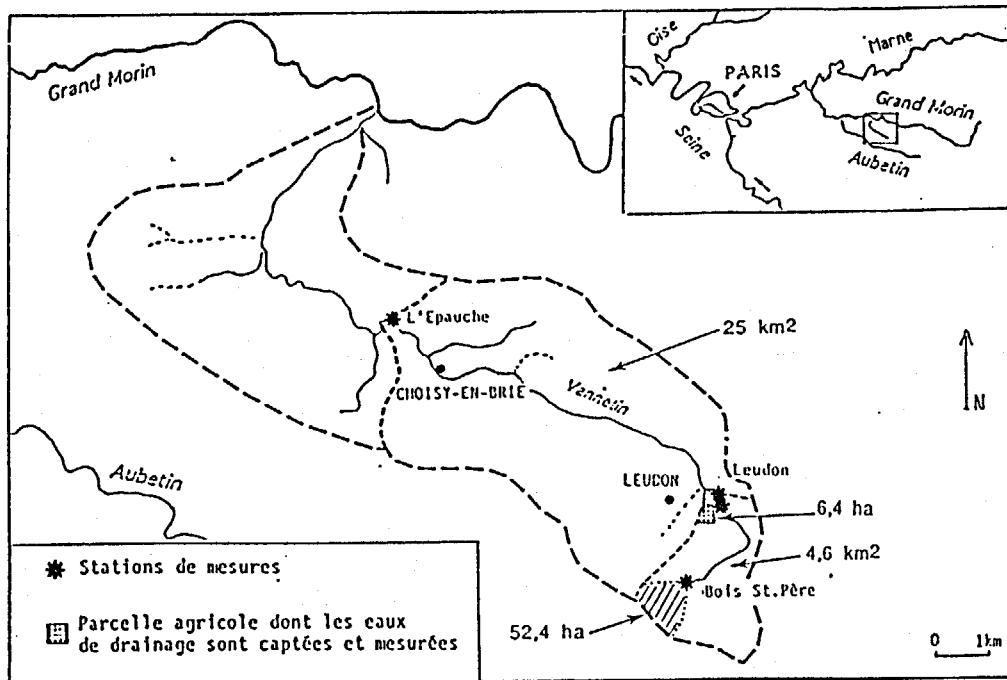


Figure 3. Le réseau de stations de mesures et les USF du bassin versant du Vannetin.

Tableau 1. Caractéristiques du réseau de stations de mesures et des USF drainées sur le bassin versant du Vannetin.

| Nom de la station | Caractéristiques de la station | Modes d'occupation du sol de l'USF | Surface drainée |
|-------------------|--|--|---------------------|
| D-Leudon | collecteur de drainage agricole | Milieu agricole : - 1 parcelle culturale | 6,43 ha. |
| Bois St Père | "Source" du Vannetin et collecteur de drainage agricole du b. v. amont | Milieu agricole : - quelques parcelles culturales - eaux usées d'une ferme | 52,4 ha. |
| R-Leudon | ru du Vannetin correspondant à peu près au b. v. élémentaire | Milieu agricole : - nombreuses parcelles culturales - eaux usées de 3 fermes | 460,56 ha |
| L'Epauche | ru du Vannetin correspondant à un b. v. composite | Milieu rural : - très nombreuses parcelles culturales - eaux usées de 3 villages | #25 km ² |

THEME 1

RELATIONS ENTRE STRUCTURES AGRAIRES,

DEMOGRAPHIE ET EROSION

OCCUPATION DU SOL ET PRATIQUES CULTURALES EN FONCTION DE LA PENTE STRATEGIES ANTIEROSIVES PAYSANNES AU RWANDA

E. NGENZI ¹ M. MIETTON ²

Résumé

Les densités très élevées (280 habitants/km² en moyenne) sur de fortes pentes, souvent supérieures à 60 %, entraînent la surexploitation des sols et le surpâturage au Rwanda. La dégradation des terres, la baisse de fertilité et des rendements, la suppression de jachères en sont des conséquences inéluctables sans aucun moyen de régénération possible.

Pour faire face à cette situation, les paysans utilisent des pratiques culturelles traditionnelles telles les buttes, les billons et planchettes, les haies vives, l'enfouissement des résidus organiques. Elles sont souvent bien maîtrisées et adaptées aux conditions locales.

Les méthodes mécaniques plus exigeantes en main d'oeuvre comme les fossés isohypses (450 à 800 hommes-jours/ha) ou le terrassement radical (700 à 1200 hommes-jours/ha) sont moins maîtrisées et les paysans les réalisent rarement de leur propre initiative.

L'étude basée sur des relevés de terrain sur des transects de 5 km permet de se rendre compte de l'organisation paysanne des pratiques culturelles sur les versants en fonction de la pente. Ces aspects sont plus visibles dans les zones d'occupation ancienne (plateau central et région du Nord-Ouest) que dans les régions plus récemment colonisées (crête Zaire-Nil et région de l'Est).

Comme la déclivité est l'un des principaux facteurs d'érosion des sols au Rwanda, chaque exploitant tente d'y remédier en adaptant les méthodes culturelles ou mécaniques à la pente. Cette adaptation est toutefois plus ou moins bien maîtrisée et les risques d'érosion sont localement accrus.

Mots-clés : Rwanda - pente - occupation du sol - pratiques culturelles - érosion

INTRODUCTION

Au Rwanda, 90 % de la population tire ses moyens de subsistance et ses revenus d'une agriculture traditionnelle. Une stratégie de conservation de l'eau et du sol en vue d'une amélioration de la production est un impératif majeur pour assurer l'autosuffisance alimentaire de près de 8 millions d'habitants, disposant de 18 000 km² de terres agricoles seulement.

Cette préoccupation est d'autant plus légitime que ce pays présente une somme de caractéristiques tant morpho-pédologiques que socio-économiques le prédisposant à l'érosion des sols. Certaines sont communes à bien des pays tropicaux, telle l'agressivité climatique, mais d'autres sont plus spécifiques. Les densités de population particulièrement élevées d'une part, un contexte de fortes à très fortes pentes d'autre part, doivent être d'emblée soulignées en tant que facteurs de risques de dégradation du milieu. La charge anthropique sur les terres, bonnes ou même marginales, est particulièrement lourde. Ainsi le couvert végétal protecteur a-t-il subi un défrichement progressif et une gestion raisonnable des terres a cédé la place à une surexploitation manifeste. La dégradation des sols est donc intimement liée, ici plus que partout ailleurs, à cette dynamique humaine.

Cependant, comme dans bien des pays de montagnes, la logique d'utilisation du sol est au Rwanda fonction de la pente et les paysans ont inventé des stratégies de gestion foncière s'adaptant à cette contrainte forte. Certaines de leurs pratiques ont désormais leur place dans l'arsenal reconnu des méthodes de lutte antiérosive (KÖNIG - 1992, NDAYIZIGIYE - 1993), méthodes certes vulgarisées depuis la colonisation belge mais trop longtemps limitées à des procédés mécaniques et ne prenant pas suffisamment en compte les différences régionales naturelles (topographiques, pluviométriques, pédologiques) et humaines.

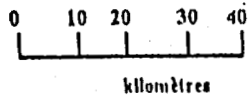
¹ Chargé de cours associé. Département de Géographie. Université du Rwanda.
Doctorant au CEREG (URA 95 CNRS) - ULP Strasbourg.

² Professeur à l'Université L. Pasteur de Strasbourg. CEREG (URA 95 CNRS) ; 3 rue de l'Argonne 67083 Strasbourg Cedex.

2 | 9° E FIGURE 1

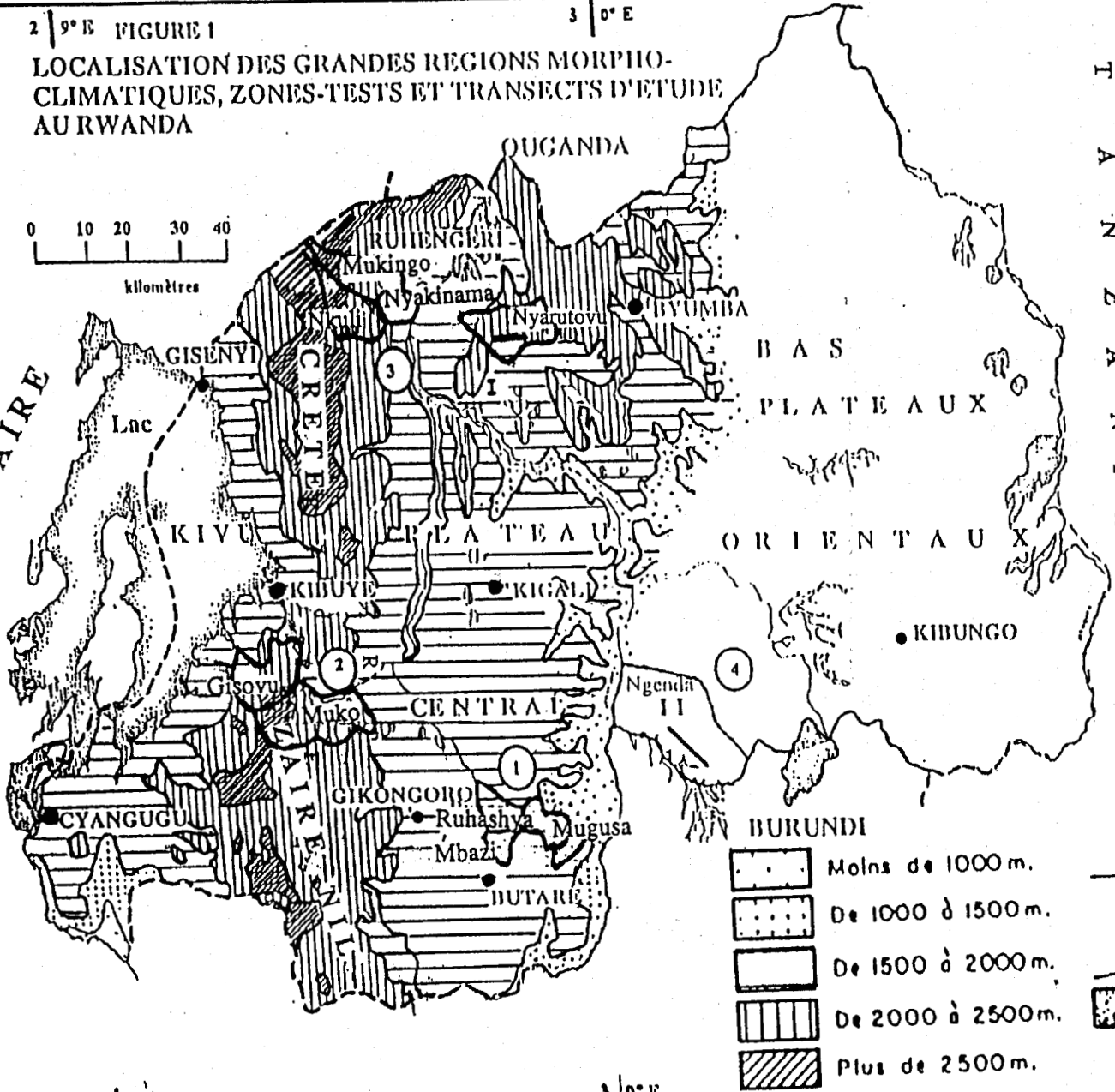
LOCALISATION DES GRANDES REGIONS MORPHO-CLIMATIQUES, ZONES-TESTS ET TRANSECTS D'ETUDE AU RWANDA

3 | 0° E



ZAIRE

2° S



T
A
N
Z
A
N
I
E



○ **Zone-tests**

- 1 communes du plateau central
- 2 communes de la crête Zaire-Nil
- 3 communes de la zone des Birunga
- 4 communes des bas plateaux de l'Est

2° S

— **Transects**

- I : Commune Nyarutovu
- II : Commune Ngenda

- BURUNDI
- Moins de 1000 m.
 - De 1000 à 1500 m.
 - De 1500 à 2000 m.
 - De 2000 à 2500 m.
 - Plus de 2500 m.

- Frontière Internationale.
- Chef-lieu de Préfecture.
- Principaux cours d'eau.
- Lacs

2 | 9° E

3 | 0° E

1. LE CONTEXTE D'UTILISATION DU SOL

1.1. Les contraintes topographiques

Au Rwanda, on peut distinguer trois ensembles morphoclimatiques majeurs : les hautes terres de l'Ouest et du Nord, le plateau central et les bas plateaux de l'Est.

Par l'expression hautes terres, on sous-entend toutes les zones particulièrement accidentées de la crête Zaïre-Nil (dorsale et contreforts), de la chaîne des Birunga, les hautes terres du Buberuka. Elles présentent des versants à fortes pentes (déclivité atteignant 100%, longueur de 300 à 500 m). C'est le domaine des vallées encaissées parfois suspendues, à fond plat, plus ou moins large et marécageux.

Le plateau central est caractérisé par un relief de collines à versants convexo-concaves. L'encaissement est faible, compris entre 100 et 200 m ; la déclivité la plus fréquente voisine de 30 à 50 %.

Le bas plateau de la région orientale est mollement ondulé, avec des versants dont la pente n'excède pas 30 %.

La mise en exploitation de ces différentes zones ne présente évidemment pas les mêmes risques d'érosion partout.

1.2. Les contraintes de l'environnement humain

1.2.1. Croissance démographique et densités de population

Le Rwanda est l'un des pays au monde les plus densément occupés. Les campagnes regroupant 94,5 % de la population totale du pays, les densités rurales situent même le pays au premier rang en Afrique avec une moyenne nationale de 285 habitants/km² et localement 600 à 800 habitants/km². Les terres incultes (domaines forestiers protégés et lacs inclus) occupent environ 30% des terres, la densité agricole moyenne est voisine de 385 habitants/km².

Le Rwanda a connu un fort dynamisme démographique dès le début du siècle mais le taux d'accroissement naturel est régulièrement compris depuis les années quarante entre 2,5 et 3 % par an (PRIOUL C. et SIRVEN P. - 1984; GUICHAOUA A. - 1987). La croissance a été de 97 % entre 1948 et 1970 et de 48 % entre 1978 et 1991, ce qui signifie que la population double en vingt ans.

1.2.2. Diminution de la taille des exploitations

L'une des conséquences de cette croissance démographique très rapide est la diminution inquiétante de la taille moyenne des exploitations. D'après les résultats de l'Enquête Agricole Nationale de 1984, les exploitations de moins de 1 ha représentent près de 60 % de l'effectif total des exploitations (26 % ayant moins de 0,5 ha). Seules 16 % des exploitations ont une taille supérieure à 2 ha. La taille moyenne de l'exploitation pour une famille de 8 personnes en moyenne est de 0,8 ha. Cette diminution de l'exploitation a eu pour conséquences la réduction ou l'abandon des périodes de jachères, la pratique de deux à trois saisons de culture, la suppression ou la régression de l'élevage du gros bétail.

Dans ces conditions, la régénération naturelle des sols est impossible ; la fertilité et les rendements baissent inexorablement.

1.2.3. Extension de l'habitat aux zones marginales

Les mouvements d'immigration du plateau central surpeuplé (régions de Butare, Gitarama et Ruhengeri) ou peu fertile (Gikongoro) vers les régions de l'Est, plus chaudes et restées longtemps inhospitalières, ont pris de l'ampleur au courant de ces trois dernières décennies. A l'intérieur des zones d'occupation ancienne, du fait de l'extension des cultures, les pâturages et les forêts secondaires diminuent toujours.

Avec l'action de l'homme, la forêt ombrophile régresse et devient une forêt secondaire, qui, à son tour, peut évoluer en prairie d'altitude, formée principalement d'*Eragrostis blepharoglumis*, *Pennisetum clandestinum* (kikuyu grass) ou d'*Exothea abyssinica*.

Dans toute la région centrale et une grande partie des secteurs oriental et occidental du pays, la végétation naturelle a complètement disparu et a cédé la place à la flore issue de l'action

humaine. Il s'agit des zones occupées par les cultures et les pâturages. Ces derniers occupent des zones marginales, inaptes à l'agriculture et sont toujours en concurrence avec elle.

Au total, entre 1965 et 1984, la superficie des terres cultivées a augmenté de 3,7 % par an. Ainsi est-elle passée de 26 % à 43 % de la superficie agricole utile (ROSSI - 1991). Les cultures s'étendent aux très fortes pentes. Les versants de 100 % de pente sont fréquemment mis en culture et les sols se dégradent à une vitesse alarmante (MOEYERSONS - 1988).

2. PENTE ET OCCUPATION DU SOL A L'ECHELLE REGIONALE

L'examen de l'occupation du sol en fonction de la pente a été conduit à l'échelle de zones-tests (de l'ordre de 10² km²) prises à l'intérieur de chacun des grands ensembles morpho-climatiques : les communes de Nkuli, Nyakinama et Mukingo dans la région des Birunga ; les communes de Mbazi, Mugusa et Ruhashya, de la préfecture de Butare dans la région du Plateau central ; la commune de Ngenda au Bugesera dans la région de l'Est.

2.1. La crête Zaïre-Nil : Communes de Gisovu (préfecture : Kibuye) et de Muko (préfect. Gikongoro)

Dans cette zone, les pentes de 25 à 55 % prédominent ; celles supérieures à 55 % venant au second rang fréquemment (Fig. 2). Quelques unités, dispersées et de taille réduite, à pentes moyennes (13-25 %) ou faibles (6 à 13 %) peuvent être distinguées dans toute la partie haute de la crête. Ce sont de petites vallées suspendues, à fond plat, parfois marécageuses. Mais, partout ailleurs, les risques d'érosion sont élevés, voire très élevés.

Les trois types d'occupation du sol sont ici représentés : forêt de montagne, prairies d'altitude, cultures.

Il est encore possible en effet de trouver une couverture de forêt ombrophile de montagne. C'est le cas de la partie sud-ouest des deux communes prises en exemples.

L'érosion y est généralement très faible sous des formations multi-étagées bien couvrantes, avec une strate herbacée plus ou moins buissonnante, une strate arbustive et de grands arbres. Pour autant, le risque d'érosion n'est pas nul, particulièrement sur les plus fortes pentes où les mouvements de masse peuvent toujours survenir lors d'événements climatiques extrêmes.

Sur les bordures de la forêt, l'avancée des cultures est régulière.

Mais une situation intermédiaire -du point de vue spatial et temporel- est constituée par les prairies d'altitude. En bordure de la forêt naturelle, mise en défens actuellement, une reforestation est en cours. Un exemple en est donné dans la commune de Gisovu où un boisement est visible sur la carte à proximité d'une grande plantation de thé.

2.2. Le Plateau central : Communes de Mbazi, Ruhashya et Mugusa (préfect. de Butare)

Les pentes dominantes sont ici comprises entre 13 et 25 %. tandis que celles supérieures à 55 % disparaissent pratiquement et celles comprises entre 25 et 55 % existent sous forme d'unités plus réduites et dispersées (Fig. 3). Quelques unités longilignes, à pente quasi nulle (0 à 2%) correspondent à des bas-fonds, occupés par des marais.

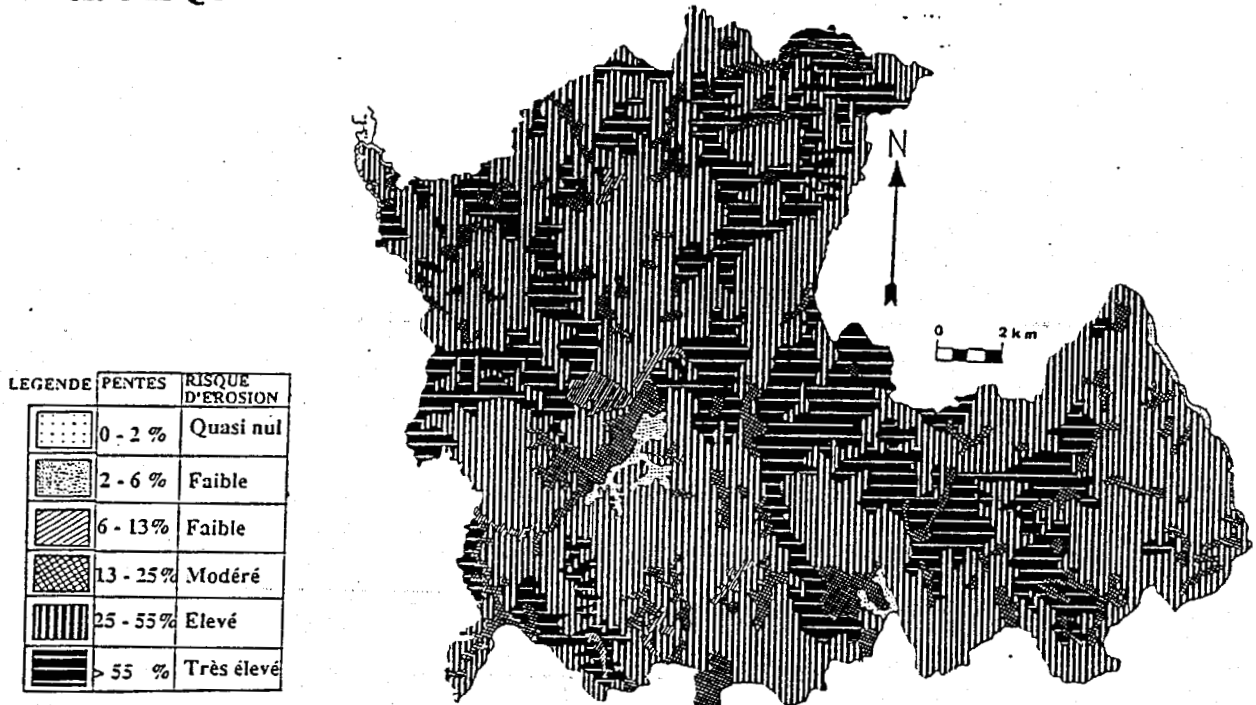
La principale caractéristique, sur l'ensemble de ces trois communes, est que l'espace est exploité, mis en culture dans sa totalité. La végétation naturelle a complètement disparu. Tous les bas-fonds sont aménagés et les boisements sont rares.

Les cultures saisonnières occupent la plus grande partie de l'espace (50 à 75%), mais les cultures pérennes sont présentes un peu partout avec une prédominance des bananiers, autour des rugo¹. Dans l'ensemble les risques d'érosion sont a priori modérés mais ils sont très élevés sous cultures saisonnières et particulièrement, durant les mois pluvieux, au début des semis (septembre-octobre et décembre-février).

¹ rugo : terme local pour désigner l'enceinte de l'habitation.

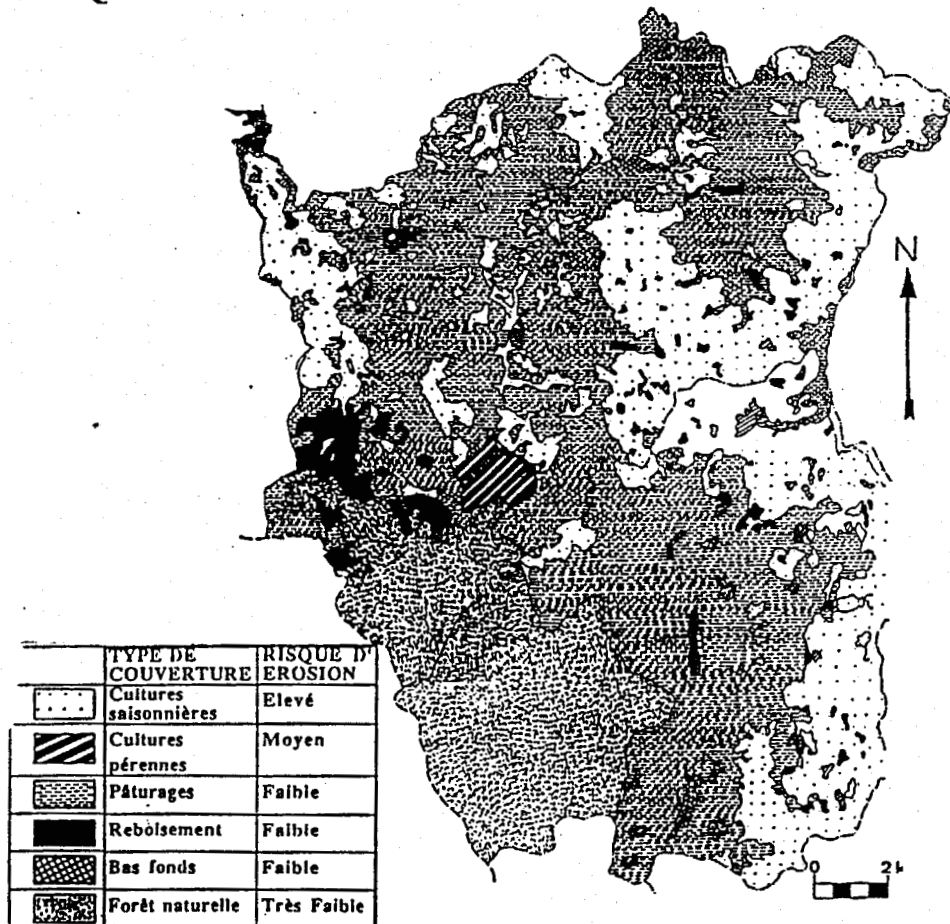
Figure 2 PENTE ET OCCUPATION DU SOL DANS LA CRETE ZAIRE-NIL. EXEMPLE DE LA ZONE DES COMMUNES MUKO ET GISOVU

A. RISQUES D'EROSION SELON LA PENTE



SOURCE : D'après MINTRAPE - 1987 - Carte topographique (1/50 000)

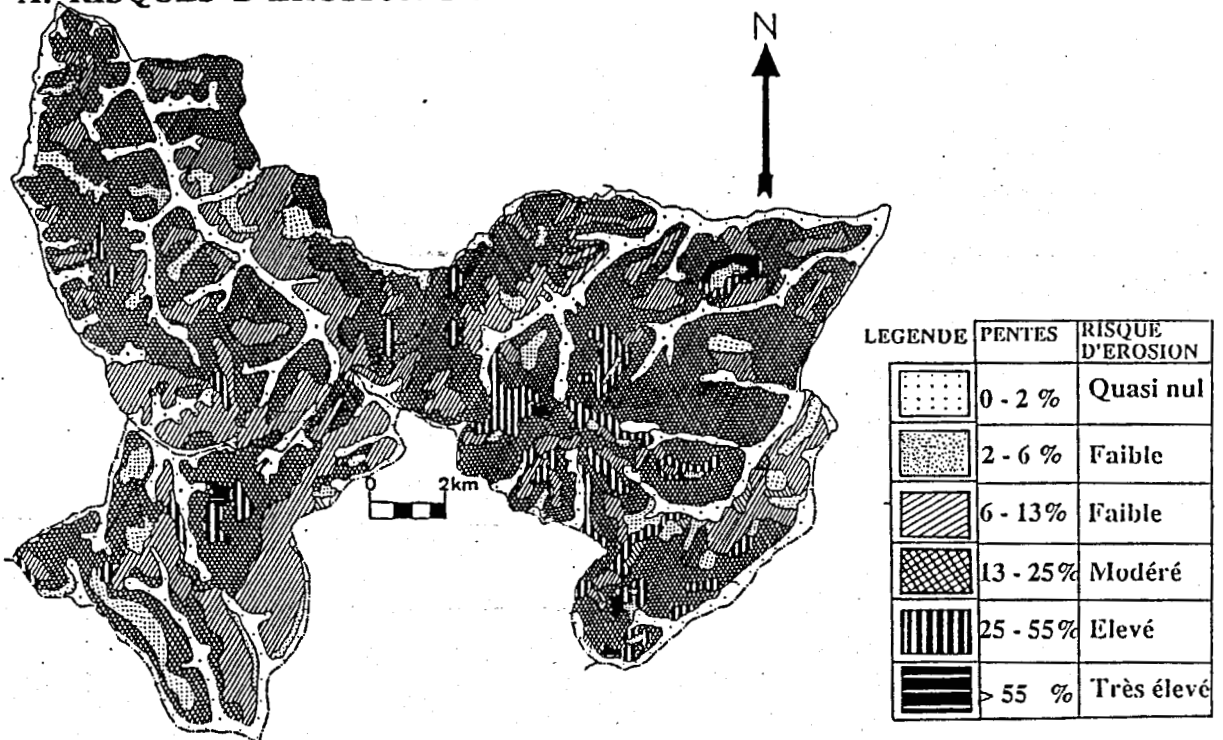
B. RISQUES D'EROSION DES SOLS SELON L'OCCUPATION DU SOL



SOURCE : D'après MINAGRI - 1987 - Carte d'occupation du sol (1/20 000)

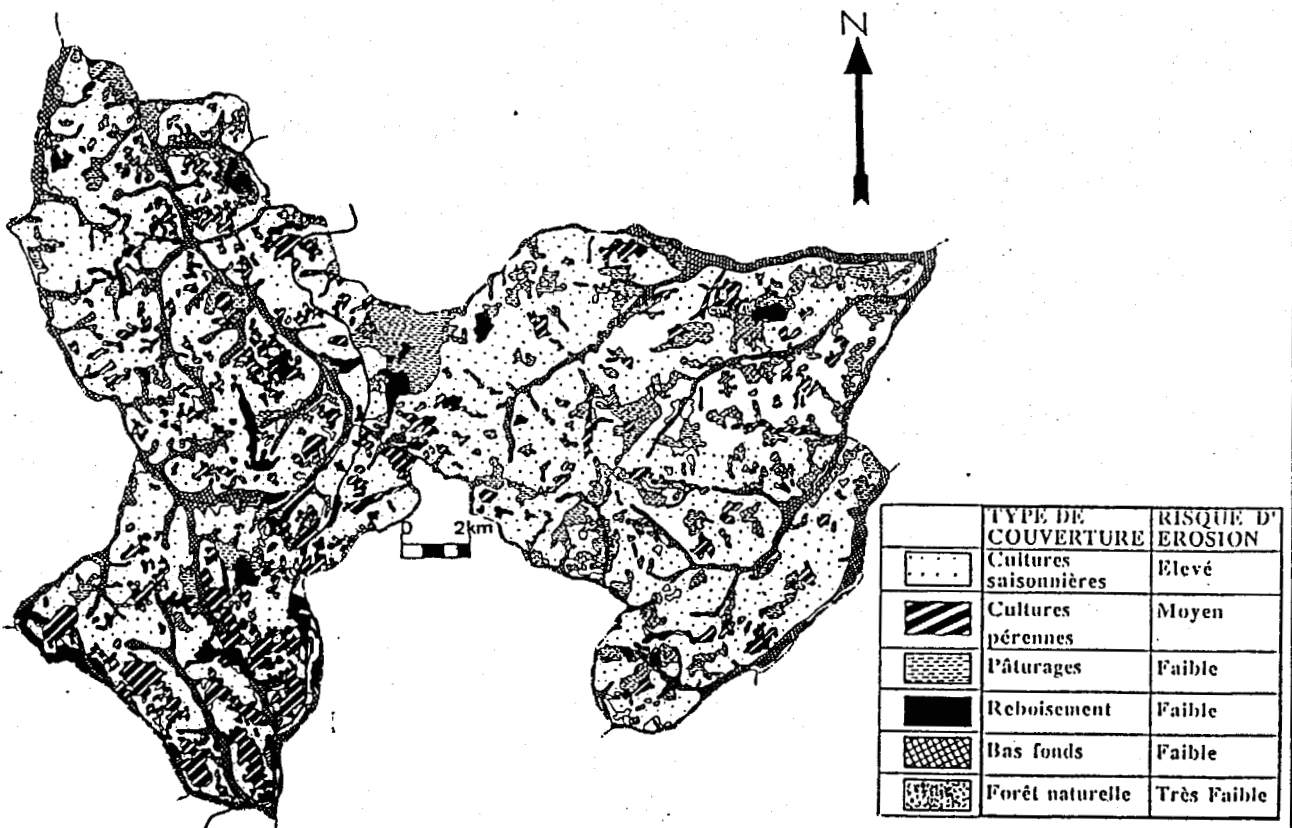
Figure 3 PENTE ET OCCUPATION DU SOL SUR LE PLATEAU CENTRAL. EXEMPLE DE LA ZONE DES COMMUNES MBAZI, MUGUSA ET RUHASHYA

A. RISQUES D'EROSION SELON LA PENTE



SOURCE : D'après MINITRAPE - 1987 - Carte topographique (1/50 000)

B. RISQUES D'EROSION DES SOLS SELON L'OCCUPATION DU SOL



SOURCE : D'après MINAGRI - 1987 - Carte d'occupation du sol (1/20 000)

Sous les bananeraies pérennes, en revanche, l'érosion est en principe limitée mais les risques d'érosion sont en fait variables suivant l'écartement des plants et les pratiques culturales (la pratique ou non de cultures associées par exemple).

Il existe une correspondance entre pentes fortes (25 - 55 % et plus) et rares boisements dispersés dans cette région. Les zones considérées comme marginales sont souvent réservées en effet à une exploitation sylvicole. Les pâturages, rares eux aussi, correspondent le plus souvent à des friches localisées au sommet des collines sur de fortes pentes ou dans quelques fonds de vallées non aménagés.

2.3. La zone des Birunga : Communes de Nyakinama, Mukingo et Nkuli (préfect. Ruhengeri)

Dans cette zone, aucune classe de pente ne prédomine.

Sur les contreforts septentrionaux de la crête Zaïre-Nil, dans l'Est de Nyakinama et le Sud de Nkuli, les risques d'érosion sont très élevés ou élevés sur les pentes supérieures à 55 % et comprises entre 25 et 55 %. Seules les concavités de bas de pente, entre versants et fonds de vallées, ont des pentes plus faibles, entre 6 et 13 %.

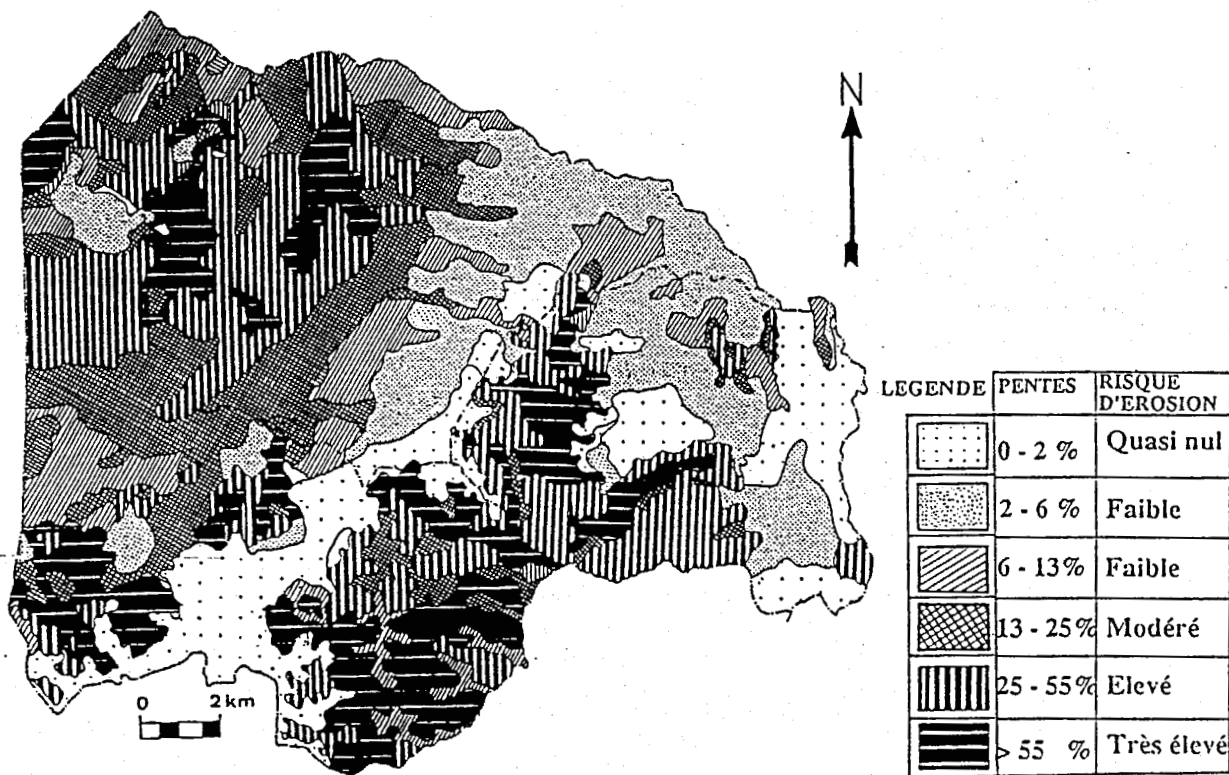
Sur la retombée méridionale du massif volcanique de Kalisimbi, au Nord des communes de Mukingo et Nkuli, les pentes sont très raides (supérieures à 55 % ou comprises entre 25 et 55 %) dans la partie amont de ce cône. Seuls quelques replats structuraux ou d'érosion font exception: A la périphérie de cette zone volcanique, les pentes s'adoucissent progressivement sur un piémont constitué de laves, de dépôts alluviaux et de colluvions.

La longueur des versants de la chaîne des Birunga est particulièrement remarquable -plus de 20 km de long- et ceci a permis le creusement de profonds ravins (entre 0 et 10 m de profondeur et/ou de largeur) où l'écoulement se fait de manière violente et sporadique (JOST-1987, NGENZI-1986). Ce ravinement toujours actif sur les flancs n'est réactivé sur le piémont que lors d'averses exceptionnelles. Sur cette partie du domaine volcanique les risques d'érosion sont faibles ou moyens mais apparaissent tout à l'aval des risques d'inondations très élevés.

La forêt naturelle couvre encore la partie supérieure des flancs volcaniques ainsi qu'on peut le voir au nord-ouest de cette zone-test (Fig. 4). Tout le reste est couvert par des cultures saisonnières ou quelques cultures pérennes. Ces dernières correspondent à une bananeraie : ainsi sur près de la moitié de la commune de Nyakinama dans la zone basse, plus chaude. On trouve aussi quelques plantations de thé ou de pyrèthre dans les communes Mukingo et Nkuli sur les hautes terres.

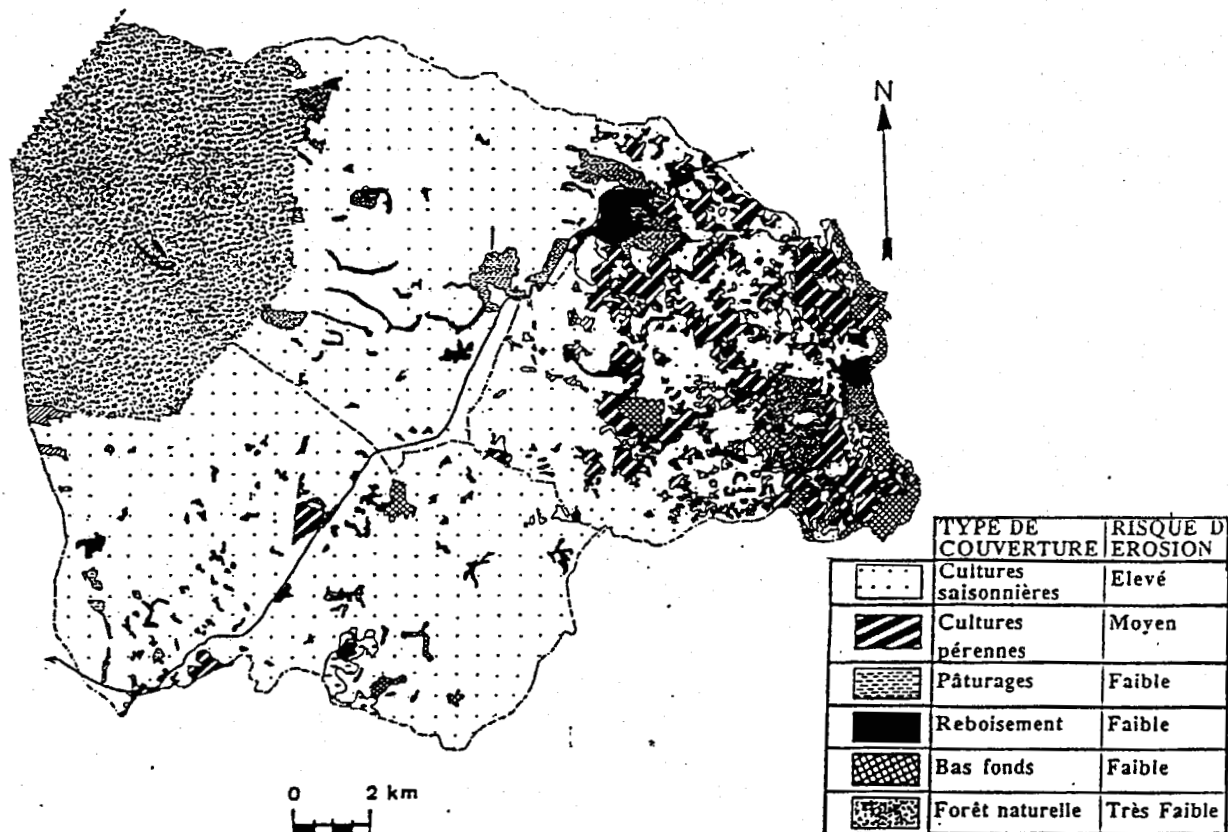
Quelques boisements sont disséminés sur les zones pentues, marécageuses ou très caillouteuses sur les champs de laves volcaniques.

Figure 4 PENTE ET OCCUPATION DU SOL DANS LA REGION DES BIRUNGA. EXEMPLE DE LA ZONE DES COMMUNES MUKINGO, NKULI ET NYAKINAMA
A. RISQUES D'EROSION SELON LA PENTE



SOURCE : D'après MINITRAPE - 1987 - Carte topographique (1/50 000)

B. RISQUES D'EROSION DES SOLS SELON L'OCCUPATION DU SOL



SOURCE : D'après MINAGRI - 1987 - Carte d'occupation du sol (1/20 000)

3. PENTE ET PRATIQUES CULTURALES A L'ECHELLE DES VERSANTS

L'étude des pratiques culturelles en fonction de la déclivité a été effectuée sur les versants dans les zones-tests. Des relevés systématiques concernant la pente, la situation sur le versant (sommet, mi-pente, bas de pente), l'occupation du sol et les pratiques culturelles antiérosives ont été faits tous les 200 m et dans un rayon de 40 m autour de chacun de ces points ou sites ; les résultats sont exprimés en % par rapport à l'ensemble des sites considérés.

Afin d'apprécier la variabilité spatiale des situations, ces relevés ont été menés dans trois zones différentes : deux d'entre elles (celle des communes Nyakinama, Nkuli et Mukingo et celle de la commune Nyarutovu) sont situées dans la région Nord du pays dans le bassin versant de la Mukungwa ; la troisième (celle de la commune Ngenda) est située au Sud-Est.

3.1. Exemple du transect de la commune de Nyarutovu

Ce transect étudié s'étend sur 5,5 kilomètres environ de profil irrégulier, entre 2150 m et 1600 d'altitudes maximale et minimale. Les dénivelées peuvent atteindre 500 m et les longueurs de pente 2 km.

Les pentes supérieures à 40 % sont prédominantes. Les pentes faibles (0 à 6 %) n'existent qu'au sommet ou dans les fonds des vallées. Sur les versants les pentes les plus faibles sont toujours supérieures à 25 %.

Le nombre de sites étudiés au long de ce transect est de 47.

Tableau 1 PRATIQUES CULTURALES PAYSANNES SELON LA PENTE :
EXEMPLE DU TRANSECT DE NYARUTOVU

| PENTE | SITUATION SUR LE VERSANT | | | TYPES D' OCCUPATION DU SOL | | | | | | PRATIQUES CULTURALES ET TECHNIQUES ANTIÉROSIVES | | | | | | |
|--------------|--------------------------|---------|---------|----------------------------|------------|------------|----------|----------|-----------|---|---------|----------|------------|---------|----------|---------|
| | Classes en (%) | Set (%) | M.p (%) | B.p (%) | Ct.s.a (%) | Ct.s.m (%) | B.a. (%) | B.m. (%) | P.ouF (%) | Bs (%) | Bil (%) | Lb P (%) | Ter Progr. | | | Tstes % |
| | | | | | | | | | | | | | But (%) | Bil (%) | Lb P (%) | |
| 0 - 2 | 4 | 0 | 9 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 |
| 2 - 6 | 6 | 0 | 4 | 4 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 |
| 6 - 13 | 4 | 6 | 4 | 11 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | 0 |
| 13 - 25 | 0 | 9 | 2 | 2 | 2 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 9 | |
| 25 - 55 | 2 | 40 | 9 | 13 | 0 | 30 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 47 | 0 |
| > 55 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL | 100 % | | | 100 % | | | | | | 100 % | | | | | | |

LEGENDE

| SITUATION SUR LE VERSANT | TYPES D'OCCUPATION DU SOL | PRATIQUES CULTURALES ET TECHNIQUES ANTIÉROSIVES |
|--|---|--|
| Set : Sommet M.p : Mi-pente B.p : Bas de pente | P : Pâturages F : Friches Bs: Boisements B.m. : Bananeraies en monoculture B.a. : Bananeraies associées à d'autres cult. Ct.s.m. : Cultures saisonnières en monocult. Ct.s.a. : Cultures saisonnières associées | Bil : Billons But. : Buttes Lb P : Labour plat Tstes : Terrassettes Terr. Prog.: Terrasses progressives |

Le sol est occupé essentiellement par des cultures saisonnières (maïs, petit pois, patates douces, sorgho, courges et colcases ou taros) associées entre elles (36%) ou aux bananeraies (40%). Les bananeraies en monoculture sont rares.

Les pâturages et/ou les zones en friches sont quasi inexistantes. Les boisements (eucalyptus et pins), au nombre de quatre, sont très peu étendus, de petite taille et éparpillés, en sommet de colline ou sur le versant

Les terrasses progressives, qui se forment à l'échelle pluri-annuelle à partir des haies plantées ou divers types de fossés, constituent la principale méthode de lutte anti-érosive appliquée dans cette zone tandis que les terrassettes (retrouvées ailleurs, sur la crête Zaïre-Nil) n'existent pas ici. Les terrasses ont une largeur voisine de 15 à 20 m sur les pentes de 13 à 25 % et de 10 à 15 m pour celles comprises entre 25 et 55 % ; les talus ont une hauteur respectivement inférieure à 50 cm et 75 cm à 1 m ou plus. Ce talus est généralement enherbé, principalement avec du sétaria mais quelques uns ont des haies de penissetum seul ou associé au sétaria. Quelques paysans plantent des touffes de canne à sucre dans la haie.

Les terrasses radicales sont très rares : une seule exploitation ainsi aménagée (5 à 10 m de largeur, 2 m de hauteur de talus) a été notée.

Enfin, on pratique systématiquement les billons sur les faibles pentes des vallées tandis qu'on privilégie le labour plat sur les sommets.

Au total, les risques d'érosion sont élevés, particulièrement sous cultures saisonnières sur les pentes élevées de 25 à 55 %. Les bananeraies, quant à elles, protègent bien le sol contre l'érosion de surface grâce à leur couverture pérenne mais ne permettent pas de résister aux mouvements de masse sur des pentes supérieures à 40 %. La pratique fréquente des cultures en association réduit encore l'érosion sous les bananeraies, y compris sur ces fortes pentes, mais des risques modérés subsistent.

3.2. Le transect de la commune de Ngenda dans la région orientale

Le transect étudié s'étend sur 10 km entre des altitudes de 1500 m maximum et 1350 m minimum. Les déclivités les plus fréquentes sont voisines de 10 ou 20 %, atteignant rarement 25 à 55 %. Les dénivelés sont faibles de l'ordre de 100 m ; les longueurs de pente pouvant atteindre 1 kilomètre.

Concernant l'occupation du sol, les boisements et les pâturages sont rares : sur 46 sites étudiés au long du transect, quatre (4) boisements et deux (2) pâturages sont recoupés.

Dans cette zone de peuplement récent, les premières vagues d'occupation massive remontent aux années 1960-1970 et dans une moindre mesure aux années 1980. La région est actuellement complètement mise en culture. Les cultures saisonnières associées ou spécifiques (riz ou patates douces dans les bas-fonds) sont présentes sur près de la moitié des sites (47%). Les cultures pérennes les plus fréquentes sont les bananeraies (bananiers seuls ou en association avec les cultures saisonnières : 24%), subsidiairement le manioc (4%) et le café (13%).

Ici aussi, les méthodes antiérosives et les pratiques culturales sont fonction de la pente.

Les pentes faibles de 0 à 2 % ou 2 à 6 % se retrouvent principalement sur les sommets, les glacis de bas de pente et les fonds de vallée. Ces terroirs se prêtent à la pratique des billons et du labour plat. Ce dernier n'est présent toutefois que sur les seules terres non exposées aux inondations alors qu'en revanche, les billons sont construits dans les bas-fonds inondables pour faciliter le drainage des eaux et limiter l'engorgement et l'asphyxie des plantes.

Sur les pentes plus fortes (6 à 13 %, 13 à 25 % ou plus), les exploitations sont aménagées en terrasses progressives. Dans la classe de pente de 6 à 13 %, les terrasses ont généralement 40 m de large et le talus 30 cm de hauteur alors que, dans la classe de 13 à 25 %, la largeur diminue (30 m) et le talus est plus haut (50 cm). Les pratiques culturales (battes, billons ou labour à plat) dépendent du type de culture : manioc, igname et tubercules en général étant cultivés sur battes. Comme le développement des tubercules nécessite un sol profond, celles-ci sont en quelque sorte le témoin d'une érosion actuelle qui n'est pas trop forte ou qui ne s'est pas exercée depuis trop longtemps du fait d'une mise en valeur relativement récente.

Au total, dans ce secteur, l'érosion paraît limitée sous les cultures saisonnières et plus encore sous cultures pérennes. Elle est ainsi quasi nulle sous les caféiers qui sont toujours paillés et très faible sous les bananiers qui assurent une bonne couverture du sol de manière permanente.

**Tableau 3 PRATIQUES CULTURALES ET PENTE SUR LES
EXPLOITATIONS PAYSANNES DE MUKINGO-NKULI-NYAKINAMA**

| PENTE SITUATION SUR LE VERSANT | | | | TYPES D' OCCUPATION DU SOL | | | | | | | | PRATIQUES CULTURALES ET TECHNIQUES ANTIEROSIVES | | | | | |
|--------------------------------|--------------|-------|--------|----------------------------|-----------|--------|--------|------|-------|-------|------|---|-------|--------|---------------|-----|------|
| Classes (%) | Set % | M.p % | B. p % | Ct.s.a. % | Ct.s.m. % | B.a. % | B.m. % | Cf % | T/P % | P/F % | Bs % | Tstes % | Bil % | Lb.P % | Ter Progr (%) | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | But | Bil | Lb.P |
| 0 - 2 | 2 | | 20 | 15 | 3 | 2 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 16 | 7 | 0 | 0 | 1 |
| 2 - 6 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 - 13 | | | 9 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 - 25 | | 2 | 20 | 14 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 9 | 0 | 0 | 3 |
| 25 - 55 | 8 | 8 | 14 | 15 | 11 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 12 | 0 | 0 | 0 | 6 | 15 |
| > 55 | 8 | 9 | | 4 | 9 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | | 10 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 |
| TOTAL | 100 % | | | 100 % | | | | | | | | 100 % | | | | | |

LEGENDE

| SITUATION SUR LE VERSANT | TYPES D'OCCUPATION DU SOL | PRATIQUES CULTURALES ET TECHNIQUES ANTIEROSIVES |
|--|--|---|
| Set : Sommet M.p : Mi-pente B.p : Bas de pente | F/P : Friches ou Pâturages Bs: Boissements B.m. : Bananeraies en monoculture B.a. : Bananeraies associées à d'autres cult. Ct.s.m. : Cultures saisonnières en monocult. Ct.s.a. : Cultures saisonnières associées Cf : Café T/P : Thé ou Pyrèthre | Bil : Billons But : Buttes Lb P : Labour plat Tstes : Terrassettes Terr. Prog.: Terrasses progressives |

Ces terrassettes nécessitent une grande force de travail puisqu'elles doivent être reconstruites à chaque saison culturale.

Les terrasses progressives ont une largeur de 10 à 20 m dans la classe des 25 à 55 % de pente et leur talus une hauteur de 0,5 à 1 m. Mais, sur les pentes supérieures à 60 %, on peut avec des terrasses de 6 m de large et de 0,5 à 1 m de hauteur de talus.

Les terrassettes ont une largeur de 5 à 6 m et 40 à 50 cm de talus sur les pentes de 40 à 50 %. Mais la largeur est souvent inférieure à 3 m sur les pentes de 60 ou 70 %.

Les haies vives des talus sont plus fréquemment constituées de setaria, de pennisetum et d'imihati. L'arbre est très fréquent sur les exploitations, en bordure des terrasses sur les talus ou pour marquer les limites de l'exploitation ou des sentiers.

CONCLUSION

Au Rwanda, les risques d'érosion en fonction de l'occupation du sol sont élevés. En effet, la plus grande partie de la surface est généralement occupée par les cultures saisonnières, et secondairement par les cultures pérennes. Leur indice C (indice du couvert végétal et des techniques culturales dans l'équation de Wischmeier) est estimé (SESA - 1986) ¹ entre 0,02 (café) et 0,45 (tabac), alors qu'il varie entre 0,001 (sous forêt dense ou culture abondamment paillée) et 0,9 (maïs, sorgho, mil) en Afrique de l'Ouest (ROOSE - 1979).

Ce travail confirme la structuration de l'espace rural sur les collines en fonction de la déclivité ou de la forme de la pente. Au fil du temps, les paysans ont élaboré des stratégies de gestion des sols permettant de mettre en culture des versants très pentus.

¹ Le Service des Enquêtes Statistiques Agricoles (SESA) a estimé, sur deux saisons, l'indice C des différentes cultures et associations de culture entre 1983 et 1984.

La mise en relation de la distribution spatiale des classes de pentes et de l'occupation du sol, compte tenu aussi des techniques culturales, montrent qu'il existe bien sûr une correspondance entre les plus fortes pentes et les boisements ou les friches/pâturages et que les terres marginales sont ainsi réservées aux activités sylvo-pastorales.

Mais la pression humaine a atteint de telles proportions qu'il n'est pas rare de voir les pentes supérieures à 55 % mises en culture. Ceci se remarque principalement dans les zones d'occupation ancienne du plateau central et du Nord mais le phénomène s'étend actuellement dans les zones pionnières de la crête Zaïre-Nil et de l'Est.

Dans la lutte antiérosive, les terrasses progressives, formées à partir des haies vives ou des fossés, occupent la place prépondérante dans toutes les régions. Elles protègent bien contre l'érosion mais résistent mal aux mouvements de masse sur les fortes pentes (supérieures à 50 %), sur les contreforts de la crête Zaïre-Nil dans les communes Mukingo-Nkuli-Nyakinama par exemple. Seule la pratique des terrassettes, observée dans la région Nord du pays, permet de mettre en culture les versants à pentes très élevées supérieures à 60 % et assure une bonne protection du sol. La pratique des billons et des buttes ont souvent un effet bénéfique, tant du point de vue strictement agricole que de la gestion des eaux et du sol.

REFERENCES

- BART F., -(1988)- La paysannerie rwandaise. Etude géographique d'une haute terre tropicale densément peuplée., Bordeaux, Institut de géographie, 2 vol., 1047 p. (Thèse de Doctorat d'Etat, Bordeaux III)
- GUICHAOUA A.; -(1987)- Destin paysan et politiques agraires en Afrique centrale. Tome I. L'ordre paysan des hautes terres centrales.; Paris, Université de Paris I Panthéon-Sorbonne; 474 p.
- KÖNIG D., -(1992)- Erosionsschutz in agroforstsystemen : Möglichkeiten zur begrenzung der bodenerosion in der kleinbäuerlichen landwirtschaft Rwandas im rahmen standortgerechter landnutzungssysteme., Mainz, Geographisches Institut der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. 212 p. (Thèse de doctorat)
- JOST C., -(1987)- Contraintes d'aménagement en région volcanique tropicale. La chaîne centrale des Birunga au Rwanda. Strasbourg, ULP, 290 p., 77 fig., 14 phot., 22 tabl., 6 cartes h.t., bibl. (182 réf.), annexes
- MOEYERSONS J., -(1988)- La nature de l'érosion des versants au Rwanda : Recherche à la colline de Rwaza (Runyinya - Butare) et observations dans la partie occidentale du pays suivies de quelques réflexions sur la lutte ant-érosive, Université Catholique de Louvain, 444 p., fig., cartes, photos+annexes (Thèse de Doctorat).
- NDAYIZIGIYE F., -(1993)- La gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols au Rwanda. Analyse des techniques antiérosives et de leurs effets sur la productivité des terres., Strasbourg, Université Louis Pasteur, p. 246 (Thèse de doctorat)
- NGENZI E., -(1986)- L'évolution hydromorphologique d'un modelé de contact lave-socle : Exemple du bassin Karago-Bihinga (versant méridional du Karisimbi-Rwanda), Ruhengeri, Université Nationale du Rwanda, 200 p., 22 tabl., 42 fig. (Mémoire de Licence en Géographie)
- NYAMULINDA V. et NGIRUWONSANGA V., -(1992)- *Lutte anti-érosive et stratégies paysannes dans les montagnes du Rwanda* in BULLETIN DU RESEAU EROSION ; N° 12, pp 71 - 82
- PRIOUL C., et SIRVEN P., -(1981)- Atlas du Rwanda. Paris : Ministère de la coopération, Butare : Université Nationale du Rwanda
- ROOSE E.J., -(1976)- "Use of the universal soil loss equation to predict erosion in West Africa". in, "SOIL EROSION: PREDICTION AND CONTROL", Ankey, Iowa, SCSA Special publication n°21, pp. 60-74, 1 fig., 7 tabl., 46 réf.
- ROSSI G., -(1991)- *Croissance de la population, mise en valeur et équilibre des versants : Quel avenir pour le Rwanda?* in, LES CAHIERS D'OUTRE-MER, Bordeaux, N° 173, 44è année, Janvier - Mars 1991, pp.29-48.
- SESA (Service des Enquêtes et des Statistiques Agricoles), -(1986)- Pertes de terre dues à l'érosion. Résultats de l'enquête pilote sur l'érosion (année agricole 1984). Kigali, MINAGRI, Rapport descriptif, 22 p.

**ENJEUX DE LA LUTTE ANTI-EROSIVE FACE AU DILEMME DE LA
DEMOGRAPHIE GALOPANTE ET AU RETRECISSEMENT DES TERRES
CULTIVABLES DANS LE CENTRE-EST DU BURKINA**

Par Théophile FAHO, Ingénieur Agronome, spécialisé en Hydraulique Agricole (Projet de Développement Rural Intégré du Centre-Est

B.P. 57 - TENKODOGO - BURKINA FASO

Tél : 71-01-58 Fax : 226).

Tél/Fax : (226) 71.01.58

RESUME

La région du Centre-Est du Burkina Faso est considérée comme une des zones où l'explosion démographique et la pression foncière est la plus expressive au plan national avec des densités de 120 hab/Km² et 52 hab/Km² respectivement au nord et au sud: 96 % de sa population tire leur revenu de l'Agriculture et de l'Elevage.

Les corollaires des aléas liés à l'insuffisance qualitative et quantitative de la pluviométrie dans cette région sahélienne, la présence des pentes sensibles, et la dégradation continue des ressources naturelles sous l'effet de la pression démographique place la question de la CES/DRS au coeur de la problématique de développement agrosylvo-pastoral de cette partie du Burkina Faso.

Les récents programmes de LAE entrepris dans la région tentent d'orienter leur action vers les alternatives de responsabilisation tenant compte de la dimension socio-économique des aménagements qui apparaît de plus en plus déterminant pour le succès des actions et leur appropriation par les paysans.

MOTS CLES

Pression foncière - aléas climatiques et pentes sensibles - dégradations des Ressources Naturelles, alternatives de responsabilisation - Appropriation/pérennisation.

INTRODUCTION

"Depuis ce temps là..., depuis la fin des années soixante, l'élan du développement économique et social du sahel est brisé ; paysans et paysannes ont l'échine courbée sur une terre fatiguée, dénudée, soufflée par le vent et emportée par l'eau..." Ce refrain apocalyptique, emprunté à R.M. Rochette dans "le Sahel en lutte contre la désertification. Page 1" traduit une réalité vivante et éprouvante et qui permet d'expliquer l'engagement de certains des pays du sahel à prioriser la lutte contre l'érosion dans le programme de Développement. Ainsi au Burkina Faso, durant la dernière décennie, il est apparu / que les actions d'aménagement visant la collecte et la gestion des eaux de ruissellement, ainsi que la restauration des sols, figurent en première ligne dans les Programmes de développement Rural axés sur la gestion des terroirs et le Développement Intégré. la CES/DRS, du fait de son impact sur les systèmes de production et sur la production elle-même est tantôt utilisée comme "porte d'entrée" par les projets dans le Centre, Centre-Sud et dans l'Est et le Centre-Est, tandis que dans le Nord, elle constitue l'ossature même des programmes d'activités.

Toutefois, si des succès sont remportés notamment en ce qui concerne les superficies et les villages touchés par les aménagements CES/DRS, de nombreuses insuffisances ont été relevées durant ces cinq (5) dernières années, et elles constituent les principales sources de compromissions des résultats escomptés.

Au titre de celles-ci, l'omission ou la prise en compte insuffisante des aspects socio-économiques dans l'élaboration des programmes de CES/DRS.

Cette tendance négative, tend depuis l'adoption de l'approche terroir, comme stratégie globale d'orientation du Développement Rural au Burkina Faso, à être contrariée avec l'introduction du diagnostic participatif et la formation comme préalable au déclenchement des actions.

La présente communication dont nous ne doutons guère des limites, tentera d'exposer d'abord les conditions générales et l'héritage du passé, ponctué par des contraintes techniques et surtout socio-économiques. Elle fera ensuite un bref aperçu sur l'expérience des projets d'aménagements à évolution récente avant de proposer quelques recommandations.

I. / CONDITIONS GENERALES ET L'HERITAGE DU PASSE

1.1 Des conditions physiques peu favorables

Au Burkina faso environ 95 % de la population exerce une activité agricole. Les systèmes d'exploitation restent cependant arriérés et sont en grande partie tributaires des conditions climatiques défavorables. Chaque année, à l'approche de la saison des pluies le paysan Burkinabè vit la hantise de ne pas savoir s'il va pouvoir bien récolter pour nourrir sa famille et subvenir aux autres besoins vitaux. En effet, il n'est pas rare qu'une poche de sécheresse d'une dizaine de jours au mois de juillet ou de septembre (périodes particulièrement sensibles pour les cultures) remette complètement en cause l'unique récolte de l'année. La difficulté majeure demeure la mauvaise répartition spatio-temporelle de la pluviométrie, caractéristique de toute la zone sahélienne dont le Centre-Est du Burkina faso fait partie.

Si la quantité d'eau reçue par an semble être insuffisante pour satisfaire aux besoins des cultures (700 à 850mm) il reste entendu qu'au delà de leur mauvaise répartition, la qualité des terres et les caractéristiques géomorphologiques viennent fortement minimiser l'impact bénéfique qui pourrait découler de cette pluviométrie.

En effet dans le Nord et le Centre de la région du Centre-Est les sols sont légers et en l'état de "perte de leur saveur" comme l'affirment les paysans ; le taux d'azote total est inférieur à 0,09% et celui de la matière organique de l'ordre de 1 à 2 %. A l'heure actuelle la production familiale moyenne excède rarement 200 kg/an pour les besoins de 3,5 à 5ha par exploitation. Le disponible en fumier est donc de 50 fois inférieur à la dose préconisée pour sauvegarder la fertilité des sols. La pratique de la jachère tend à disparaître dans cette région où la moyenne nationale oscille autour de 40 ha/km².

Dans la partie sud, il existe encore des ressources naturelles (galeries de forêts le long des cours d'eau, par cours etc...). Cependant l'affluence des migrations autour du lac du barrage hydro-électrique de BAGRE (au coeur de la zone sud) a placé ses ressources en état de dégradation depuis bientôt trois (3) ans. En outre cette zone correspond à celle où les pentes sont les plus prononcées dans la région et peuvent atteindre 2,5 à 3 % notamment dans les zones des vallées du Nakambé et de la Nouaho, les deux cours d'eau les plus importants de la région .

1.2 Une démographie galopante et des superficies cultivées en diminution progressive

La Province du Boulgou, dans laquelle le projet évolue, a une population de 484 040 habitants (1992) avec un taux d'accroissement de 2,68 % par an. Cette population est donc susceptible d'augmenter de sa moitié d'ici 20 ans et doublera en moins de cinquante (50) ans sur le même espace fini, que représente les 9033 km² de superficie avec un potentiel de 285 000 ha dont 200 000 ha sont exploitables. Si l'on tient compte que seulement 171 000 ha de cette superficie correspond à des sols de fertilité moyenne (le reste des terres étant érodées et qualifiées d'ingrater) et 28 000 ha de sols dits de "bonnes terre", l'on n'est en droit de s'interroger sur les alternatives pour une survie de d'environ 700 000 âmes sur cette terre sur laquelle la durée des jachères se raccourci, en proie à des techniques culturales arrières, aux cultures extensives ponctuées par le "nomadisme des champs" et soulevant des conflits de plus en plus aiguës, entre les éleveurs peulhs en quête de paturage et d'eau et de plus en plus "refoulés" sur des espaces hostiles à l'élevage.

La densité de la population est en moyenne de 54 hab/km² dans la province du Boulgou, cependant elle excède parfois 100 hab/km² dans le Nord et l'Ouest de la province, comme cela apparaît sur le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Densité de la population du Boulgou par département, 1992.

| Départements | Population | Superficie (km ²) | Densité (hab/km ²) |
|--------------|------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Bané | 15314 | 415 | 37 |
| Béguédo | 11460 | 40 | 287 |
| Bittou | 39758 | 1350 | 29 |
| Dourtenga | 8434 | 125 | 67 |
| Garango | 77980 | 910 | 86 |
| Komtoèga | 17575 | 160 | 110 |
| Lalgaye | 10416 | 770 | 14 |
| Niagho | 10758 | 300 | 36 |
| Ouargaye | 20585 | 375 | 55 |
| Sangha | 33683 | 506 | 67 |
| Tenkodogo | 115644 | 2017 | 57 |
| Yargatenga | 29010 | 445 | 65 |
| Zabré | 93423 | 1620 | 58 |
| Total | 484.040 | 9.033 | 54 |

Source : Direction Régionale du Plan, Tenkodogo, 1993.

Le nombre d'exploitation est de 70.125, avec une superficie moyenne de 3,1 ha (source : DEP/MARA, /BKF/87/049, 1990). Elle sera ramenée à 1,5 ha d'ici l'an 2015. Dans une telle perspective, et face à la dégradation continue de ces terres sous l'effet de l'érosion hydrique plus principalement, l'enjeu pour la gestion conservatoire des sols et de l'eau est donc de taille. En effet c'est dans un contexte de réalités physiques (pluviométrie, sols) et socio-économiques de plus difficiles, que l'on tente de développer les initiatives concrètes et réalistes d'optimisation de la production agricole. Celles-ci s'inspirent des expériences écoulées en matière CES/DRS, notamment à partir de 1977, période à laquelle un accent particulier a été mis sur la lutte contre la fuite des terres et des eaux au Burkina Faso.



Morcellement du parcellaire et habitat dispersé!

1.3 Diagnostic des principales contraintes socio-techniques et économiques des programmes d'exécution récente au Burkina

1°) Les réalisations du FDR de l'ORD et du projet FAO/GCP/BKF/031-ITA

Le fonds de développement Rural (FDR), sur les traces du GERES, peut être qualifié de pionnier dans le domaine de la lutte anti-érosive au plan national. Organisme chargé depuis 1972 de la définition de la stratégie en matière de CES/DRS et de la mise en oeuvre des actions, le FDR a conduit le vaste programme d'aménagement près de (45 000 ha de sites anti-érosifs en terre, et environ 15 000 ha en pierres).

Si les partenaires à l'exécution des programmes de lutte anti-érosive sont demeurés les Centres Régionaux de Promotion Agro Pastorales (CRPA) qui ont remplacé les Organismes Régionaux de Développement (ORD), de nombreux projets régionaux comme le projet FAO/ITA dans le Centre-Est, PDI/Kaya, 6è FED, PDIZ/Manga, ONAT (ex AVV) ont adopté la stratégie et les techniques préconisées par le FEER. Cependant l'évaluation du FDR (devenu le FEER en 1984) survenue en 1985/86 ainsi que celles des autres projets ont permis de dégager les contraintes majeures suivantes :

- la disparition précoce des diguettes en terres faute d'entretien et du fait des inadéquations techniques
- le coût élevé des aménagements et l'insuffisance d'implications des bénéficiaires
- la non responsabilité des techniques au niveau paysan
- la juxtaposition parfois constatée entre les besoins réels des populations et la réalisation des sites anti-érosifs dues à l'absence d'un diagnostic concerté permettant d'établir la carte des priorités villageoises.

Tableau 2. Etat des sites aménagés.

Une évaluation des aménagements réalisés par le projet FAO/ITA dans le CRPA du centre-Est et par le FEER dans le Centre et le Nord du pays a été menée en 1992 par le FEER et la FAO. Elle permet d'établir le bilan suivant

| Nombre de sites par échantillon | Type de sol | Pente moyenne | % de site détruit | Période aménagement |
|---------------------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------|
| 3 | Sols sableux | 0,95 % | 100 % | 1979-81 |
| 3 | Limons sableux | 0,90 % | 31,25 % (45 % en mauvais état) | 1984-91 |
| 10 | Sables limoneux | 0,80 % | 65,3 % (100 % pour 1979/80) | 1979-91 |

Source : Inventaire et diagnostic technique et socio-économique des aménagements, FEER, Mars 1992.

2°) Analyse des différentes insuffisances

La disparition précoce des réseaux anti-érosifs

Cette lacune résulte de plusieurs aspects techniques mais surtout socio-économiques qui ont été occultés ; il s'agit essentiellement :

1) La question foncière des aménagements :

De loin, la plus déterminante dans la survie de l'aménagement, elle a rarement fait l'objet d'une attention particulière. En effet en l'absence d'études d'un simple diagnostic concerté avec les populations, il n'était pas possible de mesurer l'ampleur de la question foncière.

Le centre-est comme la majeure partie du plateau mossi, est fortement tributaire de l'observance ou du respect des coutumes et de la hiérarchie coutumière, qui pèse encore de tout son poids sur la gestion du foncier, malgré l'adoption des textes portant RAF depuis 1985. Le mode de gestion des terres avant et après l'adoption de la RAF est certainement le facteur le plus déterminant.

*** Les prêts de terres**

- Les prêts de terres sont de plus en plus fréquents compte tenu de la sécheresse qui provoque une affluence des paysans sur les terres fertiles des basfonds qui appartiennent à quelques individus et que le droit foncier coutumier oblige pratiquement à satisfaire. En effet, selon le droit coutumier, on ne refuse pas la terre à quelqu'un qui en a besoin. Ainsi depuis la sécheresse, les prêts de terre sont de plus en plus fréquents entre autochtones et entre autochtones et migrants devenus de plus en plus nombreux.

La désintégration des structures familiales s'est également traduite par le droit foncier coutumier, qui n'autorise pas la "vente de la terre", s'adapte donc aux conditions d'abondance de la terre, où le bénéficiaire est plus ou moins sécurisé, car le plus souvent cette terre octroyée n'est pas retirée dans la situation, où les aléas climatiques obligent les propriétaires terriens à ne prêter que les terres peu fertiles, il reste entendu qu'une amélioration de la qualité de ces terres par le biais d'un quelconque aménagement pourrait entraîner le retrait de ces parcelles prêtées. Les bénéficiaires observent alors le statu quo.

Outre les contraintes liées au climat, celles liées à l'explosion démographique viennent durcir une condition de gestion du foncier.

Depuis les années 1960 on assiste à une désintégration de la famille qui se représente sur la gestion de la terre par l'éclatement du parcellaire avec l'octroi de champs individuels aux familles nucléaires. Celles-ci faute de revenus substantiels et accaparés par les travaux des champs collectifs, peuvent difficilement s'adonner aux travaux d'aménagement de ces parcelles.

Cette intégration de la famille est une conséquence directe de l'explosion démographique qui se traduit par une pression foncière très ressentie sur les terres.

Dans le cas des parcelles prêtées, les bénéficiaires, en l'absence d'une sécurité foncière ne prennent pas la peine pour entretenir les parcelles qui leur seront peut-être retirées à la campagne suivante.

Les champs attribués aux femmes et aux enfants ne peuvent être aménagés ou entretenus parce qu'ils sont accaparés par les travaux du champ familial. Cependant dans la réalité, avec l'explosion démographique ces types de parcelles deviennent de plus en plus nombreuses.

Les champs collectifs sont eux mêmes mal entretenus et les aménagements sont timidement réalisés parce que les membres de la grande famille n'y voient pas toujours leur intérêt (la récolte étant gérée par le chef de famille).

ii) Des aspects organisationnels des travaux d'aménagement CES/DRS

Les formes organisationnels des aménagements peuvent également être de nature à porter préjudice aux succès des actions de lutte anti-érosive.

La stratégie développée par le FDR et le projet FAO/GCP/BKF/031-ITA (1) dans le centre-Est a été également celle des aménagements collectifs (travaux en régie) où la participation se limitait à l'investissement humain pour les travaux de confection des diguettes ou à l'alignement des cailloux déversés par les camions loués par les projets.

Cette formule des aménagements du type collectiviste a l'inconvénient majeur de faire travailler les membres des groupements pour quelques individus (souvent les leaders) et d'aménager des sites anti-érosifs sur des parcelles de paysans qui ne se sentent pas concernés par ces actions (parfois non membre du GV) mais dont les parcelles sont situées dans la zone à aménager.

Il en découle que l'entretien des ouvrages dans ces parcelles est déjà compromise. Il en est de même pour les bénéficiaires des aménagements qui se retrouvent avec 3 à 5 ha aménagés dont ils doivent assurer l'entretien seuls dans l'assistance des autres membres du groupement.

La principale contrainte qui émerge de cette forme organisationnelle est l'insuffisance de l'implication de responsabilisation des bénéficiaires des aménagements.

iii) Les limitations économiques

a) Des aménagements très coûteux et en inadéquation avec le revenu des paysans

Les techniques d'aménagement de SAE, (2) utilisées au Burkina Faso de la période 1977 à 1990 et (même encore aujourd'hui par quelques projets) reposaient sur l'utilisation des brigades topographiques levées et motorisées (matérialisation des diguettes) de camions loués pour le transport des cailloux.

(1) = Sigle du projet PDRI-CE (1983-1990)

(2) SAE : Site Anti Erosif.

Avec l'inaccessibilité de certains matériels de travail par les paysans soit du fait de la non maîtrise de la technologie (outils topographiques) ou de leurs coûts (camions), compromettait déjà à l'origine de la pérennisation des actions de lutte anti-érosive au niveau de l'exploitation prise individuellement.

Du même coup, même si cette formule avait des avantages certains notamment en ce qui concerne l'étendue considérable des superficies aménageables d'un seul tenant, il reste certain qu'une absence d'appropriation des aménagements par les utilisateurs constitue une entrave aux conséquences lourdes pour la poursuite des travaux sans assistance d'un projet ou de l'administration.

Les coûts des aménagements sont respectivement de 26 040 FCFA/ha pour les sites anti-érosifs constitués de bourrelets en terre, 57 020 FCFA/ha pour ceux réalisés en moellon. Ces montants ne prennent pas en compte l'investissement humain estimé à 100 HJ/ha rémunérés à raison de 900 F/HJ. Les coûts restent sous évalués car ne prenant pas en compte la dotation en petit matériel subventionnée par les projets et dont le coût de revient du lot (pelle, pioche, barre à mine, brouette) attribué pour 5 ha peut atteindre de nos jours 90 000 FCFA (avec la dévaluation du franc CFA).

Une étude récente (1992) effectuée par le Projet d'Aménagement des Terroirs du Nahouri dans le Sud du Pays a révélé que l'aménagement individuel en pierres (sans topographes, ni camion) pourrait se situer entre 11000 à 15000 F/ha contre 57 020 F.

b) Une participation réduite de la part des bénéficiaires

Jusqu'à nos jours, au Burkina, la majorité des programmes de CES/DRS bénéficient de subvention de l'aide extérieure (ONG, aide bilatérale) ou de l'Etat à travers les prêts. De l'acquisition de petit matériel au transport des moellons (dans le cas des sites anti-érosifs en pierres), toute charge qui nécessite des investissements financiers sont pris en charge par les projets ou les ONG. Seuls des cas isolés de contribution à la location du camion ont été observés au niveau du PDRI/Tapoa, et de quelques ONG tels que le projet Agro-Forestier de Ouahigouya où un système de remboursement en tines de céréales pour la mise en place d'une banque céréalière a été initiée.

Cette tendance négative, si elle peut être défendue par le fait que l'impact des aménagements de LAE n'est perceptible qu'à moyen et long terme, entre également en contradiction avec le principe de la prise en charge progressive du développement à tous les niveaux par les paysans.

Le seul investissement humain de la part des bénéficiaires, n'est plus suffisant à notre avis pour déterminer l'engagement de ceux-ci sur la voie d'une véritable appropriation des investissements.

iii) Les insuffisances d'une formation trop technicienne

Le lancement des travaux d'aménagement anti-érosifs a été souvent accompagné de séances dites de sensibilisation d'une matinée par village destinée à expliquer aux paysans les avantages des dispositifs anti-érosifs. Ces séances de sensibilisation qui mobilisent tout le village s'apparentent plutôt à des séances de "prédication recommandation". En l'absence d'un choix judicieux du public cible sur la base des intérêts spécifiques liés à la pratique de la lutte anti-érosive. Il est évident que l'effet de ces foires animées (parfois, accompagnées de tam-tam et clôturées par quelques pas de danse dont nous avons été témoin en 1985-1987); ou très souvent certaines catégories sociales professionnelles n'ont pas droit à la parole dans les faits (il s'agit des femmes et des enfants) ne peuvent atteindre leurs objectifs.

Il en est de même pour la formation, jusqu'alors dispensée à des demandeurs proposés par les agents "d'encadrement" pour lesquels des besoins spécifiques de formation en liaison avec des objectifs précis de réalisations n'ont souvent pas été définis au préalable.

Toutes ces contraintes socio-économiques en se greffant à celles découlant des inadéquations techniques (inadaptation des bourrelets en terres, ou des cordons pierreux à certains types de sols,), justifient la situation de disparition précoce des sites en terres, la diffusion très lente des cordons pierreux dans certains cas et l'exploitation peu rationnelle de certaines superficies, même aménagées.

II. / QUELQUES EXPERIENCES DES PROJETS D'AMENAGEMENTS DU "TYPE NOUVEAU" ET LE CAS DES AMENAGEMENTS DANS LE CADRE DES ACTIONS DE DEVELOPPEMENT INTEGRE VILLAGEOIS DANS LE CENTRE-EST

2.1 Place des aménagements dans les projets de gestion des terroirs au Burkina faso

Depuis 1990, la politique de développement rural au Burkina faso est sous-tendu par l'approche "Gestion des Terroirs". La mise en place d'une structure d'orientation et de capitalisation des expériences à travers le Programme National de Gestion des Terroirs (PNGT) en 1990 traduit cette volonté d'une harmonisation de la démarche au niveau national.

La gestion des Terroirs fondant les actions sur toutes les dimensions (sociales, techniques, économiques) des réalités villageoises a permis dans ces tentatives d'application d'éviter certaines lacunes constatées dans l'exécution des programmes précédents.

Dans tous les cas, il est ressorti que pour la plupart des projets les actions de LAE (1) sont souvent celles qui sont les premières exécutées pour les raisons suivantes :

- Les besoins en aménagements sont immédiats et leur faisabilité ne requiert pas de longues études
- l'étude de dégradation de la ressource terre, conduit les paysans effectivement à prioriser ces types d'activités
- l'existence au Burkina Faso d'une "tradition de lutte anti-érosive" déjà vieille de plus de trente (30) ans.

2.2 Les outils utilisés par les projets pour une meilleure analyse des micro-projets villageois de lutte anti-érosive

- La constitution des équipes mobiles pluridisciplinaires et leur formation au diagnostic conjoint.

Dans la plupart des projets, des équipes pluridisciplinaires ont été constituées (généralement constituées d'un Agronome, un Zootechnicien, un Géographe, un Sociologue). Cette composition est variable et peut inclure d'autres profils en fonction des problèmes spécifiques, de la zone. Le rôle de l'équipe est de mener les études/enquêtes, diagnostic auprès des populations cibles (ceux qui ont leur besoin à travers une enquête villageoise).

(1) - LAE = Lutte Anti-Erosive

- La mise en place de cadres formalisés de débats inter-paysans et techniciens

Les équipes forment également les populations demandeurs au montage de micro-projets villageois d'aménagement qui sont défendus à travers des forum villageois ou départementaux comme dans le cas du PDRI-HKM, ou des comités paritaires pour le cas du PDR Ganzourgou.

Les autres projets utilisent les cadres de concertations techniques provinciaux avec la participation des paysans pour l'analyse des demandes villageoises.

cette nouvelle formule permet déjà une implication dès la conception des bénéficiaires. Au cours de l'élaboration des micro-projets :

- l'éclaircissement de la question foncière avec les perspectives pour l'aménagement et le mode d'exploitation
- la détermination des apports physiques et parfois financiers des bénéficiaires (contribution à la location de camions)
- la forme de gestion des fonds et du matériel alloués à la réalisation de l'aménagement
- les normes techniques de réalisation des ouvrages.

En somme, un véritable cahier de charge est rédigé avec la participation des bénéficiaires.

- Une formation à la carte en fonction des besoins

La formation dont le contenu est déterminé à travers le diagnostic participatif, n'intéresse plus tout le village mais les exploitants qui veulent aménager leurs champs. (cas du système d'appui aux exploitations initié par le PDRI-HKM).

- La contribution financière de plus en plus exigée

Compte tenu des moyens des bénéficiaires, leur contribution financière peut être sollicitée à des proportions variables. Cette contribution peut être par l'octroi de matériels à crédit remboursable par le producteur ou pour la prise en charge partielle de certains équipements de transport (location de charrettes ou de camion).

La contribution des vivres PAM est de plus en plus rejetée dans le cadre de projet d'aménagement du fait de la mauvaise interprétation de leur rôle par les bénéficiaires. Dans le cadre du PDRI-Centre-Est, on constate que les réalisations ne sont plus liées à la distribution des vivres PAM depuis 1991, surtout lorsqu'il s'agit d'initiatives individuelles (de plus en plus fréquents).

1°) Les formes d'organisation pour réaliser les aménagements dans le contexte GT ou ADIV

La gestion des terroirs en se référant à priori à l'échelle villageois ou intervillageois, écarte du groupement villageois comme cadre privilégié d'action. Au Boulgou, le projet s'adresse à l'entité villageoise et aux paysans intéressés par l'activité. Les aménagements collectifs restent une forme d'organisation du travail, pour les champs de case. Pour les champs de brousse dispersés, la tendance est à la priorisation des aménagements individuels. Dans ce contexte la formation s'affiche comme fondamentale pour le producteur. ceci lui confère l'appropriation de la technique dont il peut se servir indifféremment des autres.

Dans le cadre du Volet/CES/DRS, la formation des paysans uniquement suffi à la réalisation de dispositif anti-érosif sans même que le projet ne fournisse du matériel de transport et de terrassement. Le tableau suivant présente les données y relatifs.

Tableau 4 : Réalisations en formation et Aménagements

| Période | Nombre de Paysans formés | Nbre de Villages | Superficie s protégées | Structures d'appui* |
|-------------|--------------------------|------------------|------------------------|---------------------|
| 1990-92 | 130 | 5 | 75 | PRDI-CE/CRPA/OXFAM |
| 1992-93 | 125 | 13 | 570 | ONG/CRPA |
| Total 90-93 | 225 | 18 | 645 | - |

Dans le cadre du programme PDRI-CE CRPA, seulement 20 niveaux à eau qui ont coûté 60.000 F.CFA ont été apportés comme contribution du projet et une formation de paysans en 6 jours pour un coût d'environ 130 000 F.CFA a suffit pour la réalisation de 75 ha d'aménagements individuels dans les champs de cultures.

Le choix des villages a cependant été judicieux car il s'agit des villages pour lesquels les études monographiques réalisées en 1988 - 1989 ont permis d'identifier des problèmes d'insuffisance des terres. En ce qui concerne l'action du CRPA, elle a été accompagnée d'un prêt de matériel (niveaux et brouettes) pour la réalisation des travaux.

2°) Les moyens mis en oeuvre

Les moyens utilisés dans le cadre de la mise en oeuvre de ces projets sont surtout stratégiques (formation/information) et financiers.

En ce qui concerne les moyens stratégiques, ils apparaissent comme de plus déterminants ; le rôle des projets étant de fournir le "bagage technique" aux utilisateurs. En s'adressant aux volontaires désireux de réaliser les aménagements, il s'agit de formation par objectif.

Quant aux moyens financiers, ils sont peut-être importants en ce qui concerne le volet formation surtout lorsque celui-ci inclut des voyages d'études. Il faut signaler que dans le cas du Centre-Est, ce fut grâce à une visite de 15 producteurs dans le Nord du pays en Avril 1990 que le déclenchement d'actions de lutte anti-érosive s'est opéré sur l'initiative des paysans eux mêmes. Il importe donc de souligner que la formation par les visites et la démonstration a des effets très marquants. Les outils utilisés sont également ceux à la portée des producteurs (outils simples de détermination des courbes de niveau, moyens de transport privilégiant les charrettes). Ces alternatives réduisent considérablement les coûts et ouvrent sur la replicabilité et la pérennisation.

2.3 Quelques résultats des projets

1°) Quelques éléments d'appréciation au plan national

Le tableau ci-après donne quelques résultats de quelques projets GT au Burkina Faso.

| Projets | Bailleurs de fonds | Superficies aménagées | -- | Equipe Mobile |
|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------|
| PDRI Tapoa 1988-1994 | CFD | 780 ha | Cordons pierreux | 2 |
| PDRI HKM 1991-1996 | CFD | 150 | " | 6 |
| PDRI Ganzourgou 1989-1995 | CFD | 680 | " | 3 |
| PDRI-CE 1991-1996 | Coop.ITA. | 175 | " | - |
| PATECORE 1988-1996 | GTZ/RFA | 4280 | Traitement | - |
| Projet vivrier nord yatenga 1988-1994 | CFD | 1200 | Cordons pierreux | - |
| ATN/Nahouri 1989-1994 | ACDI/Canada | 780 | Cordon et Bourrelet | - |
| FEER 1 | Norvège-Danemark-Espagne-Pays-Bas | 6700 | Bourelets cordons pierreux | - |
| PS-CES/AGF | FIDA | 21000 | -- | - |

Certains projets n'ont pas systématisé la mise en place d'équipes mobiles pluridisciplinaires. toutefois il existe au niveau de ces projets des pools de techniciens jouant le rôle de conseillers et de catalyseurs aussi pour les actions liées au diagnostic qu'à celles visant l'établissement de relations synergiques avec les services techniques.

On notera surtout que sur le plan quantitatif, la tendance est à la "modestie" ; cela est surtout dû au fait que les aspects qualitatifs liés à la formation et à la gestion des aménagements individuels ont peut-être pris le pas sur les aménagements collectifs dont l'entretien s'est révélé difficile. L'on s'attache désormais plus à transférer aux paysans les outils leur permettant de concevoir et de mener une action de lutte anti-érosive : "la meilleure façon de procurer du poisson à l'enfant est de lui apprendre à pêcher" dit un vieil agade.

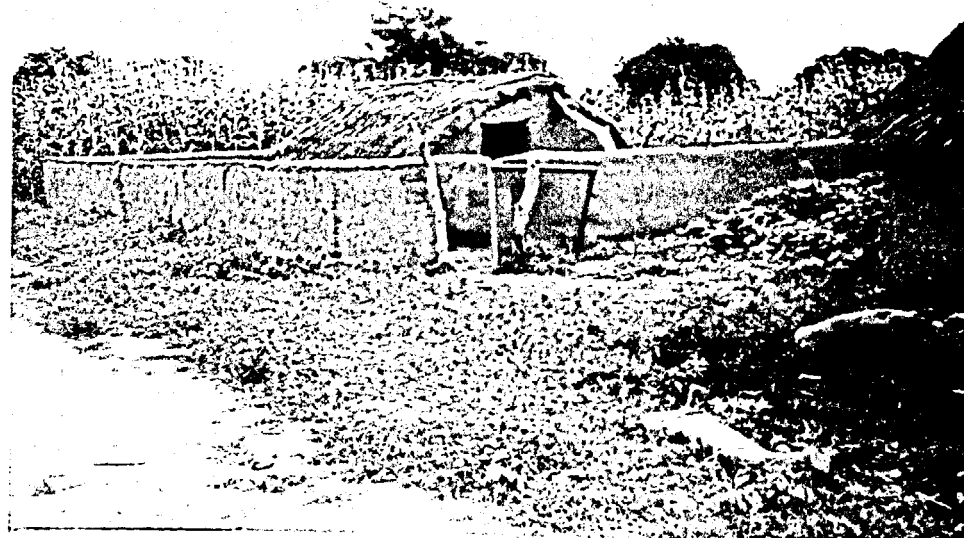
2°) Le programme ADIV dans le Centre-Est

* CES/DRS

Dans le cadre du programme ADIV, deux micro-bassins vers ont été partiellement aménagés dans le Centre-Est est une superficie totale d'environ 75 ha seulement 30 ha ont été couverts. Des reboisements et une réfection d'une retenue d'eau ont été également réalisés. Au cours de l'opération, il s'est avéré que l'une des priorités était l'élevage des petits ruminants. Ainsi, certains travaux d'aménagements collectifs de CES/DRS ont été suspendus pour répondre à priori à ces besoins plus urgents. Les activités ont été poursuivies seulement dans le cadre de la formation à la détermination des courbes de niveau, pour permettre la réalisation d'aménagement individuels dans les parcelles de cultures.



CES / DRS (en haut) et Amélioration de l'élevage (en bas)



*** Activités d'appui à l'élevage à cycle court et actions de CES/DRS**

Dans quelques localités du centre-Est, le projet mène simultanément des actions d'appui à l'élevage à cycle court (à travers la mise en place de bergeries construites avec des matériaux locaux) et des actions de LAE.

On a pu remarquer que les paysans engagés dans la mise en place des bergeries sont également ceux des plus engagés dans les actions du LAE. En effet, en réalisant l'opération "une bergerie par fosse fumièrre, 1/ha aménagé, les paysans ont aperçu les avantages de la Gestion du fumier à travers la stabulation à mi-temps des ovins/caprins et la valorisation des SAE.

La bergerie dont la capacité atteint facilement 50 têtes permet de remplir 3 à 4 fosses d'environ 1,3 m chacune soit environ 5,3 m³/an. Ceci permet de fumer régulièrement au moins 1ha à 2 ha de champs par an, à la dose vulgarisée (2,5 T).

Ainsi dans certains villages d'intervention du projet, autour de Garango, dans le centre de la province du Boulgou, malgré les limites financières du projet, la mise en place des cordons pierreux et des bergeries dites autoconstruites, se réalise parfois à l'insu du projet, preuve d'une appropriation de ces propositions par les paysans.

Au total, on compte environ 42 bergeries et 300 fosses fumières dans environ 15 villages du Boulgou dont 12 villages conduisent des programmes de CES avec les moyens propres depuis 1992. Une opération "concours stocks de foin" est organisée chaque année depuis 2 ans, pour créer les conditions propices à la stabulation des animaux. Démarré avec 37 producteurs en 1991, 430 y participèrent en 1993.

3°) Observations générales

Malgré les résultats assez satisfaisants sur le plan qualitatif (approche méthodologique) un certain nombre de difficultés demeurent et font appel à la poursuite de la réflexion.

- le diagnostic semble très théorique et insuffisant car il ne permet pas toujours d'établir clairement la question foncière

- les limites des moyens financiers du producteur constituent encore une entrave réelle à la progression des aménagements CES/DRS

Au niveau organisationnel si les aménagements individuels sont peut-être plus responsabilisant, l'aménagement et la gestion de l'espace rural doivent cependant recourir à une certaine concertation et des actions conjuguées.

La "démarche terroir" s'affirme parfois plus idéaliste que concrète, d'où des retards ou des tâtonnements observés dans la mise en oeuvre des actions concrètes notamment en CES/DRS.

Le système d'élevage extensif reste une contrainte dont la résolution tarde à venir et compromet les efforts en vue de la restauration des sols notamment en ce qui concerne les actions d'Agroforesterie et de gestion de la fumure organique.

Enfin sur le plan économique, les aspects liés à la de subvention et la contribution des populations nécessitent encore un important travail d'animation et de formation.

QUELQUES RECOMMANDATIONS ET SUGGESTIONS

Les conclusions préliminaires qui viennent d'être dégagées plus haut révèlent que la question de la lutte anti-érosive ne peut se résoudre en dehors de certains paramètres ; liés à la gestion de la ressource terre : ces paramètres sont d'ordre anthropique (explosion démographique, insécurité foncière et éclatement du parcellaire) économique, (moyens financiers des paysans) et aussi organisationnel et technique (stratégie d'intervention).

Une appréciation juste de l'importance de ces éléments clés dépend certainement de l'analyse des questions ci-après :

- Qui réalise les aménagements ?
- Comment les réalise-t-on et à quelles fins ?
- Que retient-on des expériences écoulées ?
- Quelles perspectives pour une plus grande efficacité en matière de lutte antiérosive?

Des tentatives de réponses ont été présentées dans les pages précédentes pour les trois premières questions, quant à la dernière question, elle nous conduit à la formulation des quelques recommandations ci-après.

- Le problème de la sécurité foncière semble très déterminant pour le succès des actions de lutte anti-érosive. Cependant sa résolution n'est pas l'affaire des seuls techniciens de terrain. Elle requiert l'implication des pouvoirs centraux et même politiques. De ce fait, une sensibilisation/information à l'égard de ces décideurs soit également être une priorité dans les programmes de LAE.

- L'explosion démographique vient aggraver la question d'insécurité foncière qui rend très limitatives les actions d'investissement dans l'aménagement des terres agricoles par les exploitants. Nous recommandons que les programmes de LAE inculquent un volet sensibilisation sur une "politique de contenance des naissances" en milieu rural et qu'en plus des stratégies d'intensification agricole soient développées par les services compétents en la matière.

- Sur le plan organisationnel et économique, il faudrait encourager la tendance à axer les efforts sur les aménagements individuels concertés au niveau terroir avec une contribution financière (octroi d'équipement à crédit ou au comptant) de la part des paysans de sorte à les intéresser et à les engager davantage à l'entretien et à la valorisation des ouvrages de lutte anti-érosive.

Enfin, une politique d'intégration véritable entre l'agriculture et l'élevage doit permettre une plus grande efficacité des dispositifs anti-érosifs. A ce niveau, les "nouveaux venus" dans la pratique de l'agriculture, que sont les éleveurs sédentaires (de plus en plus nombreux) doivent être des cibles privilégiés des actions de CES/DRS, dès que la sécurité foncière est quelque peu garantie.

EVOLUTION DES STRUCTURES AGRAIRES ET EROSION DANS LE SUD-SALOUM (SENEGAL)

par PEREZ Pascal* et SENE Modou**
*CIRAD-CA, BP 5035, 34032 Montpellier, France.
**ISRA, BP199, Kaolack, Senegal.

RESUME

. En Afrique soudano-sahélienne, la dégradation du milieu naturel prend des proportions alarmantes depuis la fin des années soixante. Si la désertification et les famines restent le triste apanage des régions sahéliennes, certaines zones plus méridionales connaissent une situation guère plus enviable. La conjonction de facteurs climatiques et pédologiques entraîne d'importants processus érosifs qui menacent de vastes superficies agricoles. De toutes les crises climatiques survenues dans la région, la période actuelle est la plus grave car elle frappe des écosystèmes fortement anthropisés

. La stabilisation de ces terroirs villageois et le maintien d'une productivité durable nécessitent une démarche participative qui implique réellement les populations locales et s'inscrive dans la durée. Souvent, le rejet de l'innovation par les populations locales découle du faible impact de l'aménagement sur le milieu ou de l'apparition d'effets pervers. En fait, il faut resituer la lutte contre le ruissellement et l'érosion dans son contexte agricole et tendre vers une véritable gestion agricole de l'eau sur les versants.

. La région appartient à la partie méridionale du bassin sédimentaire sénégal-mauritanien. Les fluctuations climatiques du quaternaire ancien ont déterminé les principales phases de la morphogenèse. Les toposéquences existantes traduisent cet héritage paléoclimatique complexe et l'occupation actuelle des sols. La plupart des sols présentés possèdent un horizon superficiel appauvri en argile et constitué de sables hétérométriques où dominent les sables fins. Ces caractéristiques entraînent un faible pouvoir d'agrégation, une tendance à la prise en masse à l'état sec et une forte aptitude à l'érosion. Par ailleurs, l'étagement des unités morphopédologiques facilite la circulation superficielle latérale des eaux de pluie.

. Les conditions climatiques qui prévalent actuellement dans le sud Saloum sont celles qui caractérisent le centre nord du bassin arachidier vingt ans plus tôt. Les conséquences sont d'autant plus graves que la végétation naturelle ne peut s'adapter aussi vite à de tels changements et qu'elle doit supporter une dégradation sans cesse croissante due à la surexploitation et à la pression foncière. En effet, face à la disparition de la réserve foncière, les agriculteurs mettent en culture des zones de plus en plus marginales. L'évolution de l'occupation des sols entraîne une diminution et une forte dégradation des formations végétales naturelles. La mise en culture se traduit par l'installation de couvertures végétales peu protectrices vis à vis du ruissellement.

. D'une situation métastable qui prévalait il y a cinquante ans, le milieu naturel du sud Saloum a évolué vers une situation dont l'instabilité ne cesse de croître. . Nous sommes en présence d'une agriculture minière en terme de superficies exploitées et de fertilité consommée. La dégradation de l'écosystème s'exprime à travers une érosion hydrique résultant d'un ruissellement généralisé. Ce phénomène entretient la chute du statut organique du sol et interdit toute amélioration de la productivité végétale, compte tenu de l'abandon conjoncturel de la fertilisation minérale et l'exportation croissante des résidus de récolte.

INTRODUCTION

. En Afrique soudano-sahélienne, la dégradation du milieu naturel prend des proportions alarmantes depuis la fin des années soixante. Si la désertification et les famines restent le triste apanage des régions sahéliennes, certaines zones plus méridionales connaissent une situation guère plus enviable. La conjonction de facteurs climatiques et pédologiques entraîne d'importants processus érosifs qui menacent de vastes superficies agricoles. De toutes les crises climatiques survenues dans la région, la période actuelle est la plus grave car elle frappe des écosystèmes fortement anthropisés (Rognon, 1991).

. Les résultats issus des parcelles d'érosion disséminées en Afrique de l'Ouest démontrent que l'agressivité climatique est le principal facteur érosif et qu'il existe une forte variabilité de l'érodabilité des sols tropicaux (Roose, 1977). En zone sahélienne, cette variabilité est liée à l'influence prépondérante des états de surface et à leur agencement au sein des unités de paysage (Casenave et Valentin, 1989). Cependant, dans le cas des sols cultivés, les croûtes superficielles sont temporaires et les façons culturales modifient plus ou moins les caractéristiques des états de surface. Cette variabilité est renforcée par le rôle du couvert végétal (Lal, 1988). A l'échelle du terroir, l'activité humaine exerce une emprise sur les processus érosifs naturels (assollements, pistes, villages).

. La stabilisation de ces terroirs villageois et le maintien d'une productivité durable nécessitent une démarche participative qui implique réellement les populations locales et s'inscrive dans la durée. Souvent, le rejet de l'innovation par les populations locales découle du faible impact de l'aménagement sur le milieu ou de l'apparition d'effets pervers (Marchal, 1987). En fait, il faut resituer la lutte contre le ruissellement et l'érosion dans son contexte agricole et tendre vers une véritable gestion agricole de l'eau sur les versants (Reyniers et Forest, 1990).

. Le programme de recherche élaboré conjointement par l'ISRA, le CIRAD et l'ORSTOM, dans le bassin arachidier du Sénégal, s'inscrit dans cette logique. Il est fondé sur le constat d'échec relatif de l'intensification dans la région du sud Saloum. Une enquête exploratoire a montré que la dégradation du milieu naturel est un corollaire à cette intensification et qu'elle conditionne la stagnation de la production agricole (Benoît-Cattin, 1986). Nous décrivons les différents facteurs qui concourent à cette dégradation.

PRESENTATION DU MILIEU

. La zone d'étude, qui s'étend sur environ 2000 km², est située dans le sud du Sine Saloum. Elle est limitée à l'ouest et au nord par le Bao Bolon, affluent du fleuve Gambie, à l'est par le réseau hydrographique du Nianiji Bolon et au sud par la frontière avec la Gambie. Le Bao Bolon constitue un axe de drainage fonctionnel en partie envahi par les eaux marines. Le modelé général de la région est un ensemble de vastes plateaux tabulaires de 30 à 60 mètres d'altitude, entaillé par un réseau de larges vallées à faible pente (Figure 1).

. La région appartient à la partie méridionale du bassin sédimentaire sénégal-mauritanien. Le substratum géologique homogène est constitué par les formations sédimentaires du Continental Terminal mis en place au pliocène. Les fluctuations climatiques du quaternaire ancien ont déterminé les principales phases de la morphogenèse. Lors des périodes subarides, les lits des cours d'eau se sont creusés et de vastes glacis se sont mis en place. Leurs matériaux ont été altérés pendant les périodes plus humides (Michel, 1973). Au quaternaire récent, de grandes variations du niveau marin ont entraîné l'incision du modelé d'aplanissement par un réseau hydrographique peu dense et peu hiérarchisé.

Les toposéquences existantes traduisent cet héritage paléoclimatique complexe; les unités morphopédologiques en place influencent à la fois la circulation des eaux superficielles et l'occupation actuelle des sols (Bertrand, 1992).

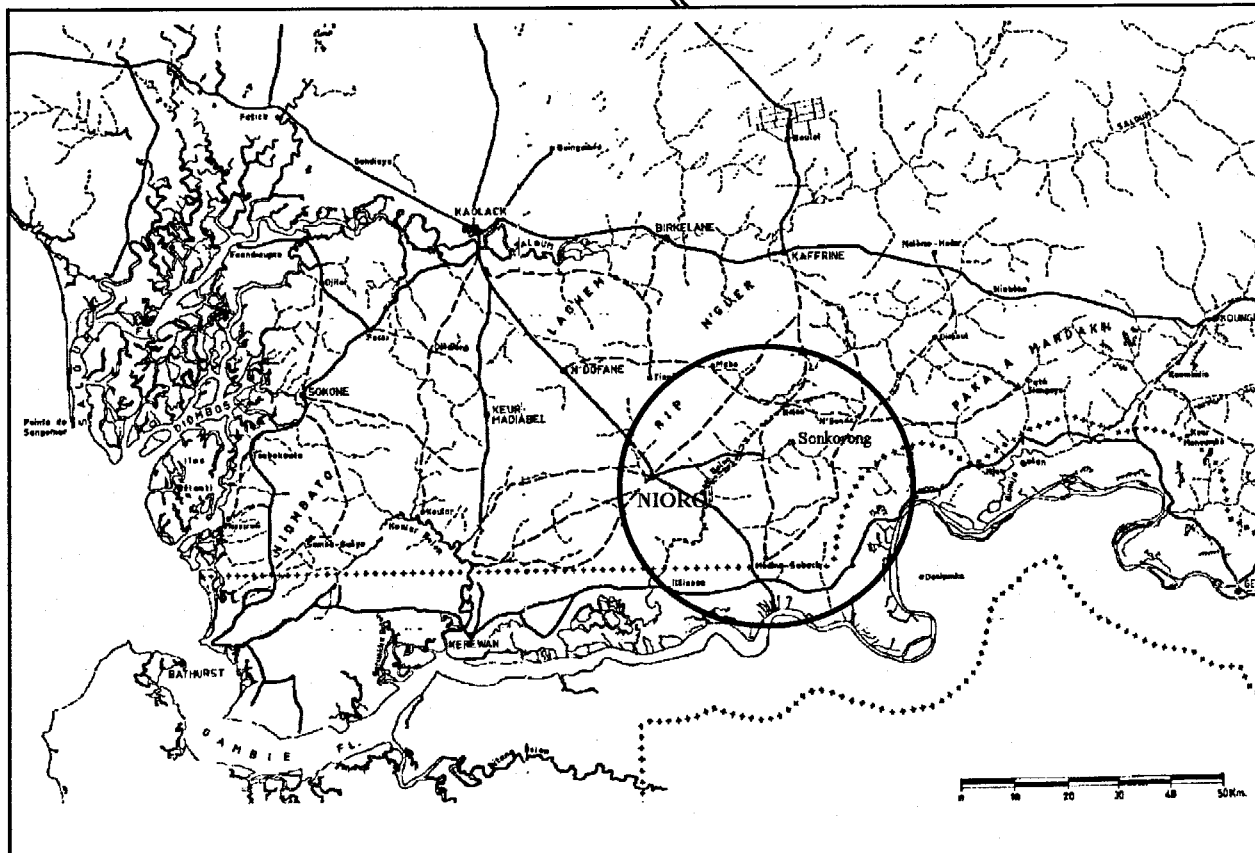
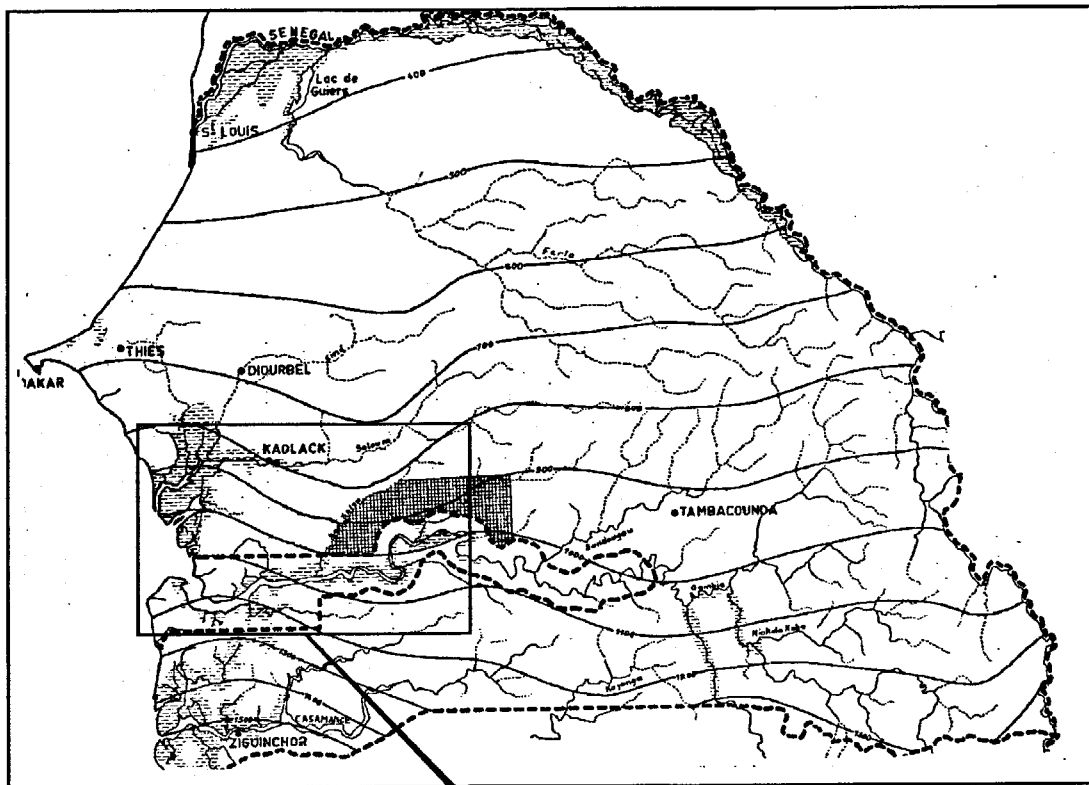


Figure 1 : cartes de situation du sud Saloum. (Source : Bertrand, 1972).

ELEMENTS DE MORPHOPEDOLOGIE

Les plateaux :

. Les plateaux culminent vers 40 mètres d'altitude. Ils ont 15 à 20 kilomètres de large. Ils se composent d'une zone interne presque dépourvue de cuirasse. La bordure, indurée à faible profondeur, est limitée par un talus discontinu. Ce talus, recouvert d'éboulis de blocs de cuirasse, passe latéralement à un glacis versant en pente nette vers la vallée. **Les zones centrales des plateaux** présentent des sols ferrugineux tropicaux lessivés, plus ou moins hydromorphes, à faciès tronqué, appelés aussi sols beiges. Ces terres sont soumises à des défrichements massifs sous la pression démographique et foncière. La prise en masse est un problème majeur pour la mise en culture mais la bonne capacité de rétention d'eau est favorable à la culture du sorgho et du coton (Bertrand, 1992). Localement les grès argileux du Continental Terminal affleurent sur le talus en dessous de la cuirasse. Les sols y sont peu évolués et possèdent une forte charge en éléments grossiers dès la surface. Cette zone, impropre à la culture, est couverte d'une brousse arbustive plus ou moins dégradée.

Les versants :

. Les versants se composent d'un glacis amont et d'un glacis-terrasse très étendu, que nous appellerons plus simplement terrasse. Le glacis, gravillonnaire, s'est développé au pied du talus par suite du démantèlement partiel de la cuirasse; sa pente atteint 1%. A une vingtaine de mètres d'altitude, se raccorde la terrasse (pente de 0,5%), issue du remblaiement colluvio-alluvial des vallées (Brouwers, 1987).

. **Le glacis** est caractérisé par la présence de sols peu évolués, d'apport colluvial, sur gravillons et cuirasse ferrique. Les matériaux sont rouges à brun-rouges, sableux en surface. La profondeur utile de sol limite leur fertilité potentielle, mais dans certains cas - zones à topographie concave -, l'épaisseur de terre arable devient plus importante. La profondeur d'apparition de l'horizon gravillonnaire, puis induré, peut varier de 30 à 60 centimètres. Ces sols, de défriche récente, se dégradent très rapidement dès la mise en culture. **La terrasse** présente des sols ferrugineux tropicaux, lessivés, remaniés, sur colluvio-alluvions. L'horizon sableux superficiel de couleur brun rougeâtre à structure massive, est pauvre en matière organique (0,5%). Ces sols ont une capacité de stockage de l'eau assez faible mais compensée par une profondeur exploitable par les racines très importante. Depuis quelques années, l'absence chronique de fumure, le désouchage intensif et la mise en culture continue provoquent une baisse rapide de la fertilité (Sene et Perez, 1994).

Les bas-fonds :

. Les bas-fonds sont constitués par un bourrelet de berge et le bas-fond proprement dit. **La berge** qui relie le bas-fond à la terrasse a une pente qui varie de 3 à 4%. Les sols de berge ont une texture uniformément sableuse : ce sont des sols peu évolués, d'apport alluvial, sur alluvions récentes. Leur fertilité potentielle est limitée par une faible capacité de stockage de l'eau. Leur situation topographique est favorable à l'érosion régressive. Cependant, la mise en culture est généralisée sur ces sols profonds, faciles à travailler et qui offrent de bonnes possibilités d'enracinement pour les cultures. Dans le **bas-fond** proprement dit, les sols d'apport alluvial, hydromorphes, sur alluvions récentes alternent localement avec des plages d'atterrissements sableux polyphasés. Malgré des superficies restreintes, ces sols sont les plus fertiles de la région et sont utilisés pour la culture des céréales (sorgho, riz) et le maraîchage de contre-saison. Les principales contraintes agricoles reposent sur les crues violentes qui balayent les bas-fonds et les apports colluvio-alluviaux générés par l'érosion intense des versants (Albergel et Perez, 1993).

. **En conclusion, la plupart des sols présentés possèdent un horizon superficiel appauvri en argile et constitué de sables hétérométriques où dominent les sables fins. Ces caractéristiques entraînent un faible pouvoir d'agrégation, une tendance à la prise en masse à l'état sec et une forte aptitude à l'érosion. Par ailleurs, l'étagement des unités morphopédologiques facilite la circulation superficielle latérale des eaux de pluie (Figure 2).**

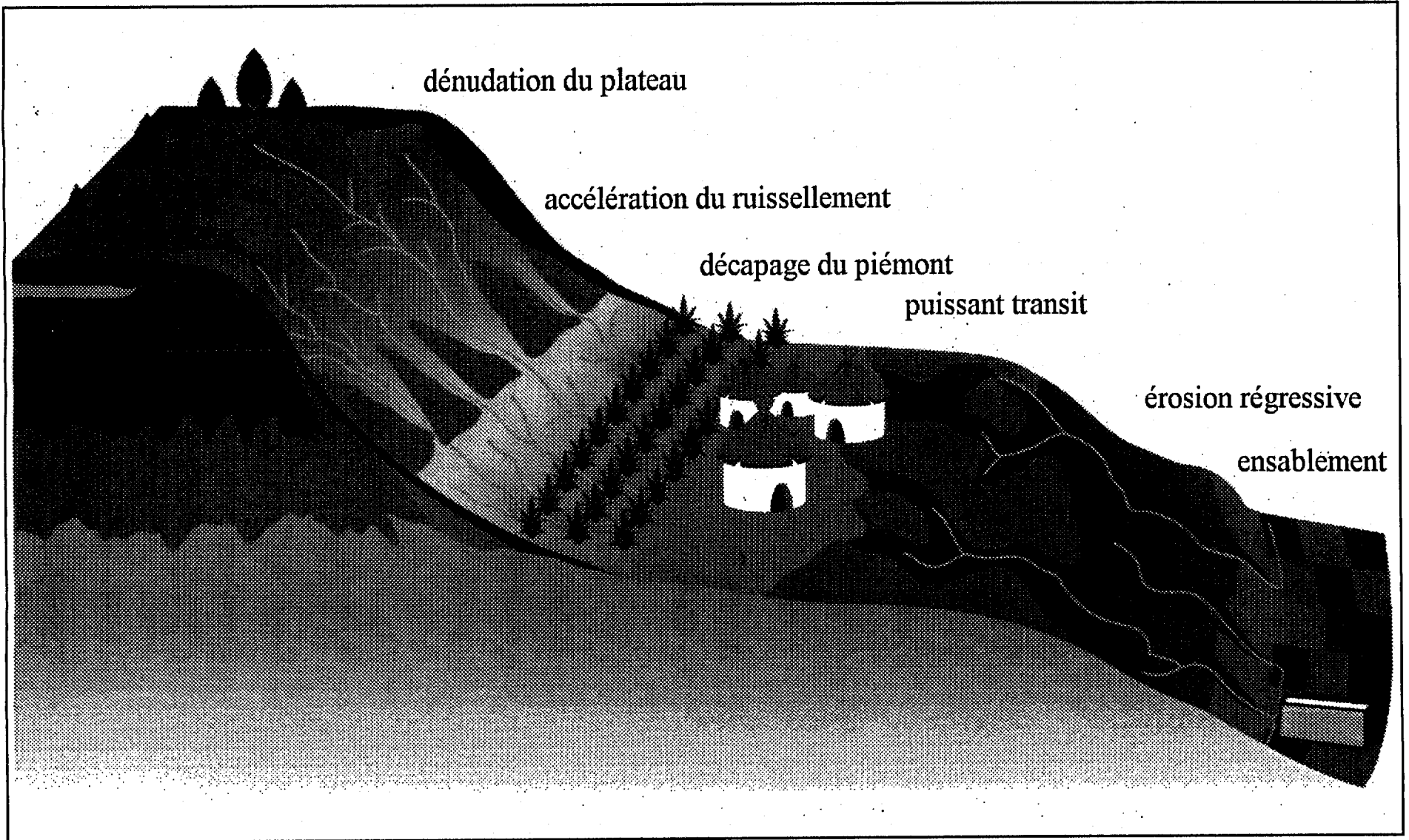


Figure 2 : Processus hydrodynamiques superficiels le long de la toposéquence (sud Saloum, Senegal). (d'après Angé, 1991).

ASPECTS DU CLIMAT

. Le sud Saloum est sous la dépendance d'un climat soudano-sahélien caractérisé par l'alternance d'une longue saison sèche (7 à 9 mois) et d'une saison pluvieuse courte (3 à 5 mois). Les transitions sont assurées par les mouvements latitudinaux du Front Inter Tropical (FIT) gouvernés par les fluctuations des masses d'air tropicales. La saison des pluies s'installe aux mois de juin ou juillet pour s'achever en octobre.

. L'étude des pluies annuelles du poste de Niore du Rip de 1932 à 1992 montre une nette rupture du régime pluviométrique à la fin des années soixante. Le phénomène est décrit à la même période, en d'autres points de la zone sahélienne (Dancette, 1984 ; Albergel et al., 1984). Durant les 2 dernières décades (70-90) la valeur de la décennale sèche est atteinte sept fois, la moyenne pluviométrique est de 664 mm contre 863 mm pour la première période. La période de sécheresse actuelle s'accompagne d'une forte hétérogénéité intra-annuelle, la saison des pluies débutant plus tard et de manière irrégulière.

. L'analyse statistique des pluies journalières (1932-1992) permet d'obtenir des hauteurs de pluies de différentes périodes de retour (Tableau 1). Elles peuvent être considérées comme des événements exceptionnels qui jouent un rôle majeur dans les processus érosifs. Les analyses séparées des séries (32- 68) et (69-92) permet de constater que les hauteurs calculées restent les mêmes pour une fréquence de retour donnée, quelque soit la période considérée. **Ces résultats permettent de conclure que la période de sécheresse actuelle s'accompagne d'un maintien de l'agressivité climatique, les fortes pluies étant des événements erratiques indépendants du régime pluviométrique.** Albergel (1987), au Burkina Faso, ainsi que Yu et Nail (1993), en Australie, aboutissent aux mêmes conclusions.

. **En conclusion, il semble que les conditions climatiques qui prévalent actuellement dans le sud Saloum sont celles qui caractérisent le centre nord du bassin arachidier vingt ans plus tôt (Forest, 1983). Les conséquences sont d'autant plus graves que la végétation naturelle ne peut s'adapter aussi vite à de tels changements et qu'elle doit supporter une dégradation sans cesse croissante due à la surexploitation et à la pression foncière.**

L'OCCUPATION DES SOLS

. Jusqu'en 1940, les formes climaciques de végétation naturelle dominent le paysage. Ensuite, le processus de dégradation des couverts naturels s'accélère progressivement avec le développement des cultures. A l'aspect quantitatif représenté par les importantes surfaces défrichées, s'ajoute une modification de la nature des formations végétales en place : les forêts claires sont transformées en savanes de dégradation anthropique où le recouvrement arboré est inférieur à 10 %. La diminution du nombre d'arbres est due, dans un premier temps, au charbonnage mais à partir de 1970 deux facteurs se conjuguent (Fontanel, 1986) :

- augmentation de la pression de pâturage et des prélèvements de bois à usage domestique liée à la baisse des superficies de parcours,

- réduction de la productivité des parcours, en mauvais état, liée à l'occurrence de la période de sécheresse.

. En 1970, les surfaces correspondant aux parcours, jachères, cultures représentent respectivement 62 %, 10 %, 28 % de la superficie totale ; en 1983, on obtient 34 % de forêts, 2 % de jachères et 64 % de cultures (Valet, 1985). Les surfaces cultivées ont plus que doublé en 13 ans, les jachères ont pratiquement disparu, la moitié des zones de parcours ont été supprimées. En 1970, la réserve foncière agricole représente 32 % de l'ensemble des superficies. En 1983, la réserve foncière agricole ne couvre plus que 10 % de la superficie. Des études récentes mettent en évidence une utilisation totale de l'espace sur certains terroirs (Castanier, 1993).

| Période | Récurrence (an) | 2 | 5 | 10 | 50 | 100 |
|-----------|-----------------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1932-1992 | Hauteur (mm) | 84.2 | 103.3 | 117.9 | 152.1 | 167 |
| 1932-1968 | Hauteur (mm) | 85.3 | 103.4 | 117.2 | 149.3 | 163.2 |
| 1969-1992 | Hauteur (mm) | 81.9 | 102.8 | 119 | 157.5 | 174.4 |

Tableau 1: Hauteurs pluviométriques journalières de récurrences remarquables. Analyse fréquentielle 1932-1992. Station climatologique de Nioro du Rip.

| Calendrier | juin | | | juillet | | | août | | | sept | | | oct | | |
|------------|------|----|----|---------|----|----|------|----|----|------|----|---|-----|---|----|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| (a) mil | N | Se | | Sa | De | Sa | Sa | | | | Re | | | | |
| arachide | N | | Se | | Sa | Sa | Sa | | | | | | Re | | |
| pluies | | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| (b) mil | N | | Se | | Sa | De | Sa | | | | | | Re | | |
| arachide | N | | | | Se | | Sa | Sa | Sa | | | | | | Re |
| pluies | | | | | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |

Tableau 2 : Calendriers culturels observés lors d'un hivernage précoce (a) ou d'un hivernage tardif (b). N: nettoyage; Se: semis; Sa: sarclage; De: démarrage; Re: récolte.

. Face à la disparition de la réserve foncière, les agriculteurs mettent en culture des zones de plus en plus marginales (Senc et Perez, 1994). L'évolution de l'occupation des sols entraîne une diminution et une forte dégradation des formations végétales naturelles. La mise en culture se traduit par l'installation de couvertures végétales peu protectrices vis à vis du ruissellement (Roose, 1977).

STRUCTURES SOCIALES ET CONSEQUENCES AGRAIRES

. Lors du recensement de 1983, la communauté rurale de Kaymor présentait une densité de population de 61 hab./km². En dix ans la population a presque doublé. Elle est composée en majorité de Wolofs (90 %), de Toucouleurs (7 %) et de Peulhs (2 %), les ethnies sont séparées en hameaux (Faye et al., 1985). Le système agraire Wolof traditionnel découpe le finage villageois en trois secteurs concentriques autour du village. La première auréole (*Tol Keur*) est constituée de champs de case, fortement fumés par parage ou épandage, cultivés en céréales de manière continue (mil, maïs). La seconde (*Tol Diatti*) correspond aux champs de brousse, autrefois cultivés selon une rotation mil/arachide/jachère mais actuellement soumis à une culture continue mil/arachide, la fumure est peu importante. La troisième auréole (*Tol Gor*), plus diffuse, regroupe les parcelles de défriche dans le domaine pastoral périphérique ; la pression foncière tend à réunir cette auréole à la précédente. Ce système est caractérisé par un paysage ouvert et des transferts de fertilité centripètes (Pelissier, 1966). Cependant, ce schéma traditionnel d'occupation de l'espace agraire est fortement modifié depuis quelques années :

- L'accroissement démographique tend à augmenter le nombre de conflits lors des émancipations de ménages dans une concession. Cette situation entraîne un souci d'appropriation des terres par anticipation et accélère la mise en culture des zones pastorales périphériques (Fontanel, 1986).

- La juxtaposition du droit traditionnel et des lois sur le domaine national promulguées après l'indépendance a favorisé la disparition de la jachère et perturbé les transactions coutumières (Busacker, 1990).

- L'introduction de la culture attelée a profondément transformé le paysage par destruction du parc arboré et augmentation des vitesses d'intervention, donc des surfaces mises en culture (Garin, 1989).

. Actuellement, le système de culture repose sur une rotation mil/arachide continue (Tableau 2). Les apports d'engrais, depuis l'arrêt des subventions accordées par l'état, sont quasi inexistants, seuls quelques parcelles profitent des formulations proposées. Les activités agricoles commencent à la fin de la saison sèche (mai) avec le nettoyage des parcelles : les résidus de récolte et les adventices non consommées par les animaux en vaine pâture sont ratissés et brûlés sur la parcelle. Cette opération laisse la surface dénudée à l'arrivée des premières pluies, souvent agressives.

. Le mil est semé en priorité, sur les premières pluies utiles (juin), en traction équine ; les variétés utilisées sont de cycle court (90 jours, type SOUNA III). Lorsque l'hivernage est tardif, le mil peut être semé en sec. L'arachide est semée sur les pluies utiles suivantes, la variété utilisée possède un cycle végétatif intermédiaire de 110 jours (var 73-33). Un sarclage mécanisé de prélevée est effectué immédiatement derrière le semis, ou le lendemain, si l'équipement et la main d'oeuvre le permettent (Garin, 1989). Le mil et l'arachide sont sarclés, en moyenne, deux fois mécaniquement et une fois manuellement sur le rang. Les sarclages mécaniques, ou sarclo-binages, sont effectués à l'aide de bâtis "houe Sine" équipés de trois rasettes, permettant d'obtenir une surface travaillée de 50 cm de large sur 5 cm de profondeur. La récolte du mil (septembre) est manuelle, les tiges sont couchées, les épis coupés et mis en bottes. La récolte de l'arachide (octobre) s'effectue en traction bovine, de préférence, grâce à une lame souleveuse montée sur le bâti traditionnel ("houe Sine"). Cette opération laisse un horizon sableux particulière en surface, de 5 à 10 cm d'épaisseur, sensible à l'érosion éolienne et hydrique.

. Le calendrier précis d'intervention dépend du taux d'équipement de l'exploitation en semoirs, houes Sine ainsi que des disponibilités en animaux de trait et en main d'oeuvre. Tous ces facteurs sont sous la dépendance du chef de concession qui accorde les priorités de travail et règle les problèmes de prêt de matériel. La spéculation affectée à une parcelle, une année donnée, est fonction de la taille de l'exploitation, de l'état des stocks vivriers, de la stratégie agricole de la concession et des disponibilités en semences. De même la gestion de la fertilité est beaucoup plus diffuse que le modèle proposé (Ange, 1990).

CONCLUSION : UNE DEGRADATION GENERALISEE DE L'ECOSYSTEME

. D'une situation métastable qui prévalait il y a cinquante ans, le milieu naturel du sud Saloum a évolué vers une situation dont l'instabilité ne cesse de croître. Certains facteurs entretiennent les processus de dégradation généralisée, interdisant tout nouvel état de stabilité de l'écosystème si aucune action n'est entreprise.

. Le schéma général de dégradation de l'écosystème peut être résumé par la figure 3. Le facteur climatique est caractérisé par la sécheresse et l'agressivité des pluies. **La sécheresse fragilise et diminue la productivité des milieux naturels et cultivés. L'agressivité des pluies entraîne des ruissellements importants et une érosion intense à la faveur des zones de concentration.** Le facteur pédologique présente deux aspects déterminants interdépendants : **les faibles fertilités physique et chimique des horizons superficiels** de la plupart des sols. L'étalement du squelette sableux et le faible taux de matière organique entraînent la formation de croûtes superficielles plus ou moins indurées et une forte susceptibilité à l'érosion. La pauvreté du complexe argilo-humique nécessite une restitution rapide des prélèvements nutritionnels par la biocénose (Pieri, 1989).

. Toutefois ces deux facteurs ne peuvent expliquer à eux seuls la situation de crise actuelle. Ces vingt dernières années sont caractérisées par une évolution du système de production, mettant en évidence **une surexploitation du milieu.** L'accroissement démographique et la mécanisation de l'agriculture entraînent une extension des surfaces cultivées au détriment des zones de parcours et des jachères, provoquant un déséquilibre que la sécheresse est venue exacerber. Malgré une baisse sensible du cheptel bovin depuis 1974, la pression du pâturage avoisine 1 UBT/ha. Supportable pendant l'hivernage cette charge devient désastreuse en saison sèche (Guerin et al., 1986). Compte-tenu du mode de gestion de la fumure organique, cette **surcharge animale** ne se traduit pas par un potentiel de fertilité suffisant. Cependant, des études ont montré qu'une gestion optimale des disponibles d'origine animale ne peut espérer amener les surfaces fumées à plus de 6 % du terroir agricole (Ange, 1987).

. **Nous sommes en présence d'une agriculture minière en terme de superficies exploitées et de fertilité consommée. La dégradation de l'écosystème s'exprime à travers une érosion hydrique résultant d'un ruissellement généralisé. Ce phénomène entretient la chute du statut organique du sol et interdit toute amélioration de la productivité végétale, compte tenu de l'abandon conjoncturel de la fertilisation minérale et l'exportation croissante des résidus de récolte. La réhabilitation du paysage passe obligatoirement par une stabilisation des phénomènes érosifs et une diminution du ruissellement le long des versants, préalables à une exploitation agricole viable et durable. L'ensemble de ces résultats démontre la nécessité d'approfondir notre connaissance des facteurs et des mécanismes qui agissent, dans la zone d'étude, sur la naissance, l'entretien et la compétence du ruissellement.**

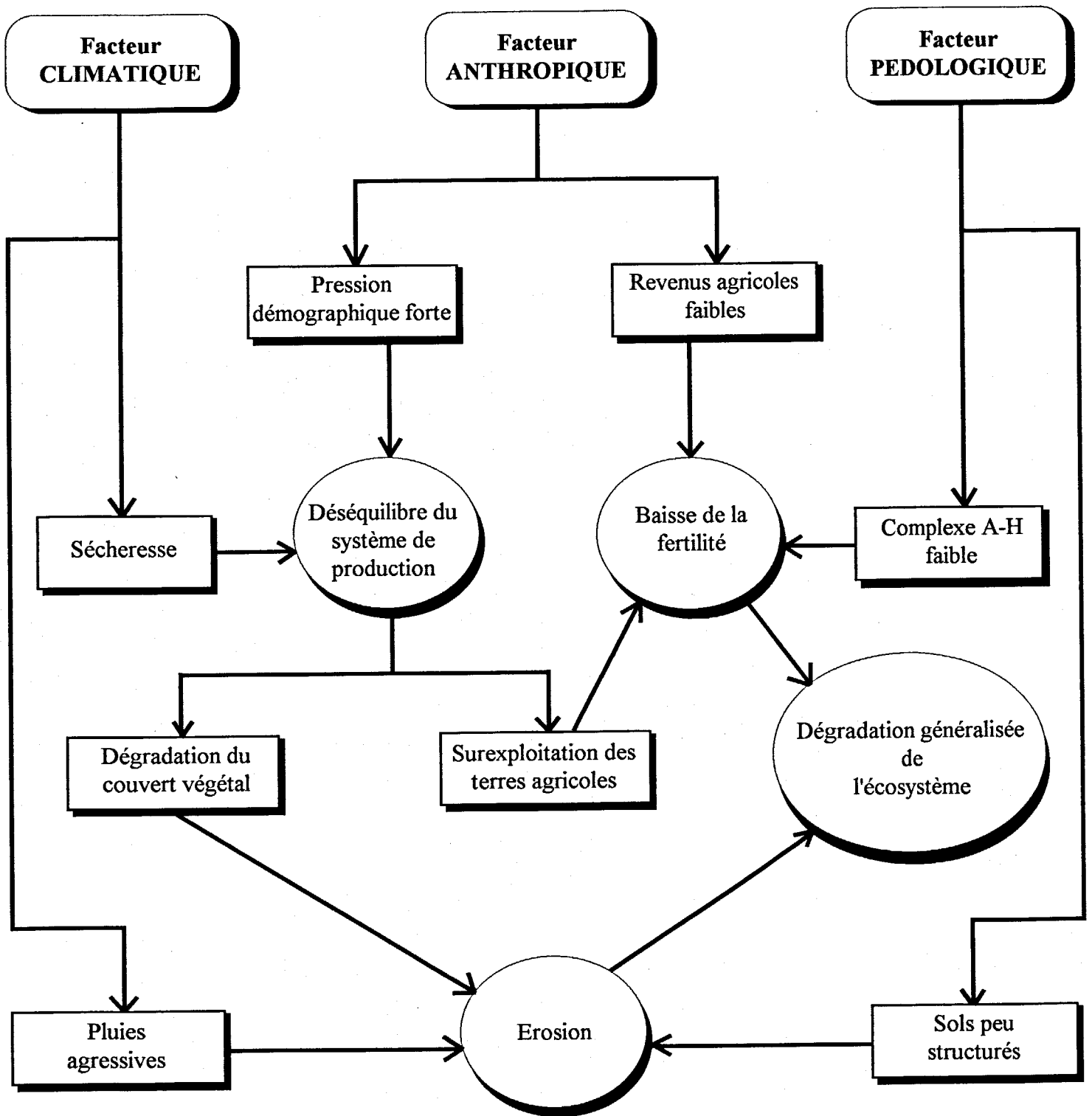


Figure 3 : Schéma général de dégradation de l'écosystème du sud Saloum. (Source: Sene et Perez, 1994).

DEMOGRAPHIE ET DEGRADATION DES SOLS DANS LE RIF

Abdellah LAOUINA

Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Rabat

Le Rif vit sur un système de production agro-sylvo-pastoral, lentement formé grâce à l'adaptation vis-à-vis des conditions du milieu montagnard; ce système complexe offre un double intérêt: celui de la complémentarité de terroirs variés et celui de la diversification des ressources et des produits. Ce système complexe est ancien; il date au moins du Moyen Âge, et a connu une suite d'adaptations spatio-temporelles, aux conditions locales d'une part et aux phases de l'histoire d'autre part.

Mais c'est un système qui semble avoir depuis longtemps supporté une charge démographique élevée. Les historiens décrivent une succession de phases de prospérité et d'épisodes de crise, de disettes et d'épidémies.

Depuis le début du siècle, de nouvelles données sont enregistrées, notamment une forte croissance démographique. La charge humaine du Rif est de plus en plus lourde puisque la population du seul Rif central, est passée de 77000 à 163000 h de 1950 à 1980. Le rythme d'accroissement semble d'ailleurs s'être accéléré.

Partout la part des actifs travaillant dans le secteur agricole dépasse 50% et peut même atteindre 77% dans la province de Taouate. Il faut cependant remarquer que, dans beaucoup de régions, l'Agriculture n'est plus la première ressource et que dans certains finages, des secteurs abandonnés révèlent une certaine situation de malaise. Aujourd'hui, l'émigration n'entraîne pas un abandon systématique des terres, des formes d'association permettant la poursuite de la mise en culture. Plusieurs évolutions sont constatées:

-le recul de la jachère, originellement biennale, de plus en plus réduite dans les rotations de cultures; de plus en plus, les terres sont travaillées chaque année;

-l'extension récente de défrichements;

-la pression sur les boisements est en augmentation continue; l'exploitation habituelle sur les limites des massifs forestiers, devenue plus réduite en liaison avec les efforts déployés par les Services forestiers, a été remplacée par une exploitation plus dérobée opérée au sein des massifs, dans les secteurs les plus éloignés et consiste dans un éclaircissement végétal interne qui peut toucher les forêts les plus précieuses comme la cédraie ou la sapinière.

Les observations relatives à l'évolution actuelle du milieu font état des transformations suivantes:

-Des fluctuations permanentes, dans l'extension et dans la physionomie du matorral rifain, par défrichement, abandon et recolonisation;

-Il ne semble pas y avoir d'apparition récente de grandes formes d'érosion concentrée ;

-On constate par contre des évolutions non négligeables affectant les secteurs ravinés, avec élargissement, allongement et approfondissement des ravins, accompagnés par le sapement des berges;

- Les évolutions les plus rapides affectent les fonds de vallées et prennent surtout la forme de sapements des berges alluviales.

L'examen des grandes formes d'érosion ne signifie nullement la faiblesse des processus dynamiques actuels; de gros risques résident dans la transformation des formes superficielles peu incisées en griffes puis en rigoles beaucoup plus profondément inscrites dans les versants ; l'exportation des matériaux connaît alors un effet multiplicatif très élevé ; c'est ce risque fondamental que les pratiques anti-érosives essaient d'éviter.

DEMOGRAPHIE, SYSTEME PRODUCTION ET DEGRADATION DES SOLS DANS LA REGION NORD DU MAROC

Abdellah LAOUNA
Université Mohammed V- Rabat

Dans la région nord marocaine, on peut différencier trois types de provinces: des provinces peu peuplées, avec moins de 50 h/km², c'est à dire Oujda (47), Taza (48); des provinces moyennement peuplées, Chaouen (83), Al Hoceïma (104) et Taounat (108); enfin des provinces fortement peuplées, Nador (130), Larache (143), Tétouan (144), Sidi Kacem (148), Fès (191) et Tanger (473). Sur le plan régional, le noyau Rif central compte, dès 1982, des densités supérieures à 73 h/km².

Globalement, le taux de ruraux tourne autour de 52%. On peut distinguer des provinces essentiellement rurales, et des provinces fortement urbanisées. Taounate, Taza, Al Hoceïma, Nador et Sidi Kacem sont essentiellement rurales (> de 56 %). Tanger, Fès, Oujda, Tétouan, Chaouen, et Larache sont par contre fortement urbanisées.

Taux de croissance de la population

Le Rif central a connu une continuelle croissance, avec un rythme variable:

- 1930-50: 1,6%
- 1950-60: 2,5%
- 1960-82: 2,3%

Cette croissance forte concerne des milieux fortement ruraux; or la croissance du Maroc rural, à la même époque ne dépasse pas 1,7%. Les communes où est pratiquée la culture du Kif ont même connu une croissance de 3%. Par contre les communes éloignées, non desservies par les moyens de transport, ont chuté. On observe par ailleurs, la baisse du poids démographique du NE; la zone la plus déprimée est représentée par les communes montagneuses de la région de Taza.

Le potentiel agricole

Dans la région Nord, 70% de la population vit en milieu rural; il y néanmoins de très nettes différences entre l'occupation du sol en milieu montagneux et dans les marges méridionales ou orientales. Ainsi, sur un territoire qui couvre 9% de la superficie du Maroc, la SAU représente environ 2 M ha, soit 31 % de la surface globale de la région; la forêt couvre 1,63 M ha, soit 25,6%, les parcours et terres incultes 2,75 M ha, soit 43%.

Sur le plan foncier, les inégalités sont moyennement importantes, puisque 70% des agriculteurs possèdent < de 30% des terres, avec < de 2ha chacun.

Sur le plan de l'occupation du sol et de la production, la région compte:

- 20% des cultures annuelles,
- 25% des bovins, soit 830000 têtes, notamment en plaine,
- 18% des ovins soit 2470000 têtes, avec un élevage naisseur en montagne et un système pastoral extensif dans les régions arides de l'Oriental,
- 21% des caprins soit 1125000 têtes, essentiellement concentrés en haute montagne rifaine.

La région participe par ailleurs avec 10 à 15% de la production horticole et fruitière, mais la productivité est négligeable, en raison des conditions physiques défavorables et du peu d'intérêt des agriculteurs pour l'arbre.

En matière de production forestière, la région dispose de 7% de la production nationale de bois d'oeuvre, soit environ 75000m³ de bois d'oeuvre et d'industrie, 28% de celle du liège, en plus de 100000 stères environ de bois d'énergie.

La disponibilité de terres dans le Maroc oriental est malheureusement contrecarrée par l'insuffisance en eau pour l'irrigation.

La faiblesse du potentiel agricole fait que l'agriculture demeure, en dehors des périmètres d'irrigation, extensive et peu rémunératrice.

Sur une superficie globale de 6,4M ha, l'utilisation du sol se présente comme suit:

- SAU: 2Mha, soit 31.5%
- Forêt: 1.64Mha, soit 25.6%
- Parcours et terres incultes: 2.75Mha, soit 42.9%

Les terres cultivées sont réparties ainsi:

- Céréales: 1.1Mha
- Jachère: 0.43Mha
- Plantations fruitières: 0.237Mha
- Légumineuses: 0.178 Mha
- Cultures industrielles: 85 000ha
- Maraîchage: 50 000ha
- Cultures fourragères: 30 000ha

SYSTEME DE PRODUCTION AGRO-PASTORAL ET D'UTILISATION DU SOL DANS LE DOMAINE MONTAGNEUX

Dans la région nord, plusieurs systèmes coexistent:

- un système montagnard caractérisé par l'adaptation à des conditions difficiles,
- un système pastoral des plaines et plateaux du Maroc oriental,
- des systèmes propres aux zones favorisées de bordure, le Tangérois, le Loukkos, les collines du Prérif, le Rharb, la plaine de Fès, le couloir de Taza et les plaines des Angad et de la Basse Moulouya.

Il n'y a donc pas homogénéité; par contre on a les racines d'une possible complémentarité au sein de la région du Nord; on a aussi des relations amont-aval qui peuvent être exploités sur le plan économique.

Seul le système montagnard rifain, réellement original, sera présenté ici; il concerne des régions fortement peuplées et des milieux fortement sujets à la dégradation des terres; c'est dans ce domaine que s'étend la culture du cannabis.

Le Rif vit en effet, sur un système de production agro-sylvo-pastoral, lentement formé grâce à l'adaptation vis-à-vis des conditions du milieu montagnard; ce système complexe offre un double intérêt:

-celui de la complémentarité de terroirs variés, c'est à dire de sites de production offrant par leur multiplicité une certaine garantie contre les dégâts possibles, liés aux glissements sur les pentes, aux inondations dans les fonds de vallées, au gel sur les hauteurs ou à la sécheresse sur les positions bien drainées ou bien ensoleillées;

-celui de la diversification des ressources et des produits, cultures céréalières, arboriculture, élevage, utilisation de la forêt, ce qui représente un gage contre le risque lié aux aléas, climatiques notamment.

Ce système complexe est ancien; il date au moins du Moyen âge, et a connu une suite d'adaptations spatio-temporelles, aux conditions locales d'une part et aux phases de l'histoire d'autre part.

Mais c'est un système qui semble avoir depuis longtemps supporté une charge démographique élevée, nettement plus forte, comparée à celles des autres montagnes marocaines; néanmoins, les historiens décrivent une succession de phases de prospérité et d'épisodes de crise, de disettes et d'épidémies, selon une logique assez conforme finalement à ce qu'a connu l'ensemble du territoire national.

Depuis le début du siècle, de nouvelles données sont enregistrées, notamment une forte croissance démographique.

LES COMPOSANTES DU SYSTEME

- Des terres cultivables en quantité limitée, en raison d'un intense morcellement du relief, limitant fortement la surface agricole utile et nécessitant des prouesses techniques pour son utilisation et son extension; ainsi chez les Rhomara, la SAU ne dépasse pas 16% de la superficie, alors que de nombreux terrains sont cultivés sur des pentes dépassant 25%; LA SAU est pourtant constamment fluctuante; des terres cultivées peuvent devenir impropres à l'utilisation par effet d'ablation; d'autres terres déclarées non cultivables dans les situations normales, s'intègrent au terroir utilisé dans les situations de crise; le tableau suivant montre la répartition des terrains dans 6 provinces de la montagne rifaine:

Tabl. : Typologie des terrains dans les provinces rifaines

| | Superf./ ha | SAU | Forêts | Parcours/incultes |
|--------------|----------------|----------------|---------------|-------------------|
| Tanger | 124000 | 60000 | 27000 | 30000 |
| Tétouan | 356000 | 108000 | 163000 | 60000 |
| Nador | 623000 | 243000 | 79000 | 291000 |
| Al Hoceïma | 355000 | 123000 | 108000 | 2793 |
| Chaouen | 500000 | 85000 | 160000 | 250000 |
| Taounat | 558300 | 426000 | 36400 | 9590 |
| Total | 2516300 | 1045000 | 573400 | 736900 |

- Des terres de culture de qualité médiocre; les sols sont en effet peu évolués à cause de la faible conservation de l'eau dans les profils pour des raisons de topographie défavorable; cependant un capital de sols hérités et précieux est menacé de disparaître de façon définitive; souvent ces formations sont très chargées en blocs et cailloutis; sur schistes et sur grès, les sols sont soit lourds soit acides; ils sont enfin généralement tronqués; l'ablation atteint plus particulièrement les sols les plus défavorisés, d'une part parcequ'ils sont moins résistants et d'autre part parcequ'ils sont moins protégés;

- Des risques naturels importants, pouvant avoir de fortes magnitudes, capables de réduire à néant les efforts consentis; c'est le cas du risque de sécheresse prolongée, mais plus encore d'inondations, d'excès d'eau dans les sols, de mouvements de terrains, menaçant les établissements humains et les voies de communication; à cause de la raideur des

pentés et du caractère immédiat du ruissellement, la montagne oscille continuellement entre des situations d'excès d'eau lors des inondations hivernales et des pénuries estivales pouvant être catastrophiques; c'est aussi le cas du risque sismique puisque l'arc rifain se situe dans une zone de très forte instabilité;

Si les ressources naturelles font parfois défaut, la ressource humaine représentée par contre un capital sur lequel devraient s'appuyer les politiques de gestion de l'eau, de protection des ressources et de développement de la montagne rifaine.

- Une terre d'accueil, fortement peuplée: Dans le Rif, véritable montagne méditerranéenne, l'occupation humaine est très ancienne; on parle d'un fonds légendaire dont la langue était apparentée au Chleuh des Masmouda; on a par ailleurs trouvé de nombreuses ruines d'un habitat ancien considérable dans les forêts, dans des espaces actuellement peu occupés; un scénario de crise aurait été responsable de la fin de cette première phase de peuplement; il est même possible que ce scénario ait été enregistré plusieurs fois, toute période de croissance ayant été suivie d'une période de crise, due justement au dépassement du seuil de capacité de charge; la mortalité et l'exode auraient été des facteurs de régulation et de détente démographique (Pascon et al., 1983).

Dans ce cadre global, il faut signaler en outre les mouvements internes de population et notamment le fait que cette montagne a joué constamment, jusqu'en 1917, le rôle de voie de passage N-S et le transfert de population qui s'est opéré aux 19^e et 20^e siècles, de la montagne vers la côte méditerranéenne..

Sous la colonisation, l'évolution démographique a été complexe du fait des guerres, de l'émigration et de la levée de troupes pour la guerre civile espagnole. On enregistre par ailleurs l'effet désastreux de la famine de 1945.

C'est aujourd'hui, une région en pleine expansion démographique où la croissance en zone rurale reste importante, malgré les gros problèmes de dégradation des ressources. La densité humaine, expression la plus directe de la charge humaine atteint aujourd'hui 73 h/km² en moyenne dans le Rif central montagneux. De 40 en 1971, la densité a vite grimpé à 65 en 1982 dans le pays Rhomara, par exemple, ce qui signifie une densité réelle de 6 h/ha de terre arable.

- Une répartition morcelée des terres dans le finage des communautés:

Chaque communauté possède un finage constitué de trois composantes, des terres irriguées soignées, mais fortement limitées, un terroir de cultures permanentes en bour et de plantations et une zone plus ou moins large, d'occupation temporaire, de culture et de jachère prolongée, de parcours et de cueillette.

- Une structure sociale dominée par les très petits propriétaires.

- Une économie rurale pauvre et menacée, caractérisée par le maigre bilan des cultures, des revenus insuffisants et la rareté des possibilités et ressources annexes.

EVOLUTION RECENTE

- Une population de plus en plus nombreuse et de plus en plus mobile

La charge humaine du Rif est de plus en plus lourde puisque la population du seul Rif central, délimité dans la zone des chaînes massives des Sanhaja, Rhomara et massifs proches, est passée de 77000 à 163000 h de 1950 à 1980. Le rythme d'accroissement semble d'ailleurs s'être accéléré puisqu'il est passé de 1.6% entre 1930 et 1950 à 2.5% environ par la suite; ce rythme d'accroissement ne se retrouve pas dans les autres montagnes marocaines et constitue une donnée que n'enregistrent que les campagnes en pleine mutation du pays.

Cette croissance s'explique par plusieurs facteurs: d'abord la réunification du pays et l'ouverture du Rif sur le Monde extérieur; ensuite la mise en place d'un certain nombre d'équipements de base et la naissance d'un certain nombre de centres et d'agglomérations urbaines ayant des activités commerciales, administratives et offrant donc des salaires; enfin l'apparition d'activités illicites fortement rémunératrices comme la culture et le commerce du Kif d'une part et la contrebande d'autre part.

Cette croissance d'ensemble cache des disparités régionales qui vont en s'accusant. Alors que certaines communes connaissent une croissance supérieure à 3% par an, d'autres secteurs semblent plus stables ou connaissent même un certain recul; on remarque en particulier un glissement progressif du centre de gravité de la population de l'E vers l'W de la chaîne, avec une croissance plus forte dans les communes occidentales. Dans le Rif oriental, par contre le mouvement migratoire s'est amplifié et le nombre de départs représente aujourd'hui le 1/4 du croît naturel; ce processus d'exode à rythme rapide peut engendrer à brève échéance le dépeuplement de certaines vallées. Néanmoins le plus souvent se pose un problème de capacité de charge du milieu en raison de la pression de plus en plus forte sur les ressources; on semble s'acheminer très souvent vers une situation de rupture d'équilibre.

Partout la part des actifs travaillant dans le secteur agricole dépasse 50% et peut même atteindre 77% dans la province de Taounate. Il faut cependant remarquer que, dans beaucoup de régions, l'Agriculture n'est plus la première ressource et que dans certains finages, des secteurs abandonnés révèlent une certaine situation de malaise. En fait les abandons semblent être avant tout temporaires et ne concernent que des secteurs isolés (ex du Haut Nekkour). L'histoire démontre que des épisodes d'abandon et d'autres de reconquête se sont succédés (ex de l'histoire des Bni Bou Ifrah). Aujourd'hui, l'émigration n'entraîne pas un abandon systématique des terres, des formes d'association permettant la poursuite de la mise en culture.

-une extension de l'emprise humaine et des conquêtes agraires.

*Dans l'état actuel des choses, l'extension de la SAU semble en proportion inverse des conditions du milieu; en effet, alors qu'elle reste inférieure à 20% dans la partie occidentale et la plus humide de la chaîne, la SAU couvre 40% des terres sur le versant méditerranéen à la fois plus sec et plus cloisonné, et jusqu'à 70% des terres dans certains secteurs très peuplés du Rif oriental, non moins accidenté, mais beaucoup plus aride. Il semble donc que la rareté des ressources dans les montagnes peuplées de l'Est et du versant méditerranéen, a conditionné une occupation plus intense du terrain.

***l'évolution actuelle et récente du système de production:**

La croissance démographique se traduit par un certain nombre de marqueurs:

-le recul de la jachère, originellement biennale, de plus en plus réduite dans les rotations de cultures; de plus en plus, les terres sont travaillées chaque année;

-l'extension récente de défrichements; le rythme a connu des phases de croissance, notamment au moment de l'Indépendance, parceque les populations voulaient faire valoir des droits de propriété, sur le domaine forestier que la Colonisation espagnole n'avait pas délimité; actuellement le rythme de défrichements définitifs s'est beaucoup ralenti, l'opération se déroulant de plus en plus en mosaïque et de manière dérobée; la quantification faite par les auteurs dans certaines communes ne peut être généralisée à l'ensemble de la montagne; elle concerne avant tout des zones où de nouvelles productions ont été mises en place, le Kif en particulier; dans certaines communes le rythme est resté très élevé (jusqu'à 700 ha/an dans certaines communes); en effet, le chanvre indien, après une première phase d'installation au sein de la SAU existante, a connu récemment une phase d'extension sur les terres marginales, conquises au dépens du matorral;

-l'évolution de l'élevage consiste curieusement en une stagnation voire un certain recul, aussi bien en nombre que parfois en qualité, sauf dans des secteurs bien précis, comme les alentours des grandes villes; la démographie n'a donc pas eu dans ce secteur l'effet escompté;

-la pression sur les boisements est par contre en augmentation continue; l'exploitation habituelle sur les limites des massifs forestiers, devenue plus réduite en liaison avec les efforts déployés par les Services forestiers, a été remplacée par une exploitation plus dérobée opérée au sein des massifs, dans les secteurs les plus éloignés et consiste dans un éclaircissement végétal interne qui peut toucher les forêts les plus précieuses comme la cédraie ou la sapinière; On a ainsi estimé que la cédraie de Kétama a perdu le 1/3 de son stock en bois entre 1953 et 1976; une ressource renouvelable en principe est donc entrain de s'épuiser ; on est donc entrain d'atteindre le seuil qui peut mener vers la transformation radicale et définitive du paysage végétal; mais il ne semble pas que cette évolution soit entièrement à relier aux facteurs démographiques, puisque de nombreux autres facteurs interviennent et en particulier la gratuité de la ressource végétale.

- La diversification des ressources agricoles:

L'agriculture rifaine est en pleine mutation et connaît une certaine augmentation des rendements, liée à l'utilisation de plus en plus généralisée des engrais, quoiqu'en trop petites quantités; on remarque aussi que la jachère recule et que les terres sont de plus en plus travaillées chaque année. Les défrichements récents sont de plus en plus rares, mais ils deviennent définitifs; ils intéressent les versants raides et même des lignes de crêtes (conquête ascendante) ainsi que des fonds de vallées autrefois délaissés (conquête descendante). Cette installation définitive sur les terrains marginaux est en principe dommageable pour ces milieux fragiles, plus adaptés à une utilisation itinérante et en mosaïque; mais il est possible de penser que l'installation définitive et la sécurité foncière qu'elle amène pour les paysans, induira peut être la mise en place de mesures de protection réelles et par voie de conséquence l'amélioration de la qualité des terrains et donc l'augmentation du potentiel écologique.

Les ressources agricoles évoluent nettement:

-la céréaliculture est toujours dominante aussi bien sur les bonnes terres que sur les marges; elle est de plus en plus accompagnée par des légumineuses, ce qui explique la limitation de la jachère à moins de 30% de la SAU;

-on remarque une extension importante du maraîchage sur parcelles irriguées ; leurs revenus peuvent être jusqu'à 20 fois ceux d'une bonne récolte de céréales; ces cultures sont soignées et reçoivent un appoint important en engrais;

-l'arboriculture constitue une vieille tradition , avec notamment l'olivier qui progresse dans de nombreux secteurs ; mais d'autres spéculations arboricoles peuvent être envisagées pour ce milieu montagneux méditerranéen fortement favorable à l'arbre;

-l'élevage joue un rôle important dans les revenus des paysans avec des ovins essentiellement dans les montagnes sèches et des caprins et des bovins dans les montagnes humides; mais l'élevage connaît curieusement une stagnation ou même un certain recul; aussi bien les caprins que les ovins ont diminué en nombre, mais la qualité du troupeau ne s'est pas fortement améliorée contrairement à ce qui était escompté.

Il y a donc une certaine évolution du secteur agricole dans le sens de la diversification et du progrès des rendements; mais cette évolution reste timide pour différentes raisons:

-la concurrence des produits de la plaine, dont les frais d'exploitation sont nettement plus faibles;

-l'apparition dans la chaîne rifaine d'activités fortement rémunératrices, moins exigeantes en efforts, le Kif et la contrebande.

Les progrès du haschich sont fulgurants dans la montagne rifaine; ils sont le résultat de la crise de l'économie régionale et de la faiblesse des investissements; la crainte de nouveaux troubles a expliqué le laissez-faire de l'Administration et donc l'extension de cette culture en dehors de son terroir d'origine, notamment depuis les années 70 qui ont enregistré une forte augmentation de la demande et des cours.

Or le Kif est une plante adaptée au milieu rifain à cause de son cycle court qui ne souffre ni des trop fortes pluies d'hiver ni de la sécheresse de certaines années; c'est une plante qui peut être installée aussi bien en sec qu'en irrigué et qui n'exige pas des façons culturales particulières; ses rendements sont plus élevés quantitativement comparés à ceux de l'orge, avec une valeur nettement plus forte (40 dh/ kg en 1987). Un hectare de kif permet un revenu de 30000dh environ.

Aujourd'hui 200 000 personnes vivent directement ou indirectement de cette culture qui a introduit un véritable bouleversement dans l'économie et dans la société rifaine. La montagne n'est plus répulsive; elle devient un milieu d'immigration de travailleurs notamment; l'habitat y est rénové et la consommation de plus en plus diversifiée.

C'est ce qui explique son extension à 65% de la SAU dans la région de Kétama-Bab Berred, 20% de la surface utile dans la région de Talembote et 5% environ sur le littoral plus sec.

La mise en place du Kif se fait d'abord sur les terres traditionnellement cultivées, puis progresse sur des terres nouvellement défrichées grâce à l'utilisation intense de fumure et d'engrais. La culture du Kif donne donc l'exemple d'une spéculation qui s'étend sur des terres marginales sans que la dégradation s'en suive forcément. Aujourd'hui, les rendements du kif semblent avoir progressé (augmentation de 50% en 10 ans). D'ailleurs le kif a eu un impact qui s'est répercuté sur les autres cultures puisqu'il a poussé les paysans à s'intéresser à l'ensemble du finage et à y exercer plus d'entretien; par ailleurs la diminution des effectifs du troupeau a eu un effet positif en terme de dégradation; enfin il est possible de penser que l'intérêt porté au haschich et l'augmentation des revenus ont eu pour impact la diminution de la pression sur ce qui reste des espaces forestiers (réduction des coupes de bois); cette observation est néanmoins controversée par la réduction enregistrée dans les recettes forestières dans les régions d'extension du kif, à cause des défrichements abusifs et rapides.

L'ACCENTUATION DES PHÉNOMÈNES DE DÉGRADATION

Les observations relatives à l'évolution actuelle font état des transformations suivantes:

-Des fluctuations permanentes, dans l'extension et dans la physionomie du matorral rifain, par défrichement, abandon et recolonisation; ces fluctuations ne semblent pas avoir une signification générale, mais sont plutôt à relier à des évolutions locales. Cette évolution cyclique se vérifie partout où n'intervient pas une érosion grave, décapante et stérilisante qui interrompt le processus; là où l'érosion est plus grave, le décapage empêche la recolonisation végétale; le sol reste ainsi définitivement, ou du moins pour une longue période dénudé.

-Il ne semble pas y avoir d'apparition récente de grandes formes d'érosion concentrée; tous les grands bad-lands existent depuis 30 ans déjà, mis à part de petits secteurs ravinés en bordure des versants soumis au sapement fluvial où donc la déstabilisation est sous l'effet de facteurs hydrographiques.

-On constate par contre des évolutions non négligeables affectant les secteurs ravinés, avec élargissement, allongement et approfondissement des ravins, accompagnés par le sapement des berges;

- Les évolutions les plus rapides affectent les fonds de vallées et prennent surtout la forme de sapements des berges alluviales.

L'examen des grandes formes d'érosion (bad-lands et grands mouvements de masse) considérées comme permanentes et anciennes et l'élargissement assez modéré de ces formes ne signifie nullement la faiblesse des processus dynamiques actuels; de gros risques résident dans la transformation des formes superficielles peu incisées en griffes puis en rigoles beaucoup plus profondément inscrites dans les versants ; l'exportation des matériaux connaît alors un effet multiplicatif très élevé ; c'est ce risque fondamental que les pratiques anti-érosives essaient d'éviter.

Cette érosion active a plusieurs conséquences:

-la difficulté de créer et d'entretenir des réseaux routiers convenables;

-l'envasement des retenues de barrages;

-la stagnation sinon la diminution des rendements dans les terres agricoles; il semble que la dégradation des terres entraîne, après diminution des revenus, le défrichement de terrains de compensation; ainsi les superficies érodées ne pourront qu'aller en s'élargissant.

Conclusion: Le système agricole des régions montagneuses rifaines connaît donc d'immenses difficultés qui résident, d'une part dans la croissance de la population, d'autre part dans la dégradation et donc la raréfaction des ressources. Le système ne peut être considéré comme "soutenable" à moyenne et à plus forte raison à longue échéance. C'est pourquoi, il est nécessaire de repenser l'économie agricole de la région nord, dans son ensemble, en fonction des bordures de la montagne, c'est à dire les périmètres irrigués, des plaines à bours favorable et des steppes d'élevage de l'Oriental.

Par ailleurs, l'économie agricole ne se maintient en montagne que grâce à des entrées supplémentaires, celles de l'émigration, de la contrebande, qui sont entrain de concurrencer fortement l'agriculture. Ces tendances économiques et sociales sont le signe de déséquilibres profonds qui touchent la région montagneuse.

**La dynamique des systèmes agraires
face aux déséquilibres démographiques et environnementaux:
le cas des Moyennes Collines du Népal Central**

François Ségala, agro-économiste

Fonctionnaire Technique

Division de la Mise en Valeur des Terres et des Eaux, FAO
via delle Terme de Caracalla, 00100 Rome, Italie

RÉSUMÉ

En matière de développement agricole, et de manière plus spécifique de lutte contre l'érosion, les discours sur la durabilité des interventions et sur les impacts environnementaux partent trop souvent de l'analyse d'une situation figée. Cette approche a peu de sens à la lumière de l'histoire récente des systèmes agraires, surtout de leur histoire très récente. Cette communication a pour but de mettre en ordre et en perspective les faits significatifs, touchant de près ou de loin à l'équilibre entre démographie et ressources d'un milieu exploité, et à prendre la mesure des changements, de leur impact et de leur inégalité. Une situation concrète au Népal vient illustrer cette réflexion en discutant des conditions d'adaptation de l'économie rurale sous l'influence de la croissance de la population et de son impact dans la gestion globale des ressources naturelles.

MOTS-CLÉS

Aménagement des Pentes / Intégration Agriculture-Elevage / Evolution Historique / Seuil de Reproduction / Différenciation Socio-économique / Stratégies des Producteurs.

Au sein des Moyennes Collines du Népal Central, le district de Gulmi (Figure 1) est caractéristique de l'une des plus fortes densités rurales du pays avec plus 200 habitants/km² correspondant en réalité à moins de 10 ares de terre arable par habitant, et ce, dans un milieu naturel jugé fragile. Pour aborder la question de l'équilibre relatif entre démographie et environnement, nous allons nous intéresser successivement: i) à l'analyse des équilibres élémentaires entre ressource/modes d'utilisation; ii) entre population/production; et enfin iii) à la diversité de ces équilibres au sein même des unités de production.

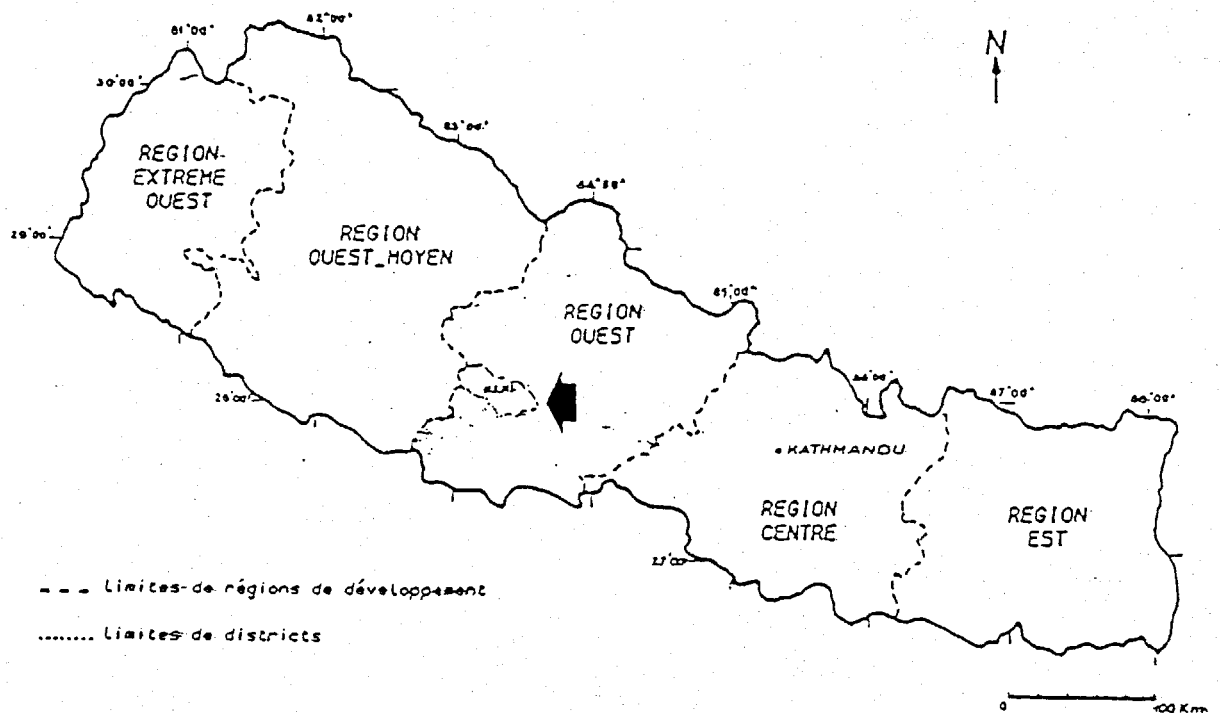


Figure 1 : Situation du district du Gulmi au Népal

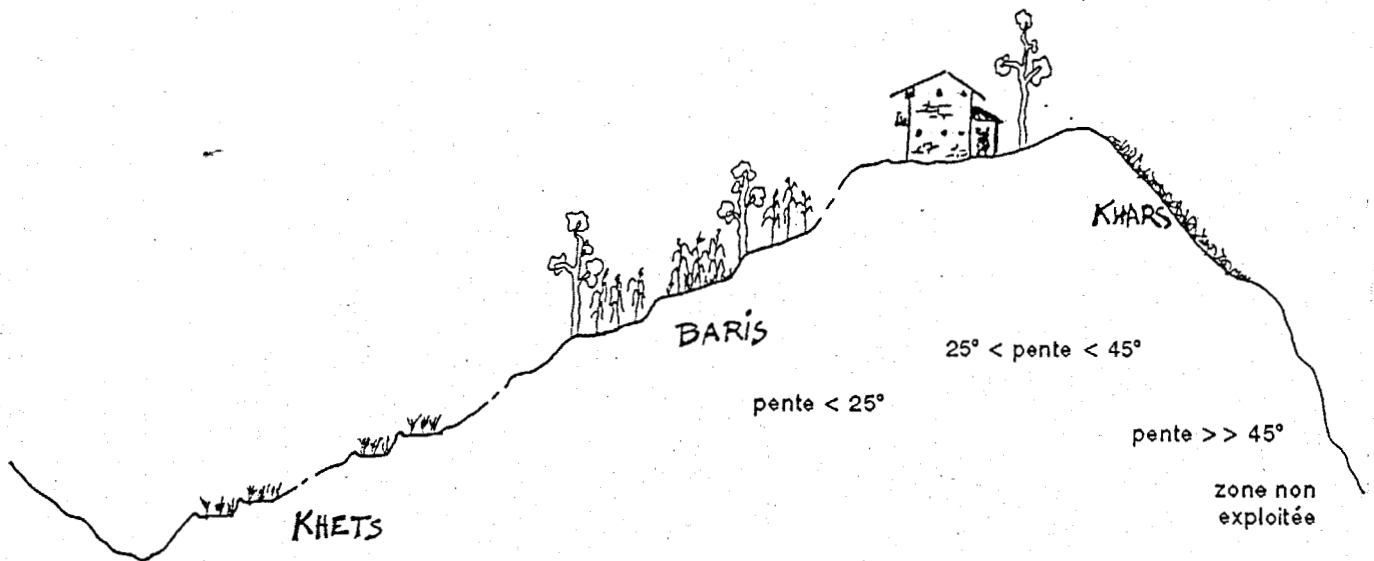


Figure 2 : Utilisation des terres en fonction des unités de paysage

1 DIAGNOSTIC DES ÉLÉMENTS TECHNIQUES DE LA GESTION DES TERRES

L'analyse de l'équilibre entre ressources et modes d'utilisation passe par la distinction des différents types de terre dans le paysage (Figure 2): terres cultivées, non irriguées et irriguées, et pâturages. Dans ce milieu, la topographie limite considérablement l'extension du domaine cultivé, estimé globalement à moins de 15% de la superficie du district.

1.1 Aménagement et gestion des terres cultivées sur pente

Dans district de Gulmi, les terres cultivées non irriguées -- les "baris" -- sont aménagées en terrasses progressives sur la pente. Cette singularité est attribuée à une forte teneur en argile de ses sols. Les baris conservent une pente de près de 15 degrés sur des versants qui ont globalement moins de 25 degrés de pente. Ces terrasses permettent de limiter substantiellement l'érosion et aussi de faciliter l'usage de la culture attelée légère, mais leur principale raison d'être est vraisemblablement liée à la gestion de la fertilité de ces terrains en pente. Il est intéressant de noter que les tentatives d'introduire des terrasses en gradin dans cet environnement se sont soldées par des problèmes sérieux d'hydromorphie pénalisant les rendements en maïs, mais aussi par des effondrements plus fréquents des talus et des terrasses. L'aménagement des baris en terrasse progressive offre donc un bon compromis entre la stabilité de la terrasse et un drainage superficiel optimum pour la culture.

Les baris sont en fait limités à l'aval par un talus planté d'arbres fourragers. Les flancs des talus sont enherbés, et d'ailleurs généralement fauchés. Ce système talus + arbres fourragers répond de fait à plusieurs objectifs: i) la stabilisation des versants cultivés; et ii) une réserve de fourrages qui complète bien la ration animale, et dont l'importance est cruciale durant certaines périodes de l'année lorsque les autres réserves fourragères sont épuisées. Sur les 30 dernières années, Gilmore (1991) a noté une augmentation de 300% du nombre d'arbres sur les terres privées.

Le compostage du fumier est l'élément central de la reproduction de la fertilité des baris. Suwal (*et al.*, 1991) estime à 20-28 tonnes la quantité de fumier composté utilisée à l'hectare pour le maïs, un apport jugé suffisant pour compenser la perte en éléments minéraux perdus par érosion. Même si les pertes en terre sont avancées comme un problème prioritaire dans cet environnement, la maîtrise du ruissellement sur les baris est vraisemblablement une priorité plus immédiate comme plusieurs auteurs l'ont souligné, indiquant notamment que l'effet de *mulch*, que le compost peut jouer à la surface du sol limitant ainsi l'érosion en nappe, pouvait avoir un impact plus important sur les rendements qu'un fumier incorporé au moment opportun.

1.2 *Maîtrise de l'eau et valorisation des sédiments*

L'essentiel des terres irriguées -- les "khets" -- sont aménagées sur le bas des versants en petites terrasses étroites permettant une riziculture de submersion alimentée par irrigation gravitaire. Les terrasses sont le fruit d'un entretien régulier, et l'érosion sur les secteurs exploités en khet est jugée négligeable.

En revanche, la turbidité des eaux d'irrigation en période de mousson pourrait être considéré comme le témoin d'une situation alarmante. En réalité, d'une part la charge fine en suspension fertilise les khets, leur apportant azote, phosphore et matière organique et, d'autre part, cette sédimentation est plus le fait d'une érosion naturelle, principalement dans les talwegs et sur les versants escarpés non exploités et instables, que la conséquence des modes d'exploitation en amont. Précisons qu'il n'y a pas d'épandage de fumier sur les khets qui sont trop distants des habitations et de la fosse à fumier.

Les khets occupent aussi les terrasses alluviales de fond de vallée, et certains sont littéralement construits sur le lit de sédiments grossiers du torrent à la faveur d'un petit verrou naturel ou d'une diguette de pierre permettant la formation de la terrasse en quelques saisons. Là encore, les populations ont appris à tirer partie des sédiments transportés. Ces khets sont susceptibles de submersion mais parfois aussi d'être totalement détruits par une crue; c'est un risque calculé pris en compte par les exploitants.

1.3 *Gestion des pâturages sur pente forte*

Le troisième élément de la gestion des terres, ce sont les "khars", c'est-à-dire les pâturages, qui occupent presque la totalité des pentes fortes jusqu'à 45°.

L'exploitation des khars sous une gestion privée et intensive allient coupes de foin et pâturage. Les khars ne sont qu'un élément du système d'affouragement systématique de l'élevage exploitant toutes les ressources fourragères du système et du milieu -- récupération des résidus de sarclage et de récolte; exploitation des arbres fourragers; fauche des talus --.

Dans cet environnement, les khars les plus pâturés sont de manière évidente les plus dégradés. Les sentes qui zèbrent les versants et le surpâturage peuvent donner naissance à des glissements en planche de la couverture pédologique favorisés par les schistes sous-jacents lorsque le pendage est conforme.

1.4 Bilan

L'érosion est généralement avancée comme un problème prioritaire dans les Moyennes Collines du Népal. Le Tableau 3 présente quelques estimations de pertes en terre suivant les différents modes d'exploitation. Notre propos n'est pas de discuter de ces valeurs, mais plutôt d'illustrer le fait que le premier défi pour l'équilibre entre ressources et modes d'utilisation est ici lié à la fragilité du milieu.

Tableau 3 : Pertes en terre estimées pour différentes occupations du sol

| Type de terre | Pertes en terre estimées (en t/ha/an) |
|---|--|
| Khet / terrasse irriguée bien gérée (riz) | 0 - 10 |
| Bari / terrasse en gradin bien gérée (maïs) | 5 - 15 |
| Bari / terrasse progressive mal gérée | 20 - 100 |
| Khar / pâturage mal géré | 40 - 200 |

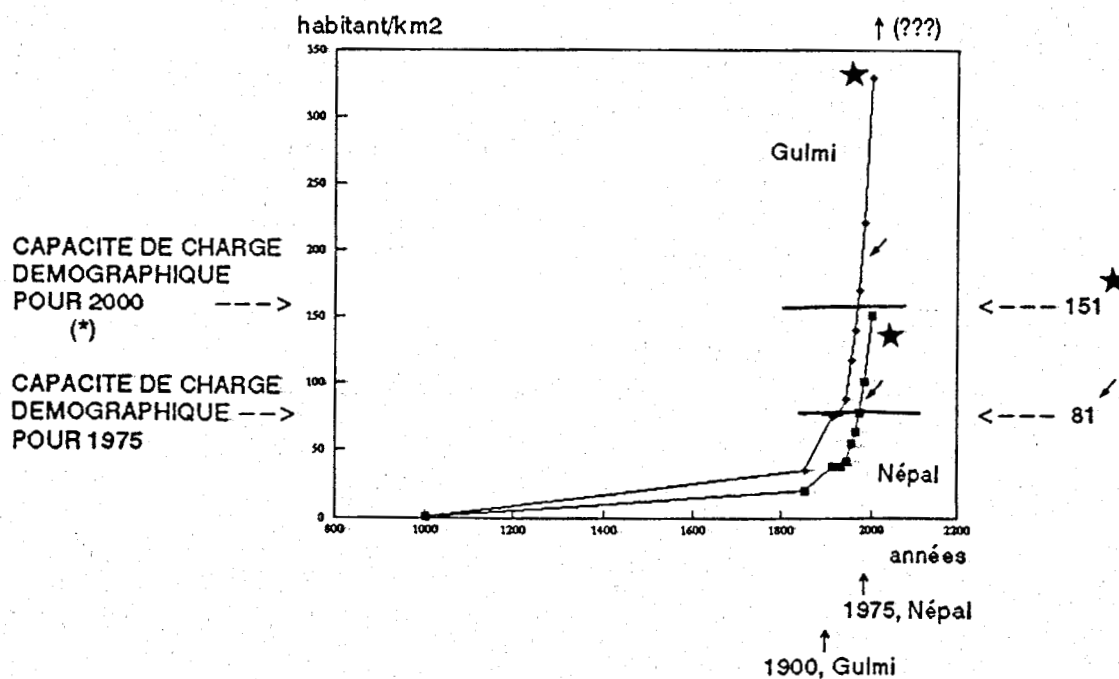
Source: Laban (1978, citée par Land Resource Mapping Project, 1986)

L'intensité des pluies est relativement faible et la capacité d'infiltration des sols élevée, mais ces terrains sur schistes fragmentés sont en général très instables. De nombreux et importants glissements sont visibles surtout lorsque le pendage de la roche est fortement incliné et conforme. Les signes d'érosion et l'affleurement des roches sont fréquents sous pâturage et forêt claire. En ce qui concerne les sols cultivés, l'aménagement des pentes semble aussi entraîner de fortes hétérogénéités structurales.

A présent, un équilibre relatif entre ressources et modes d'utilisation semble cependant réalisé grâce à un ensemble de techniques qui combinent de manière efficace la maîtrise des risques érosifs, la gestion de la fertilité et la gestion de l'eau, et permettent une exploitation intensive et globale de presque toutes les ressources en terre du milieu. On peut dire sans crainte que, dans ce type d'environnement, l'amélioration de l'utilisation des terres aura peu d'impact sur la charge en sédiments des torrents et des canaux d'amenée d'eau. Mais en revanche, l'amélioration à la parcelle de l'utilisation des terres est une nécessité pour l'équilibre global entre population, production et ressources.

2 RELATIONS ENTRE POPULATION ET PRODUCTION

La population du Népal (Figure 4) est passé de quelques 3 millions vers 1850 à plus de 18 aujourd'hui, soit plus de 120 habitants par km². Peut-on affirmer que l'autosuffisance alimentaire est encore possible dans de telles conditions de croissance démographique ? A quel point le rapport population/production est-il prêt de basculer ? Mais surtout, comment cet équilibre n'est-il pas rompu depuis longtemps ? En fait, les réponses ne sont pas immédiates.



(*) Ce potentiel accru est imputable à l'augmentation de la production irriguée projetée pour l'an 2000

Figure 4 : Croissance de la population

Source: Central Bureau of Statistics, Kathmandu, Népal

2.1 *La notion de capacité potentielle de charge démographique*

L'heure est aux débats sur le thème de la surpopulation avec la Conférence qui vient de se tenir au Caire¹. En France, ce sont les démographes qui les premiers, autour d'Alfred Sauvy² dans les années cinquante, ont cherché à définir une population optimale ou maximale, il est vrai avec peu de succès (Le Bras, 1993). Plus récemment, l'intérêt des développeurs et des planificateurs est né pour le concept de "carrying capacity" -- ou en français, de capacité potentielle de charge démographique des terres --. Au début des années 80, la FAO et le FNUAP³ ont ainsi calculé que la planète pouvait porter près de 30 milliards d'êtres humains.

L'intérêt de cette notion de carrying capacity est de mettre en avant la question de la production plutôt que celle de la population. D'où l'intérêt de faire des bilans: à un instant donné, avec les surfaces et les techniques actuelles, quelle production peut assurer une région, un pays, avec quelles conséquences pour la population, pour l'environnement ? Cette modélisation fait d'ailleurs ressortir le Népal comme une zone critique, où la capacité potentielle calculée de 81 habitants par km² est déjà dépassée par la population de 1975. Encore une fois, comment ce pays traverse-t'il cette crise ? Et dans le contexte démographique du district de Gulmi, où la population s'est multipliée par cinq depuis le début du siècle, comment une économie agricole de subsistance a-t-elle survécu ?

2.2 *L'évolution des modes d'exploitation dans un contexte de pression démographique croissante*

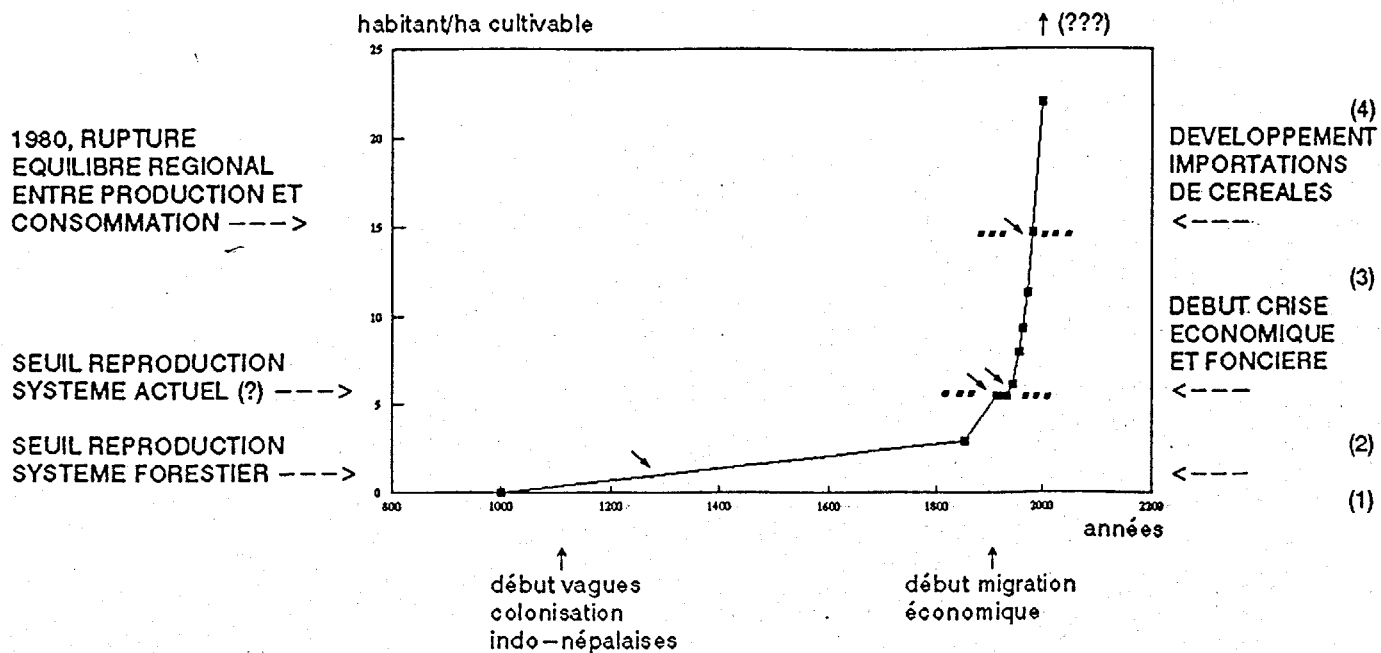
L'analyse historique de ce milieu témoigne d'évolutions successives du système agraire qui ont accompagné l'expansion continue de la société népalaise des Moyennes Collines avec, bien entendu, des épisodes de crises, de disettes, de réduction massive du cheptel..., mais trouvant toujours des réponses au défi posé, c'est-à-dire le défi d'une production alimentaire qui ne se fasse pas au dépens du renouvellement global des ressources. Analysons ces transitions eu égard à l'évolution de la population par rapport à la surface arable disponible (Figure 5).

A grands traits, on peut dire, qu'à l'origine, l'agriculture a vraisemblablement émergé sous la forme d'un système de culture sur brûlis adapté à ce milieu forestier subtropical. Dans ce système, avec deux ans de culture pour vingt ans de recrû, la densité de population ne peut guère dépasser cinq à dix habitants par km² étant donné que la topographie limite considérablement l'expansion des mises en culture.

¹ Conférence des Nations Unies sur la population et le développement.

² Alfred Sauvy: démographe et économiste français.

³ FNUAP: Fonds des Nations Unies pour les Activités en matière de Population.



(1) Avec les vagues successives de colonisation indo-népalaises, le système forestier va progressivement disparaître
 ---> la croissance démographique est limitée

(2) Un nouveau système agricole s'installe qui permet une expansion du terroir cultivé grâce à la disparition de la jachère forestière, l'aménagement des pentes et le développement de l'irrigation
 ---> l'évolution continue des modes d'exploitation a favorisé la croissance démographique

(3) L'évolution des modes de conduite de l'élevage ont été déterminants dans la survie du système de production, notons tout de même le début de la compétition pour la terre qui s'est traduit en une mise en valeur et une appropriation totale de l'espace
 ---> l'équilibre global de la société pendant cette période est déjà liée à l'existence de revenus extérieurs

(4) Aujourd'hui, la dépendance céréalière régionale est estimée à 10% des besoins globaux,
 ---> l'équilibre global de la société dépend plus que jamais de l'existence de revenus extérieurs
 ---> le caractère intensif de cette agriculture et sa relative santé sont en bonne partie dus au réinvestissement de ces revenus dans l'agriculture

Figure 5 : Evolution du rapport entre population et production

Cela correspond sur le graphique à un seuil de reproduction⁴ du système forestier de 0,25 habitant par hectare qui entre dans la rotation. Mais ce système a été perturbé par les vagues successives de colonisation indo-népalaise qui débutèrent vers les X et XIIèmes siècles. Progressivement les populations autochtones ont été reléguées vers les zones marginales -- secteurs en pente et sujets à l'érosion -- ou vers des zones plus en altitude. Les derniers vestiges de ce système forestier datent néanmoins de la fin du XIXème siècle.

⁴) La notion de "seuil de reproduction" introduit l'idée de définir les conditions nécessaires à la reproduction globale du système et de détecter si des difficultés rendent sa pérennité aléatoire, notamment au niveau de la conservation des capacités productives des terres (adapté de Gras et al, 1989).

L'installation de nouvelles populations n'a été rendue possible que grâce à une révolution du système agricole par les outils et techniques importés du sud, caractérisée notamment par l'adoption de la culture attelée légère et la naissance de l'association agriculture-élevage combinant l'organisation de la vaine pâture sur le domaine cultivé pendant la saison morte et l'utilisation d'un vaste domaine forestier collectif comme parcours le reste de l'année. Le développement progressif d'une agriculture sédentaire a donc permis une augmentation de population et une accumulation de cheptel et de forces productives inconnues jusqu'alors. Cette sédentarisation a également permis un investissement dans certains aménagements permanents des terres, et notamment par un élargissement progressif du domaine cultivé aux terrains plus en pente en construisant des terrasses progressives, mais aussi grâce au développement de la riziculture irriguée par submersion sur les bas de versant et les fonds de vallée.

On l'a dit, l'étude FAO/FNUAP caractérise le Népal de 1975 comme étant déjà dans une situation critique avec une capacité de charge démographique de 5 habitants par hectare cultivé qui est dès lors dépassée. Encore une fois notre propos n'est pas de discuter cette valeur, on peut cependant l'accepter comme pouvant représenter assez bien le seuil de reproduction des modes d'exploitation actuels. Ce seuil est en réalité dépassé depuis longtemps dans la zone des Moyennes Collines où l'expansion démographique a été beaucoup plus rapide. On peut vraisemblablement dater cette rupture vers le début du siècle. Néanmoins la continuité de l'agriculture y a été rendue possible: i) en premier lieu, par la constance des transferts de fertilité de l'inculte vers la sole cultivée -- une constance qui a été assurée par les évolutions successives et récentes du mode de conduite de l'élevage --; mais aussi ii) par la maîtrise de l'érosion puisque l'extension des baris, là où elle était possible, s'est faite principalement sur les pentes non encore aménagées.

On pourrait essayer de resituer et de dater les étapes caractéristiques de chacune de ces évolutions du système d'élevage: i) pour l'abandon du système vaine pâture/estive et la généralisation d'un système alliant stabulation sous une étable fixe à proximité immédiate des domaines cultivés et l'exploitation d'un espace forestier local comme parcours. Pour la première fois le fumier est récupéré et épandu, le même transfert de fertilité de l'inculte vers la sole cultivée étant assuré avec quatre fois moins d'animaux; et ii) pour l'adoption du mode de conduite actuel basé sur un système d'affouragement très poussé, voire systématique, basé sur la récupération des sous-produits de culture, la plantation d'arbres fourragers et l'exploitation de la plupart des terres hors assolement, c'est-à-dire les khars. Cette évolution est datée d'il y a moins d'une cinquantaine d'années.

Passé le seuil du début du siècle, la période contemporaine témoigne donc de défis tout à fait singuliers pour les populations locales et de types de réponses originales. La crise agraire actuelle revêt en fait plusieurs formes:

- ▶ 1^o défi: une crise foncière, qui se traduit par l'appropriation individuelle et presque totale de l'espace -- accélérée avec l'arrivée du cadastre --. La conquête de nouvelles surfaces cultivables a cependant atteint son maximum au vu des pentes, mais la pression foncière et l'exiguïté des unités de

production favorisent l'exploitation de terres en pente forte au risque cette fois de phénomènes érosifs non maîtrisés.

► 2° défi: une crise économique, où la structure foncière de la plupart des unités de production ne permet plus leur simple reproduction⁵, des revenus complémentaires sont devenus nécessaires: i) on assiste à une importante migration économique des hommes adultes vers l'Inde voisine, assurant un envoi régulier d'argent à leurs familles restées installées sur leurs unités de production; et ii) localement, à la naissance d'un prolétariat agricole formé par les membres d'unités de production trop petites pour être viables en l'absence d'autres revenus extra-agricoles.

► 3° défi: une crise alimentaire; la rupture au niveau local entre production vivrière et besoins des ménages est datée du début des années 1980: i) l'augmentation de la production ne passe plus par l'extension du terroir cultivé mais par l'intensification du système de production végétale, cependant cette intensification sur bari menace l'équilibre souvent précaire au sein des unités de production entre le cheptel familial, la surface des champs à fumer et les réserves fourragères du milieu; et ii) l'économie est ainsi devenue importatrice nette en céréales grâce au développement des échanges et à l'existence de revenus extra-agricoles, essentiellement les revenus de la migration.

2.3 Bilan

L'étude des équilibres élémentaires entre ressources/modes d'exploitation et entre population/production nous a amené à détailler les conditions de reproduction du système agraire.

Jusqu'au début du siècle, l'évolution des modes d'exploitation a donc toujours permis un bon ajustement entre population et production, entre demande et ressources disponibles. Depuis, le district de Gulmi a été le théâtre d'une intensification agricole et d'une augmentation de la production sans précédent avec une croissance démographique qui a conduit au quintuplement de sa population en moins d'un siècle et, fait remarquable compte tenu de la densité de population, sans que le potentiel du milieu soit particulièrement menacé. Cette évolution du système s'est poursuivie et même accélérée sur la période contemporaine, comme en témoigne l'évolution des modes de conduite de l'élevage:

Aujourd'hui l'équilibre global de la société et de l'économie agricole repose plus que jamais sur l'existence de revenus extérieurs. Un autre aspect à souligner est le fait de la forte demande du marché local et le développement des importations de

⁵ En référence à la notion de "seuil de reproduction d'un système", celle de "reproduction simple d'une unité de production" suppose la définition des conditions nécessaires à la pérennité de l'unité de production, notamment au regard de la conservation des capacités productives des terres qu'elle exploite, mais aussi au niveau du renouvellement de ses moyens de production et du maintien de sa force de travail.

céréales. L'enclavement de la zone et son isolement pendant la période de mousson favorisent un prix à la vente assez élevé et de fortes variations saisonnières tout à fait incitatifs pour le maintien et l'intensification de la production locale.

3 LA PRISE EN COMPTE DES PRODUCTEURS

Si globalement les migrations de travail assurent de fait un rôle déterminant dans l'équilibre social de cette société de castes, cette société recouvre en fait une diversité de situations à travers son tissu d'unités de production, ce qui suggère une analyse fine de cette diversité mais aussi des équilibres élémentaires au sein des unités de production au regard de leur capital, moyens de production, force de travail, résultats économiques et revenus financiers, mais aussi de leurs stratégies individuelles et de leur interdépendance à l'intérieur de la société.

3.1 *L'iniquité des héritages agraires*

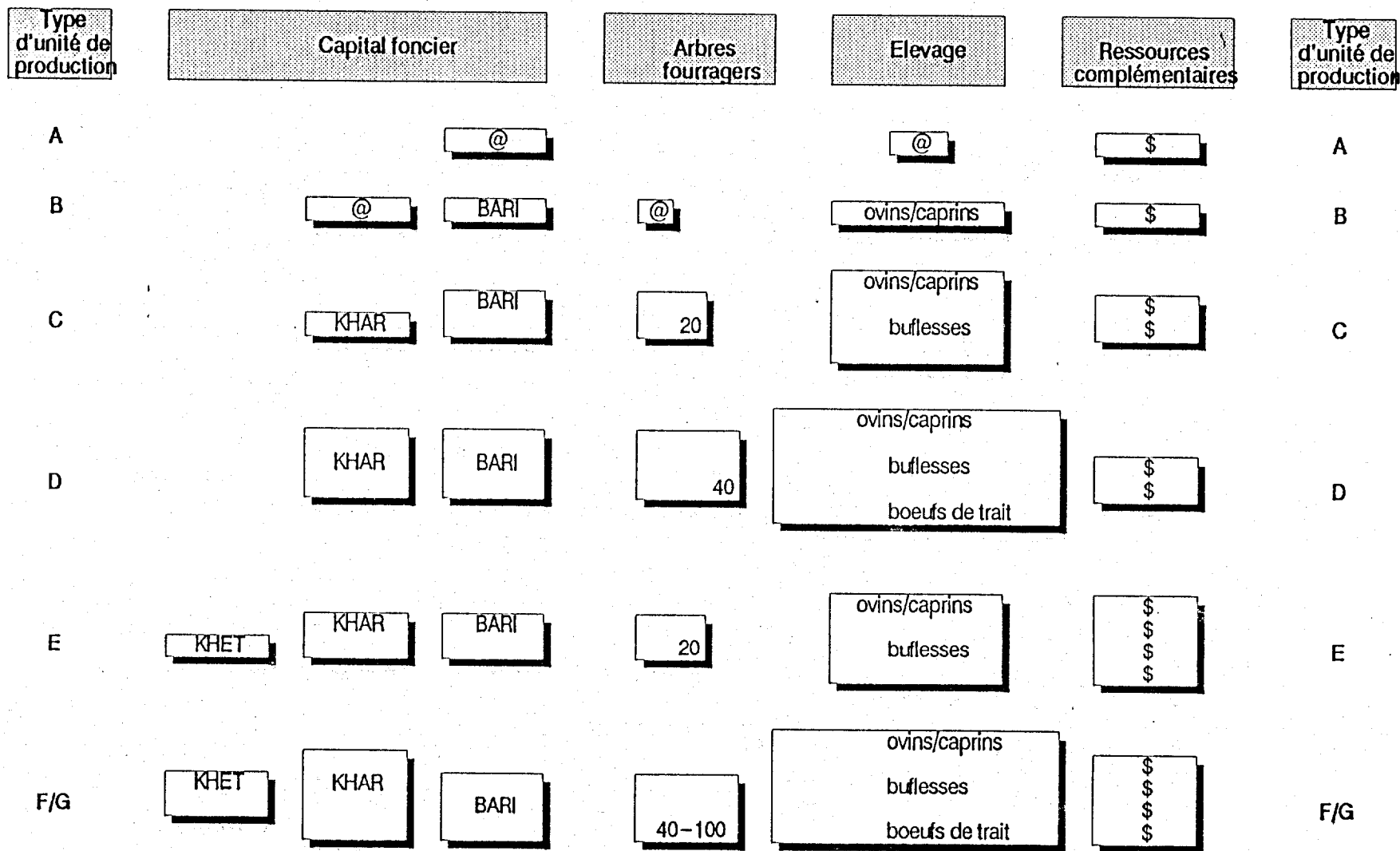
On peut déjà se représenter les inégalités entre unités de production (Figure 6) suivant qu'elles ont accès ou non aux khets. En moyenne plus de 50% des unités de production n'ont pas de khet. La plupart des khets, situés à moins de 1000 mètres d'altitude, rendent théoriquement possible une succession annuelle de trois cultures, mais leur productivité est très variable, essentiellement liée à leur position dans le paysage par rapport aux disponibilités saisonnières en eau. Cette diversité dans l'accès aux ressources recouvre en réalité bien d'autres aspects.

L'un des premiers critères d'iniquité analysés est dans l'accès aux baris, puisqu'il concerne toutes les unités de production. La position d'un bari dans le paysage est elle aussi déterminante d'un certain niveau de productivité, notamment du fait de la disponibilité en eau de la parcelle suivant l'orientation du pendage de la roche sur le versant. Mais deux aspects sont aussi à souligner dans l'évolution de cette société de castes: i) d'une part l'extension globale du domaine cultivé a progressivement relégué certains sur les plus mauvaises terres; et d'autre part ii) une proportion importante de familles de basses-castes, ayant perdu leur vocation traditionnelle de caste de service, ont été contraints à une reconversion dans l'agriculture, mais ce, au dépens des terres les plus marginales encore disponibles et sur des surfaces très réduites.

Après les baris et les khets, les khars forment le troisième élément de l'héritage foncier. Traditionnellement domaine collectif, les khars ont été le fruit d'une appropriation récente, qui s'est révélée elle aussi très inégalitaire sur le plan social. Compte tenu de la rareté présente des espaces communaux, l'appropriation des khars il y a moins de cinquante ans a donc été stratégique tant elle conditionne aujourd'hui la possibilité d'entretenir un élevage dont dépend le maintien de la fertilité des baris.

L'iniquité dans l'accès aux ressources est donc très marquée, et essentiellement le reflet du capital foncier, c'est-à-dire la base structurelle des unités de production. Dans ces conditions, il convient de souligner l'extrême faiblesse de la

Figure 6 : Eléments de la typologie des unités de production



68

Source: adapté de Ségala; Sibelet (1987)

Note: la représentation graphique illustre la proportionnalité de chaque élément

part des revenus agricoles dans l'économie des unités de production. Les écarts de rémunération du travail familial entre unités de production vont communément de 1 à 5 comme l'illustre la Figure 7, et toutes montrent aujourd'hui une base productive insuffisante à leur reproduction simple, même les mieux dotées. Durant les dernières décennies, les inégalités entre unités de production sont devenues éclatantes et s'accroissent fortement. L'existence de revenus complémentaires est suivant les cas un gage de réussite (types d'unités de production E, F et G) ou simplement de survie (types A et B)!

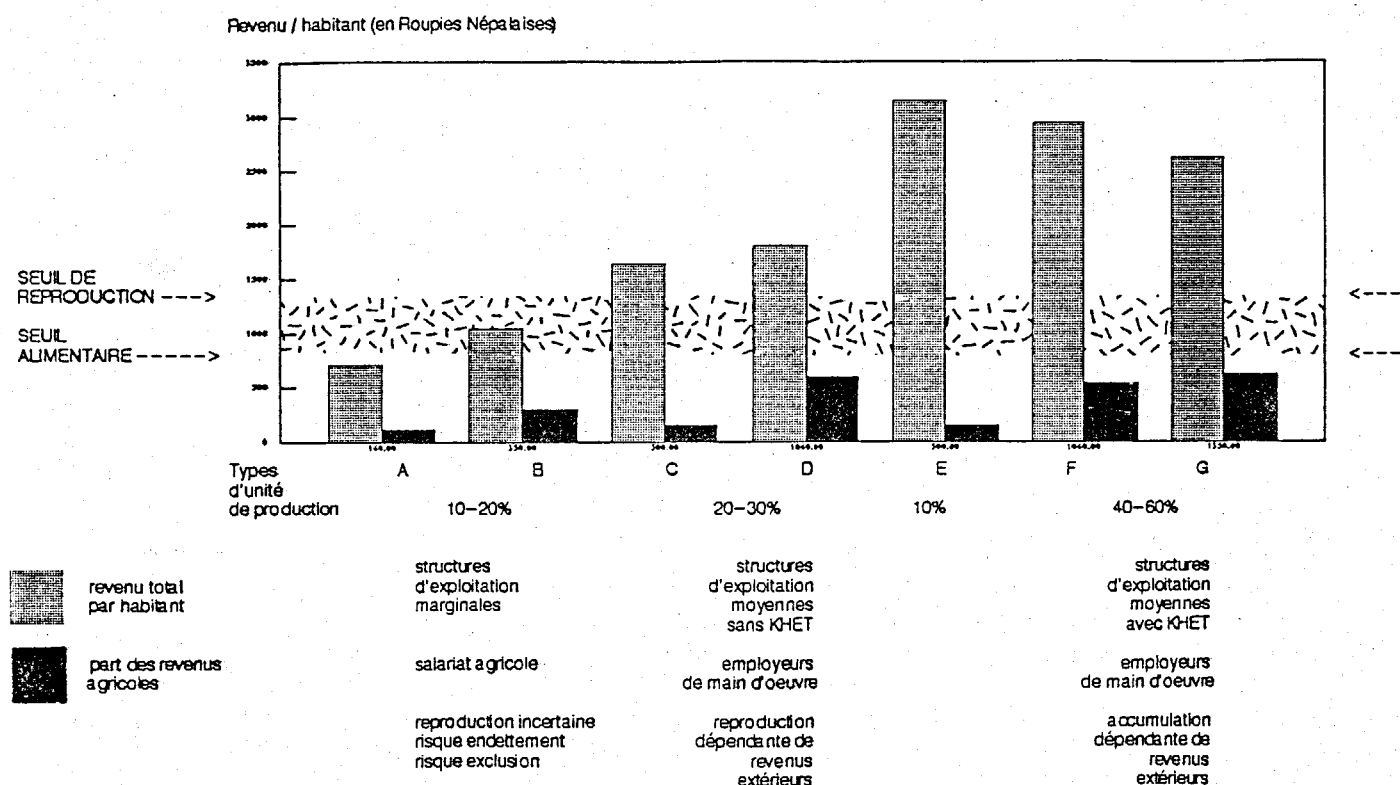


Figure 7 : Différenciation sociale entre unités de production suivant l'importance et la nature des revenus par habitant

Source: adapté de Ségala; Sibelet (1987)

3.2 Pour une prise en compte des stratégies des producteurs dans l'équilibre ressources/modes d'exploitation

On l'a dit, un équilibre relatif entre ressources et modes d'utilisation semble réalisé grâce à un ensemble de techniques et de pratiques bien adaptées et, fait remarquable compte tenu de la densité de population, sans que le potentiel du milieu soit particulièrement menacé. La question du contrôle de la charge animale est un bon exemple illustrant le degré d'interraction et la diversité des stratégies qui existent à l'intérieur du système. La place de l'élevage dans l'équilibre du système est primordiale par son rôle dans la reproduction de la fertilité des baris. Il est bien entendu nécessaire d'équilibrer la charge animale au niveau de chaque unité de production avec les ressources fourragères disponibles.

Une telle stratégie est adoptée par des exploitants relativement aisés qui cherchent ainsi à se dégager de la charge que représente l'affouragement des animaux non-productifs -- particulièrement génisses et femelles peu productives -- et ce: i) dans une optique à long terme, en optimisant véritablement la charge animale par rapport aux réserves fourragères de l'exploitation; et ii) dans une optique à court terme, en optimisant globalement le produit animal eu égard à la charge en travail que représente la conduite de l'élevage. Si on concevait maintenant une action incitative à l'élimination hors du système des animaux improductifs, on supprimerait du même coup aux populations les plus pauvres la possibilité de se constituer un petit troupeau. En effet les exploitants les plus démunis n'ayant pas d'élevage cherchent à prendre un animal en pension selon un contrat qui leur laisse la moitié du produit des mises bas: i) à court terme c'est donc un moyen de disposer de fumier; et ii) manquant de capital, c'est la perspective, à plus ou moins long terme de se constituer progressivement un petit troupeau.

Si les exploitants les plus aisés cherchent à rationaliser la taille de leur élevage, les plus démunis cherchent eux à constituer un petit troupeau. Compte tenu de la faiblesse des réserves fourragères de ce type d'unité de production, la conduite de ce petit troupeau tend naturellement à se faire aux dépens des espaces publics déjà surpâturés. On peut raisonnablement craindre que cette stratégie conduise à une augmentation massive du cheptel et une dégradation dramatique du milieu, cependant il semble encore une fois que la faiblesse des réserves fourragères disponibles et la charge en travail pour la surveillance et l'affouragement des animaux limitent très facilement toute velléité de capitalisation.

3.3 Pour une prise en compte des stratégies des producteurs dans l'équilibre population/production

On a vu par ailleurs que l'évolution des modes d'exploitation et, depuis une période récente l'accès à des revenus complémentaires, ont permis globalement un ajustement entre population et production. Ceci dit les situations individuelles très contrastées et très inégales témoignent de stratégies singulières qui parfois mettent en cause cet équilibre.

Un aspect qui peut être illustré est le cas des unités de production les plus démunies qui, pour compenser le manque de terre, en l'occurrence de baris, tendent à étendre leurs superficies cultivées aux dépens de terres en pente forte traditionnellement exploitées en khar. Cette mise en culture sans aménagement des pentes se traduit dès les premières saisons par une érosion linéaire qui à terme peut devenir potentiellement le point de départ d'une érosion en masse. Les propositions d'aménagement auront peu de prise car ces exploitants privilégient le court terme à défaut d'autres choix: i) leur disponibilité est faible car ils se salarient la majeure partie du temps pour survivre; et ii) leur sécurité foncière très incertaine, leur titre de propriété étant souvent aux mains d'un usurier. Ces unités de production, qui sont à la marge du seuil de reproduction, voient leur exclusion hors du système possible.

La question centrale de la reproduction de la fertilité des baris illustre aussi quelques aspects qui méritent d'être pris en compte. Dans la pratique, le fumier est récupéré dans une fosse peu profonde bordant l'étable. Les cendres et les déchets ménagers y sont généralement ajoutés. Fortement déshydraté au cours de la saison sèche, le fumier est transporté à dos d'homme dans des hottes et épandu lors de la reprise de la terre précédant les semis. La volatilisation excessive de l'azote et lessivage du potassium sont souvent mis en cause dans ce mode de compostage et de manutention. Face à ce constat s'impose naturellement l'idée d'empêcher la déshydratation du fumier pendant la saison sèche avant son incorporation. Notons cependant que: i) le point de départ de l'analyse est en fait l'hypothèse que l'azote est la contrainte essentielle, ce qui n'est pas prouvé; et surtout ii) cette analyse ne tient pas compte des conditions de manutention. A cet égard, la plupart des exploitants choisissent d'épandre le fumier en priorité sur les baris les plus proches de l'habitation -- où se trouvent l'étable et la fosse à fumier -- ce, au dépens d'une fertilisation limitée des baris plus éloignés. En résumé, la fabrication d'un compost déshydraté et la fertilisation différenciée des baris sont typiquement des exemples de stratégie des exploitants cherchant à optimiser la charge en travail. Dans ces conditions, des propositions d'amélioration auront sans doute plus de chance d'être adoptées au sein d'unités de production qui ont recours à un taux élevé de main d'oeuvre salariée.

3.4 Bilan

Quels enseignements peut-on en tirer? Au delà des questions d'ajustements entre population et production, les questions des revenus et de l'accès à ces ressources masquent en grande partie la thèse de la surpopulation et celle qui l'accompagne en matière de dégradation de l'environnement. Individuellement, la production agricole seule ne permet cependant plus la reproduction des unités de production même si globalement le système se reproduit.

Individuellement, c'est la sécurité foncière qui a été essentielle dans toutes les évolutions des modes d'exploitation étant donnée l'importance des investissements et des améliorations foncières réalisés. Aujourd'hui que la saturation foncière est totale, c'est la sécurité des revenus extra-agricoles qui est fondamentale à la survie des unités de production. Certains sont menacés d'exclusion du système dès lors

qu'ils n'ont plus une surface productive minimum -- par exemple suite à la perte de leur titre foncier par endettement --.

On peut encore insister sur le rôle capital joué par les revenus de la migration. D'une part, une proportion importante de ces revenus est renvoyée dans la zone et investie dans de la main d'oeuvre salariée et, d'autre part, cette main d'oeuvre assure ainsi grâce à ces salaires la survie de leurs familles et de leurs propres unités de production. L'interdépendance est donc extrême et les bénéfices mutuels. Mais les revenus de la migration n'assurent pas seulement la survie du système et des unités de production, autre fait remarquable, c'est que grâce à ce réinvestissement dans le paiement d'une main d'oeuvre, ils conditionnent véritablement le caractère très intensif de cette agriculture des collines et expliquent sa relative santé. On voit ici l'importance de la prise en compte de tels aspects dans le diagnostic d'un système!

4 CONCLUSIONS

Cette discussion, centrée sur la relativité des équilibres entre population, production et ressources, nous a amené à illustrer l'intérêt de différents niveaux d'approche qui dépassent la simple analyse de l'efficacité et de l'impact de modes d'exploitation et de techniques par rapport à la fragilité reconnue d'un milieu.

A cet égard, l'étude de l'évolution historique du système agraire constitue un objet privilégié de recherche pour comprendre la notion de reproduction du système. "Vit-il ou non au bord de la catastrophe ?" (Godelier, 1978). Est-ce que les conditions nécessaires à sa reproduction globale sont réunies ? Est-ce que certaines difficultés rendent sa reproduction aléatoire, notamment au niveau des capacités productives des terres (c'est-à-dire la prise en compte des systèmes de culture, de la gestion de la fertilité, mais aussi de la maîtrise de l'érosion), des moyens techniques (équipements, cheptel), de la force de travail, des capacités d'investissement, etc ?

Face à ces questions, l'analyse des pratiques et des changements de pratiques des acteurs constitue un autre objet privilégié de recherche pour comprendre la diversité de leurs situations et de leurs stratégies. Les questions posées de manière globale au niveau du système peuvent être à nouveau posées pour chacun des types d'unité de production -- à savoir "Vivent-ils ou non au bord de la catastrophe ?" --.

En conclusion, l'étude de cas présenté a montré que la croissance de la population ne joue pas forcément dans le sens d'une rupture d'équilibre avec le milieu, mais au contraire, peut dans certaines conditions favoriser l'évolution des modes d'exploitation vers des formes de plus en plus complexes et diversifiées, alliant une utilisation plus intensive mais aussi plus globale des ressources. L'humanité a en effet fait preuve d'une constante capacité de changer les données mêmes de son environnement en artificialisant ce milieu ou en adoptant/adaptant certaines technologies modifiant le rapport production/ressources. D'ailleurs, une étude comparée des systèmes agraires pour l'Afrique montre que l'augmentation de la densité de population est assez bien corrélée à l'intégration agriculture-élevage ainsi qu'à l'intensification dans les principales zones agro-écologiques tropicales (Tiffen et

al, 1994). Toutes ces évolutions se sont cependant faites au dépens: i) d'une inégalité croissante entre unités de production; et ii) d'une régulation du système autorisant l'exclusion de certains.

En guise de point final, on peut prétendre, à la lumière de cet exemple, que la croissance démographique, tout en faisant de la terre une ressource de plus en plus rare a réussi à en faire une ressource de plus en plus précieuse, dont le potentiel peut être conservé et développé non seulement grâce à un changement ou une adaptation des techniques, mais aussi grâce: i) à l'existence et à l'importance des revenus non-agricoles réinvestis dans la zone; ii) au développement local d'activités non-agricoles génératrices de revenus; iii) à des conditions du marché favorisant les prix à la production; iv) à la migration définitive de familles relativement aisées se réinstallant sur des terres vierges dans la sous-région (Téraï); et v) à la migration définitive de familles démunies exclues du système.

Comme on l'a vu, l'équilibre relatif entre système agraire, population et environnement n'implique pas une replication du système à l'identique, c'est au contraire un phénomène contradictoire et dynamique associant différenciation, croissance, développement (Barel, 1974), voire exclusion, et ce surtout si on se place au niveau de la diversité des unités de production.

RÉFÉRENCES

- Abington JB. *et al.* 1992. Sustainable livestock production in the mountain agro-ecosystem of Nepal. FAO animal production and health paper n°105. FAO, Rome.
- Boserup E. 1965. The conditions of agricultural growth: the economics of agrarian change under population pressure. 124 p. Earthscan publications limited, London.
- Carson B. 1992. The land, the farmer, and the future: a soil fertility management strategy for Nepal. ICIMOD occasional paper n°21, 74 p. ICIMOD, Kathmandu.
- Chambers R. 1990. Microenvironments unobserved. Gatekeeper series n° 22, 16 p. IIED, London.
- Chanteau JP.; Le Bras H. 1993. 5,5 milliards d'humains. *in Courrier de la Planète n°13 (Janvier 1993)*, pp. 21-31. Paris.
- FAO; FNUAP; IIASA. 1984. Capacités potentielles de charge démographique des terres du monde en développement. Rapport technique du projet FPA/INT/513, 141 p. + cartographie. FAO, Rome.
- Gras R.; Benoit M.; Deffontaines JP.; Duru M.; Lafarge M.; Langlet A.; Osty PL. 1989. Le fait technique en agronomie: activité agricole, concepts et méthodes d'étude. Collection alternatives rurales, 183 p. INRA/L'harmattan, Paris.
- Keer J.; Sanghi NK. 1992. Indigenous soil and water conservation in India's semi arid tropics. Gatekeeper series n°34, 28 p. IIED, London.
- Mazoyer M. 1991. Les inégalités de développement agricoles dans le monde: origines, mécanismes de reproduction et conséquences. Série dossier n°22, 19 p. Centre Sahel, Université Laval.
- Mazoyer M. 1977. Evolution et différenciation des systèmes agricoles d'exploitation de la nature. *in Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée n°24 (2-3)*, pp. 267-275. Paris.
- Ségala F. 1994. De l'utilisation optimale à la gestion durable des terres. *in Actes du séminaire de démarrage du projet "Gestion des ressources naturelles"*. Communication, 8 p. Projet UTF/TUN/021/TUN, Tunis.
- Ségala F.; Sibelet N. 1988. Méthodologie d'analyse des systèmes agraires au service du développement. Document de travail, 29 p. INRA/CNRS, Versailles.
- Ségala F.; Sibelet N. 1987. Au Népal, du riz dans les bagages du migrant: essai de typologie de fonctionnement des exploitations agricoles de deux villages des moyennes montagnes du Népal, Jubhung et Darbar Devasthan - District de Gulmi. Mémoire, 112 p. + annexes. INRA/CNRS, Versailles.
- Tamang Devika. 1993. Living in a fragile ecosystem: indigenous soil management in the hills of Nepal. Gatekeeper series N°41, 21p. IIED, London.
- Tiffen M.; Mortimore M.; Gichuki F. 1994. More people, less erosion: environmental recovery in Kenya. 311 p. Wiley Ed., West Sussex.
- Yung JM.; Zaslavsky J. 1992. Pour une prise en compte des stratégies des producteurs. Document systèmes agraires n° 18, 72 p. CIRAD, Paris.

ENVIRONNEMENT HISTOIRE DE L'EROSION DES SOLS DANS LES ANDES D'EQUATEUR

G. De Noni et M. Viennot

Centre ORSTOM, BP 5045, Montpellier F 34032, France

RESUME

L'état d'équilibre entre l'homme et le milieu, qu'avaient su créer les sociétés pré-coloniales, n'a duré qu'un temps. Par la suite, l'environnement historique a pesé lourdement sur l'instabilité des paysages. Les contrecoups, en premier lieu de la conquête espagnole, puis ceux de la réforme agraire qui n'a pas répondu à l'attente du petit paysannat ("minifundio"), en forte expansion démographique au cours des trente dernières années, ont conduit à une utilisation mal maîtrisée de l'espace agricole et à une accélération spectaculaire de l'érosion des sols arables, principalement dans la région andine du pays ("Sierra"). La prise en compte de l'environnement historique, au même titre que l'environnement naturel, est indispensable pour comprendre l'évolution de la situation érosive de ce pays.

INTRODUCTION

A l'échelle du continent sud-américain, l'Equateur est un petit pays de 270.670 km² qui se caractérise par l'abondance et la richesse de ses ressources naturelles renouvelables, dûes en particulier à sa situation équatoriale et à la présence de la cordillère volcanique des Andes. Il en résulte que la gamme des climats est très étendue sur de courtes distances et que les sols présentent globalement un potentiel agricole élevé.

Très tôt, l'homme a su tirer profit de ces conditions favorables et a développé une agriculture florissante qui se distinguait par des productions d'une remarquable diversité où alternaient produits tropicaux et tempérés.

Cependant cet état d'équilibre entre l'homme et le milieu n'a duré qu'un temps et, par la suite, la mise en valeur agricole du pays s'est accompagnée d'une accélération spectaculaire de l'érosion des sols arables qui a affecté principalement la région andine du pays appelée localement "Sierra". Ce phénomène est devenu virulent à partir de la conquête espagnole et a donné lieu à des dégradations irréversibles contre le patrimoine écologique et à de graves pertes économiques (G. De Noni, 1986). Des modifications notables sont intervenues sur le modelé des versants, sur la composition physico-chimique des sols et aussi sur les conditions de vie des agriculteurs. Plus près de nous, les répercussions de la réforme agraire, elle-même alimentée par une population paysanne en forte progression démographique, ont conduit l'homme à forcer la nature pour valoriser les fortes pentes andines et à amplifier les risques d'érosion. La couche sociale la plus touchée par ce phénomène est le petit paysannat ("minifundio") qui regroupe le plus grand nombre d'agriculteurs et dont près de 70% des terres cultivées ont moins de 5 hectares de superficie.

1) LES PRINCIPALES MANIFESTATIONS DE L'ÉROSION AGRICOLE

De 1974 à 1984, l'inventaire cartographique des ressources naturelles renouvelables de l'Équateur mené par le M.A.G. et l'ORSTOM a donné lieu à l'élaboration de plusieurs centaines de cartes thématiques: morpho-pédologiques, utilisations actuelles du sol, hydro-climatiques...etc. Une analyse plus fine de ces documents montre en fait que l'érosion est particulièrement active aux dépens des sols agricoles. La carte des "Principaux processus d'érosion en Équateur" (G. Almeida, G. de Noni et al., 1984), qui est en partie une synthèse cartographique des documents précédents, corrobore globalement cet aspect. Si on la superpose à une carte d'utilisation des sols, on constate qu'il y a une identification presque parfaite entre zones érodées et zones cultivées ou abandonnées. Par ailleurs, on constate que la "Sierra" est bien la région la plus affectée par ce phénomène. Cette carte permet d'apprécier que globalement 50 % de la superficie du pays sont affectés par des processus de dégradation. Les Andes sont la région la plus dégradée: 15% environ des terres érodées se trouvent dans le bassin inter-andin (1500-3000 m); les 35 % restants coïncident avec les hautes terres et les flancs extérieurs de la Cordillère andine et affectent aussi, avec un moindre degré d'intensité, les régions côtière et amazonienne. Dans ces deux régions, l'érosion représente un danger à caractère potentiel et localisé. En effet, sur la Côte ainsi que dans la province insulaire des Galapagos, l'érosion est globalement discrète. Les provinces de Manabí et Esmeraldas sont les plus affectées: mouvements de masse discontinus liés aux pâturage localement associés à des phénomènes de gravité sur les rebords des "mesas". En Amazonie, on n'observe que de façon exceptionnelle des manifestations érosives; par contre, l'intensité des phénomènes chimiques peut faire craindre qu'à terme une érosion classique puisse s'y développer.

Dans la Sierra, l'érosion est essentiellement d'origine hydrique et intervient de façon très active durant la période de culture, soit 9 mois de l'année de septembre à mai. Les principales manifestations sont les suivantes (G. De Noni, 1982):

- Le ruissellement diffus et concentré : c'est le type de processus le plus généralisé tout au long du bassin inter-andin, à exception de la zone de Cuenca, quelle que soit l'origine géologique des sols. Les paysages soumis à ces processus présentent des sols peu épais aux horizons tronqués et griffés par des formes d'érosion en rigoles, ravines et ravins.

Les études réalisées sur parcelles ont montré que l'intensité minimale de pluie nécessaire pour engendrer ce type de processus est de l'ordre de 10-15 mm/h. A partir de 10-20% de pente et dans la mesure où les hauteurs pluviométriques le permettent, les effets du ruissellement concentré deviennent exclusifs et s'impriment d'une manière spectaculaire sur les versants. En fonction des conditions de cohésion et de granulométrie du matériel, les ravins et les ravines présentent des profils transversaux en forme soit de U, soit de V. Rapidement, ces formes linéaires évoluent en "bad-lands".

- Le ruissellement associé à de petits mouvements en masse: ce processus est significatif des sols qui présentent une discontinuité texturale à faible profondeur. Par exemple, dans la partie nord (Provinces de Carchi et Pichincha) et centrale (Province de Chimborazo) de la Sierra, il existe une cendre volcanique argileuse de couleur noire qui fossilise un autre type de cendre très indurée, limono-sableuse ("cangahua"). Le glissement de la cendre argileuse sur la "cangahua" donne lieu à la formation de petits abrupts d'érosion. Ces derniers évoluent très rapidement jusqu'à atteindre un commandement de l'ordre de 3 à 5 mètres, grâce à l'action complémentaire du ruissellement. Ce type de processus associés commence à se manifester à partir de 15-20% de pente.

- Les mouvements en masse : Ils sont localisés dans le bassin de Cuenca, plus précisément au Nord de celui-ci dans la zone de Cumbe. L'érosion se manifeste ici par des loupes et des niches de solifluxion qui se développent sur des reliefs collinaires et sur des sols argileux non volcaniques,

de couleur rose et rouge. Le profil topographique des versants est irrégulier et l'aspect d'ensemble du paysage est moutonné.

2) L'INFLUENCE DE L'ENVIRONNEMENT HISTORIQUE

Il est courant de vanter les réalisations agricoles des sociétés andines précoloniales dans les manuels de conservation des sols: par exemple, les ouvrages de type "terrasse", qui permettent une utilisation de l'eau d'irrigation sur fortes pentes ainsi qu'un contrôle des pertes en terre, continuent à être considérés par les agronomes du XX^{ème} siècle comme des modèles de référence pour l'agriculture de montagne. Ces ouvrages sont relativement nombreux dans la "Sierra" équatorienne: dans la partie septentrionale de celle-ci, P. Gondard et F. Lopez (1983) ont identifié 47 sites de terrasses; R.A. Donkin (1979) rapporte également la présence de terrasses précoloniales dans les provinces serréniennes du Sud (Chimborazo, Canar et Azuay). Cependant, il est paradoxal de constater que ces ouvrages ne sont pas utilisés actuellement. Ce ne sont plus que des vestiges, témoins d'une époque florissante, qui sont progressivement détruits et abandonnés.

Au même titre que les facteurs physiques du milieu, l'environnement historique a pesé lourdement à travers les siècles sur l'évolution des paysages. La logique actuelle du paysan andin s'est transformé et est différente de celle du paysan qui vivait à l'époque précoloniale.

2.1) L'ENVIRONNEMENT HUMAIN DE L'EROSION A L'EPOQUE PRE-COLONIALE

Durant les 1000 ans qui précèdent la conquête espagnole, l'agriculture connaît un développement spectaculaire (période dite de "l'intégration", de 500 à 1500 après Jésus-Christ). La "Sierra" constitue le lieu privilégié de cette évolution parce que les conditions climatiques du milieu y sont moins difficiles que dans les deux régions tropicales bordières et aussi parce que la montagne offre de nombreux sites de défense. Ce développement agricole s'est caractérisé par l'augmentation et la diversification des productions ainsi que par l'utilisation de pratiques culturelles adaptées aux fortes pentes. En Equateur, la présence des Incas a été de courte durée: entre 1450, colonisation par ceux-ci du royaume "Canari", et 1534, conquête de Quito par l'espagnol S. de Benalcazar. En fait, les Incas ont conquis un territoire dont le sol arable avait déjà été mis remarquablement en valeur par d'autres sociétés: parmi celles-ci, on peut citer la confédération des "Quitus-Caras" (Provinces actuelles de Carchi, Imbabura, Pichincha et Cotopaxi), les "Puruhaes" (Province de Chimborazo) et les "Canaris" (Provinces de Canar et Azuay). A ce propos, J. Murra (1978) note que: "les techniques agricoles que les Incas utilisèrent et développèrent étaient connues depuis déjà plusieurs siècles et rien ne permet d'affirmer qu'ils aient cultivé de nouvelles espèces ou employé de nouveaux instruments. Le grand changement réside surtout dans l'organisation sociale, économique et politique". En effet, les Incas ont voulu dominer une partie de l'espace andin, depuis l'extrême Sud péruvien jusqu'à l'Equateur, par l'occupation rigoureuse des contrées conquises et par la maîtrise de leurs productions agricoles. W. Prescott (1847) relate que "les Incas adaptaient les cultures aux caractéristiques et capacités physiques des terres pour pouvoir réaliser des échanges entre produits différents avec les provinces voisines, obtenant ainsi une grande variété de production agricole". Pour cela, les Incas ont favorisé les déplacements massifs de population d'une région à une autre (système des "mitimaes") afin d'assurer une bonne cohérence entre les densités régionales et une productivité soutenue à l'agriculture. A ce propos, P. Cieza de

Leon (1967) rapporte: "il existait de nombreux mitimaes..... ces gens étaient envoyés dans les montagnes des Andes pour planter du maïs et de la coca et pour profiter des arbres fruitiers et alimenter ainsi les nombreux endroits qui manquaient de produits à cause du froid et de la neige".

Les grands traits de cette agriculture précoloniale sont les suivants:

- Des productions agricoles diversifiées, avec rotations et associations de cultures.

Face à un milieu montagnard contraignant et à une population déjà nombreuse, les agriculteurs de cette époque ont su créer une agriculture de montagne prospère: "il y avait dans ce royaume, au temps des Incas, très peu de terres qui, paraissant fertiles, étaient désertes bien au contraire tout était très peuplé, comme le constatèrent les premiers chrétiens qui y entrèrent..... Ils transformaient les terres stériles en zones fertiles dans de nombreux endroits" (Cieza de Leon, 1967). Pour cela, les groupes humains ont profité au maximum de la gamme étendue de micro-climats qui se succèdent sur de courtes distances. U. Oberem (1981) utilise le terme "micro-verticalité" pour définir cette utilisation agricole du sol en fonction de l'étagement altitudinal. Chaque étage écologique est utilisé pour une culture spécifique: par exemple, l'étage du maïs entre 2000 et 3000m et celui de la pomme de terre au-dessus de 3200m. En outre, plusieurs variétés d'une même espèce étaient semées "pour garantir la récolte, car certaines espèces supportaient mieux le froid, d'autres la grêle et d'autres la sécheresse ou les parasites" (J. Ramon et M. Lopez, 1981). Enfin, ils utilisaient l'étage le plus haut comme pâturage d'altitude pour les lamas, à la fois animal de trait et de boucherie, dont les conditions de résistance au milieu sont remarquables: "la constitution de l'estomac de cet animal est comme celui du chameau de telle sorte qu'il n'a pas besoin d'ingurgiter de l'eau durant des semaines et voire des mois" (W. Prescott, 1847).

Par ailleurs, ces sociétés avaient compris, semble-t-il, l'intérêt des rotations et associations de cultures pour préserver la richesse des sols. Pour maintenir de bons rendements, le maïs, qui était considéré comme la culture principale objet de rites religieux voués au dieu "Soleil", était très souvent associé à d'autres cultures qui sont d'excellents engrais verts comme par exemple les haricots et la quinoa (*Chenopodium quinoa*). La rotation des cultures était également de règle. Après deux ou trois récoltes, les terres agricoles étaient mises en période longue de jachère, jusqu'à dix ans parfois. R.A. Donkin (1979) rapporte que dans l'étage froid l'association de tubercules - pommes de terre, oca (*Oxalis tuberosa*) et Ullucu (*Ullucus tuberosus*) - sont remplacées par d'autres variétés de quinoa et par la canahua (*Chenopodium pallidicaule*).

Quant aux zones forestières, "les moyas", elles étaient l'objet d'une législation rigoureuse pour la coupe du bois.

- Le contrôle de l'eau et de l'érosion. Ce contrôle était assuré principalement par l'édification de terrasses de culture ("andenes") évoquées précédemment. A ce propos, W. Prescott (1847) fait la description suivante: "sur pentes faibles, les andenes pouvaient atteindre cinquante, cent voire deux cents pieds de large..... ils se rétrécissaient considérablement à trois ou quatre pieds de large sur les pentes raides et parfois moins que cela dans les secteurs les plus escarpés..... les talus étaient composés par des pierres sèches qui s'ajustaient les unes aux autres à la perfection". "Tous les terrains montagneux sont modelés en forme d'escaliers de pierre" note dans ces écrits de conquête F. Pizarro (in R.A. Donkin, 1979): ce type d'aménagement de versant démontre pour l'époque une maîtrise remarquable de l'homme sur le milieu montagnard, non seulement pour freiner les effets de l'érosion mais aussi pour utiliser l'eau d'irrigation. En effet, les "andenes" étaient souvent pourvus d'un réseau de canaux d'irrigation. Ces canaux étaient alimentés par des rivières, des lacs voire même des sources thermales et avaient donné lieu à des travaux gigantesques: "ils exploitent au maximum l'eau des rivières, irriguant ainsi un grand nombre de terres et les travaux de creusement des canaux étaient les plus grandioses et admirables qui existaient sur ce continent parce qu'ils avaient été réalisés sans outil spécialisé" (P. Barnabé Cobo, 1956)). "Les canaux pouvaient mesurer jusqu'à 120 lieues de long, environ 600km" (J. Murra, 1978).

- L'utilisation des engrais. "La taille du maïs à la récolte dépendait de l'emploi du guano, transporté dans la Sierra à dos de lama, mais aussi de l'utilisation d'excréments humains séchés et pulvérisés" (Cieza de Leon, 1967). Les agriculteurs de l'époque utilisaient également pour amender les champs des têtes de poissons séchés et n'hésitait à charrier des volumes considérables de terre pour enrichir les sols: "certaines montagnes étaient si rocheuses que les Incas se virent obligés, après avoir construit les terrasses, de les doter d'une couche épaisse de terre avant de pouvoir les cultiver" (W.H. Prescott, 1847).

2.2) L'ENVIRONNEMENT HUMAIN DE L'EROSION A L'EPOQUE POST-COLONIALE

La conquête espagnole puis plus récemment les contrecoups de la réforme agraire et du "boom" démographique constituent les principales causes historiques de l'érosion des sols agricoles dans la "Sierra" de l'Equateur.

- La conquête espagnole.

Parmi les nombreux effets qu'elle provoque sur les conditions de vie de la population indigène, on ne retiendra que quelques aspects qui ont contribué à modifier l'organisation et le fonctionnement des paysages agraires. Ce sont essentiellement :

- La mise en place de la structure de l'hacienda.

Les Espagnols développent un processus de regroupements forcés des indigènes en un même lieu. C'est le système de "l'encomienda" qui donnera naissance plus tard à "l'hacienda". Les indigènes sont assujettis à "un maître", ils constituent une main-d'oeuvre servile et aisément contrôlable: "en même temps que les espagnols étendent leur domination spatiale, ils regroupent, comme du bétail, sur les terres conquises et devenues propriétés privées des familles d'indigènes pour travailler les champs et servir les maîtres" (G. Rubio Orbe, 1987). L'exploitation des terres se concentrent dans les bassins et vallées andines (1500-300m). L'utilisation "micro-verticale" des versants et le système équilibré des "mitimaes" sont totalement abandonnés.

- L'agriculture castillanne.

Le but initial des conquistadors n'était pas de conquérir des terres agricoles. Leur mission était d'exploiter les ressources minières, en particulier les gisements aurifères de ce nouveau monde ("el Dorado"), afin d'enrichir la couronne d'Espagne. Après quelques tentatives de prospection et d'exploitation de l'or peu fructueuses dans la Sierra de l'Equateur (Cuenca, Gualaceo) et dans la zone de piedmont andin (Zaruma, Zamora et Macas), ils délaissèrent progressivement ce type d'activité et décidèrent de se consacrer principalement à l'agriculture qui offrait dans ce pays des conditions naturelles de fertilité remarquables: "les personnes, qui avaient été reconnues aptes pour le service des armes et qui étaient volontaires pour une affectation de 5 ans dans la république de l'Equateur, recevront à la fin de leur mission 10 fanègues (1 fanègue = 64.6 ares) de terre en propriété perpétuelle, une paire de boeufs et une vache"(A. Gimeno, 1974). Pour cela, ils ont imposé sans restriction l'agriculture castillanne. Cette mutation sans précédent s'est opérée fondamentalement dans les trois domaines suivants:

+ Introduction de nouvelles cultures. Ils implantent en grandes quantités des cultures provenant d'Espagne. On peut mentionner: les arbres fruitiers (agrumes, pommes, pêches, abricots, vigne), les cultures maraichères (choux, oignons, carottes, salades, petits pois...etc) et les céréales (blé, orge et avoine).

+ Développement de l'élevage. L'activité pastorale se développe d'une manière spectaculaire grâce à l'introduction d'animaux inconnus jusqu'alors dans ces contrées. Les nouveaux cheptels (bovins, ovins, porcins, chevalins) croissent rapidement: au début du XVIIème siècle, on estime qu'il y a environ 2.000.000 de têtes de moutons entre Ibarra et Alausi. En plus de la production de viande et de lait, l'élevage donnera naissance à une activité textile prospère (les "obrajes").

+ Utilisation de nouvelles pratiques agricoles. Parmi celles-ci, l'utilisation à outrance de la traction animale pour les labours constitue une méthode de travail du sol très différente de celle préconisée par les sociétés précoloniales: pour celles-ci "labourer la terre était la plus grosse tâche à accomplir, ce travail se réalisait dans le cadre d'un système totalement communautaire avec des groupes d'hommes qui soulevaient les mottes de terre et de femmes qui étaient chargées de les écraser au rythme des chansons" (W. H. Prescott, 1847)....."l'emploi de la tacla (bâton en bois incurvé) permettait de soulever les mottes de terre puis de les écraser..... la structure du sol était peu altérée, sinon sur les 15 premiers centimètres" (O. Dollfus, 1981). Désormais grâce à la traction animale, une seule personne peut diriger des labours profonds en un temps minimum, ce qui s'oppose radicalement aux pratiques communautaires, manuelles et à ras du sol des sociétés précoloniales.

- La réforme agraire.

Le recensement de 1954, avant la réforme agraire, permet d'apprécier que les grandes propriétés (plus de 50 ha), les "haciendas", héritées du système de "l'encomienda", représentaient moins de 3% des exploitations agricoles et possédaient plus de 70% des terres. Elles utilisaient une importante main-d'oeuvre servile, "le huasipungo", dont le genre de vie n'avait guère évolué depuis la conquête, et qui avait le droit de cultiver un petit lopin de terre moyennant 4 à 6 jours de travail pour le compte de "l'hacienda". Ce petit paysannat, refoulé dans des conditions de vie très précaire, formait une sous-structure de l'hacienda, le "minifundio".

Le 11 Juillet 1964, le gouvernement militaire expédie la loi de réforme agraire qui abolit les liens séculaires de dépendance entre patrons et main-d'oeuvre d'haciendas et qui oblige les propriétaires à céder une partie de leurs domaines aux "huasipungeros". Il peut sembler paradoxal qu'une dictature militaire ait pris l'initiative d'une telle réforme qui devait en principe modifier radicalement la vie sociale des campagnes. En fait, ce sont les grands propriétaires terriens qui ont été à l'origine de la transformation de ce système qui paraissait inamovible depuis près de quatre siècles; d'une part pour moderniser les structures de production des haciendas et d'autre part pour éviter d'être confrontés à des troubles sociaux conduits par les "huasipungeros" et qui paraissaient incontournables à court terme..

Dans la pratique, les résultats sont extrêmement décevants pour les "ex-huasipungeros". Bien qu'ils soient désormais libres et propriétaires, ils se trouvent confrontés à des terrains difficiles à valoriser pour l'agriculture : exiguité des parcelles, topographie accidentée, climat froid. La réforme agraire provoque rapidement une miro-parcellisation de l'étage haut (3200-3800m) des haciendas, inculte jusqu'alors. En général, les parcelles sont inférieures à 5 ha, la moyenne se situant entre 1 et 3 ha. O. Barsky et al. (1980), dans leur étude sur le minifundio, rapporte que sur les terres situées dans le domaine de Pitana et Porotog, au Nord de Quito, ".... les nouveaux agriculteurs cultivent de l'orge, du blé, des pommes de terre, des fèves...etc, 85% de la production est destinée à la consommation familiale. Un excédent infime est commercialisé"

Dans son analyse du petit paysannat de la Sierra de l'Equateur, R. Santana (1983) relate l'exemple de la région de Cangahua, à 50 km environ au Nord de Quito. La réforme agraire entérine l'accession à la propriété "d'ex- huasipungeros" sur des terres en fortes pentes, situées entre 3600-3800m. Les conditions naturelles difficiles et l'exiguité des terres octroyées se révèle rapidement un facteur limitant de premier ordre pour alimenter toute la famille. Le paysan est obligé d'utiliser très intensivement le sol et de "forcer" la nature. La conséquence directe est l'accélération de l'érosion: en 25 ans, la presque totalité de la couche arable a disparu.

Enfin, E. Bonifaz dans son étude des "Indigènes des hautes terres d'Equateur" (1982) est encore plus radical dans ces commentaires en mettant en relation directe l'accroissement en surface du "minifundio" et l'aggravation des phénomènes d'érosion: "...le minifundio accélère l'érosion à cause des labours sur fortes pentes..... à mesure que les terres s'érodaient, les cultures et l'habitat indigène se déplaçaient vers les hautes terres à la recherche de sols moins érodés, de telle sorte qu'ils sont arrivés actuellement à la limite supérieure d'altitude de l'agriculture. On cultive jusqu'à 3700m voire me_ ^me 3900m; à cette altitude la récolte se fait attendre pour le moins durant 11 mois".

- Le boom démographique.

Le boom démographique commence à se manifester à la fin du siècle dernier et ses effets se poursuivent actuellement. Comme les autres pays latino- américains, l'Equateur possède une population jeune qu'atteste la base très élargie de la pyramide des âges où le taux de fécondité prend le pas sur celui de mortalité (améliorations générales des conditions de vie et progrès médicaux essentiellement).

Au début du XVII ème siècle, le pays comptait environ 150.000 habitants. En un siècle, de 1780 à 1886, le rythme de croissance de la population s'accélère et celle-ci passe de 500.000 à 1.000.000 d'habitants. De 1886 jusqu'à nos jours, se produit le temps fort du boom démographique: en 1989, la population dépasse légèrement les 10.000.000 d'habitants, elle a été multipliée par 10!! Ce phénomène a été particulièrement marqué dans les campagnes: "la redistribution des terres n'a pas diminué l'importance du minifundio. Bien au contraire, la croissance démographique a aggravé la situation, entre 1954 et 1974, le nombre de propriétés de moins de 5ha a cru de 37%" (O. Barsky et al., 1980); "l'explosion démographique a accentué la division de la terre et l'apparition du minifundio avec des surfaces cultivables de moins de 1 hectare" (E. Bonifaz, 1982).

Au cours des siècles, s'amorce progressivement la redistribution de la population sur le territoire: jusqu'en 1780, la Sierra est 10 fois plus peuplée que la Côte; entre 1886 et 1941, la population de la Sierra n'est plus que le double de celle de la Côte. En 1974, pour la première fois, la population de la Côte dépasse celle de la Sierra. Cette évolution est moins marquée du côté amazonien et n'a commencé que tardivement avec l'ouverture des routes pour l'exploitation du pétrole. Cette nouvelle redistribution de la population peut laisser craindre, à court terme, une aggravation de l'érosion à l'échelon national.

CONCLUSION

L'érosion des sols agricoles constitue l'un des traits majeurs de dégradation des ressources naturelles renouvelables en Equateur. La prise en compte de l'environnement historique, au même niveau que l'environnement naturel, constitue un recours indispensable pour analyser l'évolution de l'érosion agricole dans ce pays et pour apprécier les principaux éléments qui sont à l'origine de la

rupture entre les traditions agricoles ancestrales et l'agriculture d'aujourd'hui. Cette situation n'est pas seulement spécifique à l'Équateur; elle se retrouve là où les populations sont confrontées à une difficile maîtrise de l'érosion: "il n'existe pas au monde de région où l'utilisation agricole des sols n'occasionne quelque érosion.... la réelle modération de certains climats n'a jamais empêché, ici ou là, l'érosion de s'accélérer. Il s'agit bien plutôt de contrées dont les populations ont acquis, plus ou moins facilement, plus ou moins complètement, la maîtrise de la dynamique que met en marche leur intervention dans le fonctionnement de la biosphère" (R. Neboit, 1983).

BIBLIOGRAPHIE

- Almeida (G.), De Noni (G.), Nouvelot (J.F.), Trujillo (G.), Winckell (A.), 1984.- Los principales procesos erosivos en Ecuador, PRONAREG - PRONACOS - ORSTOM, Quito, 31p., avec une carte du pays (2 couleurs) à l'échelle de 1/1000.000.
- Barsky (O) et al., 1980. - Ecuador: cambios en el agro serrano, FLACSO-CEPLAES, Quito, 531 p.
- Barsky (O), 1984. - La reforma agraria ecuatoriana, FLACSO, Quito, 406 p.
- Barnadé Cobo (P), 1956. - Historia del nuevo mundo (1653), Biblioteca de autores españoles, t.XII - cap. 18, Ad. Atlas, Madrid, p. 121.
- Bonifaz (E), 1982. - Los indígenas de altura del Ecuador, Publitecnica (quatrième édition), Quito, 260 p.
- Cieza de Leon (P.), 1967. - El señorío de los Incas, Instituto de Estudios peruanos, Lima.
- Chiriboga (M), 1986. - Del indigenismo a las organizaciones indígenas, Collection Ethnos, Quito, p. 179.
- De Noni (G.), 1982.- Análisis cualitativo de tres procesos de erosión en la Sierra volcánica del Ecuador, CEDIG-ORSTOM, Documentos de investigación N° 2, Quito, p.39-54.
- De Noni (G.), 1986.- Breve visión histórica de la erosión en el Ecuador, CEDIG-ORSTOM, Documentos de investigación N° 6, Quito, p. 15-23.
- De Noni (G.), Trujillo (G.), Viennot (M.), 1986.- L'érosion et la conservation des sols en Equateur, Cah. ORSTOM, sér. pédol., vol. XXII, n° 2, p. 235-245.
- Dollfus (O), 1981. - El reto del espacio andino, IEP, Lima, 141 p.
- Donkin (R.A.), 1979. - Agricultural terracing in the aboriginal new world, Viking fund publications in anthropology, Arizona, 196 p.
- Gondard (P.) et Lopez (F.), 1983. - Inventario arqueológico preliminar de los Andes septentrionales del Ecuador, PRONAREG-ORSTOM-Banco Central, Quito, 274 p.
- Jimenez de la Espada (M.), 1965. - Relaciones geográficas de Indias, Biblioteca de autores españoles, Perou, p. 221.
- Murra (J.), 1978. - Organización económica del estado Inca, Siglo XXI, Mexico, p. 62.
- Neboit (R.), 1983. - L'homme et l'érosion, Faculté des lettres et sciences humaines de l'Université de Clermont-Ferrand II, fasc. 17, Clermont-Ferrand, 183 p.
- Oberem (O), 1981. - El acceso a recursos naturales de diferentes ecologías en la Sierra ecuatoriana (siglo XVI) como contribución a la ethnohistoria ecuatoriana, Pendoneros, Otavalo, 406 p.
- Perez (A.), 1947. - Las mitas en la real audiencia de Quito, Ministerio del Tesoro, Quito, p. 67.
- Prescott (W.), 1847. The conquest of Peru, 2 volumes, New York, 211 p.
- Ramon (J.) et Lopez (M.), 1981. - La agricultura de los Andes ecuatorianos, comunidad andina, alternativas políticas de desarrollo, CAAP, Quito, p. 3.
- Santana (R.), 1983. - Campesinado indígena y el desafío de la modernidad, CAAP, Quito, 209 p.

IMPACT DE L'HOMME SUR L'EROSION

DES SOLS A "TEPETATE" DE

LA REGION DE MEXICO

Paul Quantin et Claude Zébrowski ¹

¹ ORSTOM, 32, Avenue Henri Varagnat, 93143 BONDY Cedex

INTRODUCTION

Les "tepetates" sont des horizons indurés de tufs volcaniques, qui affleurent en surface après érosion du sol meuble superficiel. Ces formations sont très étendues dans les régions agricoles du Haut-Plateau Central Mexicain. Elles s'observent notamment sur les piémonts des sierras volcaniques récentes, telle la Sierra-Nevada, qui entourent les vallées de Mexico, Puebla, Tlaxcala, Toluca et Cuernavaca. Un tepetate est en fait un tuf pyroclastique fin, altéré à la base d'un sol, de composition rhyolitique ou dacitique. On en observe au moins trois séries dans les sols de cette région, dont l'âge du dépôt varie de 10 000 à plus de 20 000 ans ; les trois paléosols correspondants (et superposés) sont recouverts par le sol actuel formé à partir des dépôts holocènes de cendres dacitiques du Popocatepetl. Les tepetates ont une consistance friable de "fragipan" quand ils sont argilifiés et un peu imprégnés de gel siliceux, ou dure d'horizon "pétrocalcique" s'ils sont encroûtés de calcaire. Le premier type est le plus étendu et le plus cultivé. La présence de tepetates sur les piémonts est en relation avec une zone climatique subhumide à subaride (900 à 600 mm de pluie) entre 2 800 et 2 300 m d'altitude. Cette zone est marquée par une saison sèche d'environ six mois ; ce qui a laissé supposer une influence pédo-climatique sur leur formation. En fait la pédogénèse n'a fait que se surimposer à la formation d'un tuf et en conforter l'induration (Peña et Zébrowski 1992 - Quantin et col. 1992). C'est la combinaison d'un climat à longue saison sèche, dont les pluies sont particulièrement érosives, et la présence des tufs, qui sont à l'origine de l'affleurement des tepetates, surtout à la suite de leur mise en culture.

Les piémonts de l'Altiplano mexicain sont cultivés depuis au moins 3 600 ans BP (O'Hara et al. 1993). Mais le mode de culture, l'intensité et la densité de l'exploitation agricole ont varié au cours des trois derniers millénaires, surtout depuis la conquête espagnole. Une surexploitation des sols ou leur mésusage (sans ouvrage de conservation) est certainement la cause de l'érosion et de l'affleurement des tepetates. Ceux-ci se comportent en matériau stérile dont la surface reste nue tant que des techniques de réhabilitation en sol agricole ne sont pas employées. Il s'agit donc d'un effet désastreux de l'érosion "anthropique". Mais il est heureusement réversible.

Une controverse oppose les tenants d'une érosion récente, initiée depuis la conquête espagnole (Aliphath et Werner 1994) et conséquence d'une inadéquation des nouvelles méthodes de gestion des sols, aux tenants d'une érosion préhispanique, qui est corrélée à une forte densité de population et à une intensification de l'agriculture (Garcia Cook, 1978). En fait la question est de savoir si l'érosion a pu se développer périodiquement, autant à l'époque préhispanique qu'aux époques coloniale et moderne, suivant l'évolution des sociétés rurales, de différents facteurs socio-économiques et éventuellement climatiques. Une problématique semblable a été envisagée par Neboit (1991) en région méditerranéenne.

L'ÉROSION PREHISPANIQUE

1. *Témoignage des "Codex"*. Selon Williams (1992), les codex, sorte de "mémoire" de la société mexicaine au moment de la conquête espagnole, montrent clairement l'importance des tepetates parmi les terres agricoles de cette époque. Sur des registres correspondant à notre cadastre, les Codex, notamment les Codex Vergara et de Santa Maria de Asuncion, notent les dimensions des parcelles, la nature des sols et des cultures. Parmi les symboles figurant les sols l'un correspond à "tepetate". Ce nom "nahuatl" désigne une couche à consistance de pierre. En fait le symbole est une juxtaposition de deux glyphes qui désignent un matériau intermédiaire entre terre et roche dure, c'est à dire assez friable pour être cultivé ; un symbole additionnel précise sa texture sableuse ou argileuse. D'après Williams (1992) dans la région de Texcoco (vallée de Mexico) les parcelles avec tepetate représentaient à cette époque 52 % des parcelles cultivées. Les indigènes avaient besoin de cette ressource en terre, en raison d'une forte densité de population, pour intensifier la production alimentaire. Ils savaient déjà ameublir le tepetate pour restaurer des terres agricoles. Ils faisaient des terrasses, dont le bord inférieur était consolidé par un mur en blocs de tepetate, afin de contrôler l'érosion (Pimentel 1992) et éventuellement aménager leur irrigation. Ils utilisaient aussi depuis longtemps ce matériau pour construire leurs cases et leurs temples (notamment les pyramides de Tehotihuacan). Donc il est certain que le problème de l'affleurement des tepetates par suite de l'érosion anthropique s'était posé avec la conquête espagnole.

2. *Témoignage de l'Archéologie*. Selon Garcia-Cook (1978), il y a concomitance entre les aires de forte occupation humaine préhispanique dans la région de Tlaxcala, attestée par l'abondance de tests de céramique, de poterie, d'artefacts d'obsidienne et autres objets de la vie quotidienne datant de l'époque préhispanique, ainsi que des traces de terrasses d'habitation et d'agriculture et l'extension des affleurements actuels de tepetate. Il est donc probable que l'affleurement des tepetates du fait de l'érosion anthropique remonte pour une large part à cette époque. Werner (1986) s'était d'abord rallié à cette hypothèse.

Mais nous savons aussi que les indiens des vallées de Mexico et de Tlaxcala, en raison d'une forte densité de population, savaient conduire une agriculture intensive en terrasses irriguées, contrôlant bien l'eau et l'érosion (Johnson 1979, Sanders 1981, Pimentel 1992). C'est pourquoi Aliphath et Werner (1994), à la suite de nombreux autres, remettent en cause l'hypothèse d'une érosion préhispanique. Ils pensent que l'érosion s'est aggravée récemment, à cause d'un changement brusque de la gestion des terres apporté par les colonisateurs. La question paraît donc encore controversée.

3. *Témoignage de la géomorphologie comparée à l'évolution du climat et de la société humaine*. Lauer (1979), observant l'évolution des formes de relief et des sédiments dans la région de Tlaxcala, remarque deux périodes préhispaniques de formation de "barrancas" (ravines très profondes) : la première vers 2 100 à 2 000 BP, la seconde entre 1 350 et 1 000 BP. celles-ci marquent donc deux périodes de forte érosion. ces événements sont reliés à deux paramètres : la variation du climat et l'évolution de la société agricole. La variation du climat, concernant température et pluviosité, est déduite d'analyses polliniques et de datations par ^{14}C (Heine 1976, 1978). Il y a eu d'abord un accroissement des pluies de 4 000 à 2 200 BP, accompagné d'un refroidissement ; puis un réchauffement qui culmine vers 1 000 BP ; une pluviosité intense se maintient jusque vers 1 500 BP, suivie d'une brusque aridification vers 1 400 BP qui se prolonge jusqu'à 800 BP. Finalement un léger regain de pluviosité et de refroidissement se produit entre 800 et 400 BP ; puis le climat s'est inversé récemment vers un nouveau cycle un peu plus aride et plus chaud.

L'évolution des sociétés agricoles ressort des travaux de Garcia-Cook (1978). Depuis 4 000 BP il y a d'abord eu transition d'une agriculture itinérante à une agriculture sédentaire et plus intensive. A partir de 3 400 BP l'agriculture sédentaire devient prédominante ; la densité des implantations humaines rurales et des cultures en terrasse augmente progressivement jusqu'à 2 100 BP. Puis elle se stabilise, voire régresse un peu jusqu'à 1 600 BP, augmente à nouveau et atteint son maximum vers 1 200 BP. Enfin elle régresse sensiblement jusqu'à

500 BP, déjà avant la conquête. Mais la colonisation accélèrera le processus, produisant un dépeuplement catastrophique des campagnes et l'abandon des aires d'agriculture indigène. L'aménagement d'ouvrages de contrôle de l'eau et des terres pour une agriculture intensive s'était développé rapidement depuis 2 600 BP jusqu'à un maximum vers 1 200 BP, qui correspond au maximum de population et à un climat plus aride, sans doute aussi à l'optimum de civilisation agricole. mais ces aménagements seront quasi tous abandonnés lors de la conquête espagnole.

En comparant ces observations Lauer (1979) montre que la première phase d'érosion en barranca (avant 2 000 BP) culmine avec un fort développement de la population, et un fort accroissement concomitant des pluies. Une surexploitation des terres pourrait être la cause de l'érosion. Le développement rapide des ouvrages de contrôle de l'eau vers 2 100 BP peut signifier à la fois un meilleur contrôle de l'érosion et une intensification de la production agricole. Il lui succède une certaine stabilisation des implantations rurales et de l'érosion. La deuxième crise érosive en barranca (1 400 BP) coïncide avec un climat plus aride et plus chaud et un regain d'accroissement des implantations agricoles. A nouveau augmentent les ouvrages de contrôle de l'eau et des sols pour lutter contre l'érosion et intensifier la production agricole. Il ne semble pas que ce remède ait été suffisant ; car depuis 1 200 BP commence une régression des implantations agricoles, qui va s'accroître brutalement au moment de la colonisation.

Plusieurs hypothèses sont possibles : soit un développement excessif des populations et de l'agriculture a conduit à une déstabilisation des sols et à une forte érosion ; soit malgré une certaine stabilisation due à un meilleur contrôle des terres et de l'eau, l'aridification du climat va déstabiliser l'agriculture et accentuer l'érosivité des pluies ; soit enfin, après avoir bien maîtrisé les aménagements agricoles et l'intensification de la production pour faire face à l'accroissement des populations, une déstabilisation des structures sociales rurales, causée par l'émergence d'une société "militariste", aurait conduit à la ruine de l'agriculture, à un certain abandon des terres ou des pratiques adaptées, donc à l'érosion, bien avant la conquête espagnole. Le processus se serait naturellement aggravé au moment de la conquête espagnole du fait de la déprise drastique des terres cultivées par les indigènes.

4. *Témoignage de la sédimentologie.* O'Hara (et al. 1993) ont discerné lors de l'analyse du lac Patzcuaro (Michoacan, sur la bordure ouest de l'altiplano mexicain) trois période d'érosion accrue, qui ne peuvent s'expliquer seulement par un changement climatique, mais plutôt par une évolution de l'agriculture. La première, entre 3 600 et 2 900 BP, correspond à une érosion superficielle et modérée de 0,15 à 0,43 T/ha/an ; elle coïncide avec le développement de la culture du maïs, mais en agriculture itinérante de défriche forestière, sans précaution antiérosive. La seconde, entre 2 500 et 1 200 BP, est plus longue et aussi marquée par une érosion plus intense, superficielle et en ravine, de 0,35 à 2T/ha/an ; elle correspond à l'accroissement des populations et à l'intensification de l'agriculture. Puis l'érosion se stabilise à un niveau modéré de 0,42 à 0,58 T/ha/an de 1 200 à 850 BP ; cette modération est concomitante d'une certaine maîtrise des aménagements agricoles et aussi d'une certaine diminution des implantations. La troisième période, entre 850 et 480 BP, se marque par une brusque recrudescence de l'intensité érosive, de 1,5 à 3 T/ha/an ; elle pourrait correspondre à une déstabilisation des populations rurales et de l'agriculture (intensification des guerres tribales) avant la conquête espagnole ; mais elle pourrait aussi être concomitante d'un climat plus aride.

L'ÉROSION POST-HISPANIQUE

1. *L'érosion à l'époque coloniale.* Les données sont peu nombreuses et les avis sont très variés, voire passionnels. certains pensent que la destruction de la société indienne a causé une intensification catastrophique et généralisée de l'érosion (Aliphath et Werner 1994). Elle serait la conséquence de l'abandon de l'agriculture en terrasses, de la destruction de la forêt et du développement d'un "pastoralisme" sauvage. Des situations semblables ont été observées en région méditerranéenne, quoique Neboit (1991) signale des cas contradictoires où l'on peut invoquer soit une cause anthropique soit l'effet d'une variation climatique. Au Mexique Trautmann (1981) considère que le développement des chemins depuis les haciendas vers les

versants boisés pour exploiter la forêt a causé un rapide développement des ravines profondes et des barrancas. Kirkby (1972), sur un petit bassin-versant de la région d'Oaxaca évalue l'érosion, depuis le début de la colonisation, à environ 10 mm/an (# 100 T/ha/an) pendant près de cinq cents ans ; c'est sans doute excessif. Au contraire O'Hara (et al. 1993) observent dans les sédiments du Lac Patzcuaro une forte diminution du taux d'érosion après 480 BP (depuis la colonisation) ; en outre ils notent un changement qualitatif des sédiments qui suggère un changement radical d'une intense érosion superficielle de sols agricole avant 480 BP à une érosion restreinte mais profonde et en ravine après 480 BP ; celle-ci correspond à une érosion linéaire causée par le développement des routes, tandis que l'érosion superficielle cesse après la déprise des terres agricoles. Ceci rejoint aussi l'observation précédente de Trautmann (1981). A cette époque par suite de l'abandon des terres, après une brève reprise, l'érosion se serait stabilisée. Une intensification de l'érosion, tel le cas observé par Kirkby (1972) près d'Oaxaca, pourrait être réduite à des situations locales. En région méditerranéenne Neboit (1991), analysant la sédimentation sur des terrasses alluviales et l'occupation humaine, note des cas où la déprise agricole, suivie d'une recolonisation végétale, s'est accompagnée d'un arrêt de la sédimentation (en Italie du Sud) ; d'autres au contraire, où peut-être suivie de désertification, elle a entraîné un regain d'érosion (en Grèce macédonienne).

2. *L'érosion à l'époque moderne (1915 - 1970)*. La révolution agraire à partir de 1915 permet une redistribution des terres à des petits paysans. Ainsi s'étend l'agriculture des plaines et de l'aval des piémonts vers les versants qui étaient laissés à un pâturage extensif ou aux dépens des forêts. Mais les petits paysans, anciens ouvriers agricoles, ne savent pas ou n'ont pas les moyens de bien cultiver et aménager leurs terres. En outre le développement rapide des populations entraîne l'extension des terres cultivées sans ouvrages anti-érosifs, le déboisement des hauts-versants et la multiplication des chemins. Ceci est la cause certaine d'une reprise forte de l'érosion superficielle et en ravines. Ohngemach et Straka (1978) ont effectivement observé l'extension rapide des barrancas après destruction de la forêt dans la région de Puebla et de Tlaxcala ; cependant ils notent ensuite une stabilisation du processus. Des cas semblables nous ont été montrés par Werner (communication personnelle) sur les versants du volcan La Malinche près de Tlaxcala.

L'ÉROSION ACTUELLE

1. *Depuis vingt cinq ans* environ des travaux considérables ont été faits pour réduire l'érosion grâce à l'incitation des services agricoles des Etats mexicains, à savoir : cultures avec bande d'arrêt isohypse plantée de Cactus (maguey), Opuntia (nopal) ; remodelage et reforestation des hauts-versants ; aménagement des fonds de ravines et barrancas (barrages de pierre) ; réhabilitation agricole des tepetates dénudés par défonçage ; ameublissement et remodelage en terrasse avec bande d'arrêt (Pimentel 1992, Llerena-Villalpando et al 1992). L'érosion a été considérablement réduite, sauf dans les zones de défriche forestière ou de pâturage extensif, ou de profondes ravines non contrôlées. Les terres ainsi réhabilitées à partir des tepetates sont productives et stabilisées (Arias 1992, Marquez-Ramos et al. 1992).

2. *Des mesures d'érosion en petites parcelles* (type Wischmeier, 44 m²) ont été entreprises depuis une vingtaine d'années (Figuerola 1975). Plus récemment, depuis 1989, des mesures systématiques ont été faites (pluie, ruissellement, érosion) dans le cadre du programme de la Communauté Européenne "Etude des sols volcaniques indurés 'tepetates' des Bassins de Mexico et de Tlaxcala, en vue de leur réhabilitation agricole" (Arias et al. 1992, Baumann et al. 1992, Quantin et col. 1992). Les observations ont eu lieu sur quatre stations, l'une près de Texcoco (Etat de Mexico), les trois autres dans l'Etat de Tlaxcala. Il en ressort les faits majeurs suivants : la susceptibilité à l'érosion des tepetates cultivés varie d'une station à l'autre suivant l'indice d'érosivité des pluies ; deux des stations, pour une hauteur de pluie semblable, sont deux à trois fois plus érosives que les autres. Il y a une grande variabilité interannuelle du régime des pluies et de leur érosivité. Les tepetates dénudés par l'érosion dans leur état naturel ont une faible susceptibilité à l'érosion superficielle (5 à 10 T/ha/an) malgré un taux de ruissellement élevé (70 %). Au contraire le tepetate ameubli mais laissé à nu, bien que le taux de ruissellement soit très réduit, subit une érosion superficielle intense, variant de 21 à 128 T/ha et par an, suivant

l'érosivité des pluies. Sur les tepetates (et le sol naturel) cultivés en billon pour le maïs, ruissellement et érosion sont très réduits, respectivement à 5% et 1T/ha/an en station peu érosive ; ou augmenter respectivement à 20 % et 26 T/ha/an en station très érosive. Cette susceptibilité à l'érosion, outre l'érosivité des pluies dépend surtout du couvert végétal et de l'évolution des états de surface du sol (encroûtement ou non) en fonction des travaux culturaux (Janeau et al. 1992). Cette étude se poursuit dans un nouveau programme de l'Union Européenne, mais les mesures sont faites à l'échelle de parcelles de dimension paysanne (500 à 1000 m²) afin de tester l'effet du facteur échelle. Dans le cas du tepetate nu, les valeurs d'érosion restent semblables. Mais dans le cas du tepetate cultivé, les premiers résultats semblent indiquer des valeurs un peu moindres que sur petite parcelle, comme le remarque ailleurs Evans (1993).

Ces mesures montrent donc qu'après l'érosion des sols au-dessus des tepetates l'intensité de l'érosion superficielle se réduit et se stabilise bien que le ruissellement augmente. Mais l'érosion linéaire en ravine peut se poursuivre en remontant les versants et creusant des barrancas. Les sols cultivés (naturels ou de tepetate ameubli) bien aménagés contrôlent bien l'érosion, bien que cependant pour des pluies très érosives (intensité > 50 mm pendant au moins 30 minutes) les risques demeurent ; mais ils sont exceptionnels. Nous n'avons pas de mesures sur une assez longue période (au moins 10 ans) pour le prédire. Donc une agriculture bien conduite est un facteur de stabilité contre l'érosion en année moyenne. Le plus grand risque reste alors l'érosion linéaire en ravines le long des chemins et notamment dans les régions d'extension de défriche ou d'exploitation forestière en amont des versants. Une étude au Kenya (Harper et col. 1993) l'a clairement montré. Evans (1993) souligne aussi clairement l'importance du facteur échelle spatiale pour assurer une mesure raisonnable de l'érosion. Il conviendrait d'y ajouter les facteurs temps et variabilité climatique.

CONCLUSIONS

Savoir si l'érosion s'est plus développée avant ou après la conquête espagnole, ou si l'affleurement de tepetates stériles est la faute des indiens ou des conquistadores est un faux problème. Il est clair que chaque civilisation agricole, à son apogée, est capable de maîtriser la gestion des terres et de l'eau. Une intensification de l'agriculture peut conduire ou non à la dégradation des sols et à leur érosion ; mais l'abandon des terres également l'un ou l'autre.

Il est certain, l'étude d'O'Hara (et al. 1993) le montre, que les activités humaines, agricoles, pastorales ou forestières, non maîtrisées jouent un rôle capital dans l'accélération de l'érosion. En revanche ce rôle négatif de l'homme va se réduire sensiblement en période de développement optimum et stabilisé des sociétés rurales. Un besoin d'intensification de la production agricole peut conduire à une meilleure maîtrise de l'eau et des terres. Mais cet équilibre maintenu par l'homme est fragile ; il dépend d'une certaine stabilité de la société et d'une adaptation technologique appropriée. Toute cause de déséquilibre socio-économique, notamment un brusque changement de civilisation ou de régime politique peut désorganiser la gestion des terres et entraîner un regain d'érosion. Ceci est vrai à toutes les époques, tant préhispanique que coloniale ou moderne.

Un autre facteur important et plus difficile à discerner est celui d'un changement climatique. Ainsi un régime plus régulièrement humide favorise le développement de l'agriculture, donc celui des populations et conduit ensuite, après une utilisation extensive, à une intensification de l'agriculture et à un meilleur contrôle de l'érosion. Si le climat devient plus aride, le contrôle des terres et de l'eau devient d'autant plus nécessaire que la productivité est plus aléatoire et que les risques d'érosion sont accrus. Peut être est-ce là une cause de déclin de certaines civilisations, de la recrudescence des guerres tribales et finalement de l'abandon des terres et de la recrudescence de l'érosion.

De la conquête espagnole à l'époque moderne l'histoire se répète : d'abord l'abandon des terres indigènes et une érosion catastrophique, mais vite stabilisée ; puis une reconquête des terres lors de la révolution agraire, mais non contrôlée et accentuée par le développement rapide

des populations, donc encore une grave reprise de l'érosion. Maintenant apparaît la nécessité de mieux utiliser et même augmenter les ressources en sol, afin d'intensifier la production et aussi de préserver l'environnement ; donc une réhabilitation agricole des tepetates et l'aménagement rationnel des terres contre l'érosion. Les expériences récentes sont encourageantes (à l'égal sans doute de celles faites à l'apogée des civilisations préhispaniques). Ces expériences demandent à être conduites d'une manière plus rationnelle, prenant mieux en compte les facteurs échelle spatiale, temps et variabilité climatique, ainsi que les conditions socio-économiques.

REFERENCES

ALIPHAT M. et WERNER G., 1994 - The tepetates of the Central Mexican Highlands : Prehispanic and modern impact of agriculture and water management. Trans. 15th W.C. Soil Science, Acapulco, vol. 6a : 528-540.

ARIAS H. 1992 - Rehabilitación de tepetates : una alternativa para la producción agropecuaria y forestal. Terra, Mexico, vol. 10 : 309-317.

ARIAS H., MIRANDA M.E., et GABRIELS D., 1992 - Dinámica de la erosión en tepetates roturados. Terra, Mexico, vol. 10 : 370-373.

BAUMANN J., WERNER G., MUNOZ H. et al., 1992 - Mediciones preliminares de la erosión en el bloque de Tlaxcala, Mexico. Terra, Mexico, vol. 10 : 347-354.

EVANS R., 1993 - On assessing accelerated erosion of arable land by water. Soils and Fertilizers, vol. 56, n° 11 : 1285-1293.

FIGUEROA-SANDOVAL B., 1975 - Pérdida de suelos y nutrientes y su relación con el uso del suelo en ecosistemas de la Cuenca del Rio Texcoco. Tesis Maestria, Colegio Postgraduados de Chapingo, Mexico.

GARCIA-COOK A., 1978 - Poblamiento prehispánico. Fund. Aleman. Inv. Científica, Puebla, Comunicaciones n° 15 : 173-187.

HARPER et col., 1993 - Tana River Project. Development of ecologically sustainable catchment land uses. CEC Contrat n° TS2 A0256-UK(SMA), Second annual report 1992-93.

HEINE K., 1976 - Schneegrenzdepressionen, Klimatentwicklung, Bodenerosion und Mensch im Central Hochland im jungen Pleistozän und Holozän. Z. Geomorph. N.F. Suppl. 24, Stuttgart : 160-174.

JANEAU J.L., JEROME G., et MIRANDA M.E., 1992 - Evolución estructural de la superficie de suelos con tepetate. Terra, Mexico, vol. 10 : 374-378.

JOHNSON, 1977 - Do as the land bids. A study of Otomi resource use on the eve of irrigation. Doct. Thesis, Clark University, USA.

KIRKBY M.J., 1972 - The physical environment of the Nochixtlan Valley, Oaxaca. Univ. Publ. in Anthropology, Van der Bilt University. Nashville, USA.

LAUER W., 1979 - Medio ambiente y desarrollo cultural de la Región de Puebla-Tlaxcala. Fund. Aleman Inv. Científica, Puebla, Comunicaciones n° 16 : 29-54.

LLERENA-VILLALPANDO F.A. et SANCHEZ-BERNAL B., 1992 - Recuperación de tepetates en la vertiente oriental del Valle de Mexico. Terra, Mexico, vol. 10 : 302-308.

MARQUEZ-RAMOS A., ZEBROWSKI C. et NAVARRO-GARZA H., 1992 - Alternativas agronomicas para la recuperaci3n de tepetates. Terra, Mexico, vol. 10 : 465-473.

MIEHLICH G., 1991 - Chronosequences of volcanic ash soils. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, n° 15, 207 p.

NEBOIT R., 1993 - L'homme et l'erosion. L'erosion des sols dans le monde. Faculté Lettres et Sciences Humaines, Université Blaise Pascal, Fasc. 34, Clermont-Ferrand, 269 p.

O'HARA S.L., STREET-PERROTT F.A. et BURT T.P., 1993 - Accelerated soil erosion around a Mexican highland lake caused by prehispanic agriculture. Nature, vol. 362 : 48-51.

OHNGEMACH D. et STRAKA H., 1978 - La historia de la vegetaci3n en la regi3n Puebla-Tlaxcala durante el Cuaternario tardio. Fund. Aleman. Inv. Cientifica, Comunicaciones n° 15 : 189-204.

PENA D. et ZEBROWSKI C., 1992 - Los suelos y tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada. Terra, Mexico, vol. 10 : 151-155.

PIMENTEL-BIBRIESCA L., 1992 - Como hacer productivos a los tepetates en Mexico. Terra, Mexico, vol. 10 : 293-301.

QUANTIN P. et coll., 1992 - Etude des sols volcaniques indurés "tepetates" des Bassins de Mexico et de Tlaxcala, en vue de leur réhabilitation agricole. Rapp. Sci. Final, programme CEE n° TS2-A212C, 77 p.

SANDERS W.T., 1981 - Ecological adaptation in the Basin of Mexico : 23 000 BC to the present. Suppl. Handbook Middle Amer. Indians, vol. 1 : 147-197. Univ. Texas Press, Austin, USA.

TRAUTMANN W., 1981 - Las transformaciones en el paisaje cultural de Tlaxcala. Fund. Aleman. Inv. Cientifica, vol. XVII, Wiesbaden (Steiner Ed.).

WERNER G., 1986 - Landschaftsumgestaltung as Folge von Besiedlung, Vegetationänderung und Landnutzung durch die altindianische Bevölkerung im Staat Tlaxcala, Mexiko. Erdkunde, 40 : 262-270.

WILLIAMS B.J., 1992 - 'Tepetate' in 16th Century and contemporary folk terminology, Valley of Mexico. Terra, Mexico, vol. 10 : 483-493.

DYNAMIQUE SOCIO-SPATIALE DES VERSANTS MONTAGNARDS EXEMPLES EN EQUATEUR, AU RWANDA ET AU VIET-NAM

G. ROSSI, M. POUYLLAU, X. AMELOT, S. LAGREE, M. MELLAC, F. POUILLE.

**REGARDS, UMR 9937 - CNRS-ORSTOM
EQUIPE ENVIRONNEMENT
B.P. 200 - 33405 - TALENCE CEDEX**

1. L'EROSION DES VERSANTS : UN ENJEU DE SOCIETE.

L'évolution des versants montagnards densément peuplés pose de plus en plus de questions quant à l'avenir de ces milieux et de ces sociétés : les phénomènes érosifs violents dont on note l'apparition dans certains cas, l'aggravation dans d'autres, sont la signature physique du franchissement de seuils parfois irréversibles, dans les évolutions dynamiques qui caractérisent le système "société rurale/milieu physique".

La perception de ces problèmes est déjà ancienne et elle a conduit à procéder à de nombreuses études et interventions qui ont toutes pour caractéristique d'être sectorielles : la dégradation des milieux était l'affaire des géographes physiciens, des écologues et des aménageurs, le développement agricole était pris en charge par les techniciens et les agronomes pendant que les médecins et les démographes s'intéressaient aux populations. Mais il semble qu'une façon nouvelle et opératoire de poser les questions de développement de ces milieux soit d'étudier les processus en jeu à l'interface milieu naturel/société dans le cadre d'une étude comparée.

En effet, en ciblant des milieux analogues dans trois pays que tout sépare au plan des sociétés et de la mise en valeur (Rwanda, Equateur, Viêt-nam), on peut alors poser la question de savoir si les causes du déséquilibre des versants résultent de systèmes "milieux/sociétés" différents ou bien d'un système "milieu/société" à des stades divers sur une même trajectoire d'évolution.

Notre programme vise à analyser, à partir des seuils de transformations structurelles et des trajectoires socio-économiques qui influent sur les changements d'état des versants, qu'il s'agisse des processus et des conditions de la reproduction ou de l'évolution des sous-systèmes "milieu physique" et "société agraire", les interactions à l'oeuvre à l'interface société/environnement naturel.

Il est conçu dans une perspective diachronique. Celle-ci est nécessaire à la compréhension de la dégradation des composantes des milieux naturels comme phénomène induit par les modes de structuration et d'utilisation de l'espace, eux-mêmes conséquences de l'évolution dynamique de ces sociétés sous l'influence de facteurs internes (croissance démographique, structures sociales), et externes ("modernité", décisions politiques ou économiques).

D'une façon tout à fait parallèle la méthodologie vise à étudier la notion de fragilité des versants montagnards tropicaux au Rwanda, en Équateur et au Viêt-nam en se servant de la notion de seuil relatif en fonction de la caractérisation fine du milieu physique, de la pression démographique et des systèmes de production agricole en place, notamment dans ses composantes "dynamique de la pression démographique" et "technique de mise en valeur du milieu".

La signature de cette dégradation est généralement une érosion ou un appauvrissement des sols, la disparition des boisements, la baisse des rendements. Mais peut aussi se traduire par une tendance à la réduction des tailles des exploitations, par la modification du type et de la répartition des plantes cultivées, des techniques de mise en valeur, par des migrations, une désorganisation ou une adaptation des structures sociales traditionnelles, toutes choses que l'on peut résumer sous l'appellation de "stratégies paysannes", qui sont la réponse des individus et des groupes sociaux à des contraintes nouvelles dès que la "capacité de charge" du milieu, essentiellement fonction du niveau technique, est dépassée.

2 -LA REGION DE GUARANDA (EQUATEUR), LA MONTAGNE BANLIEUE.

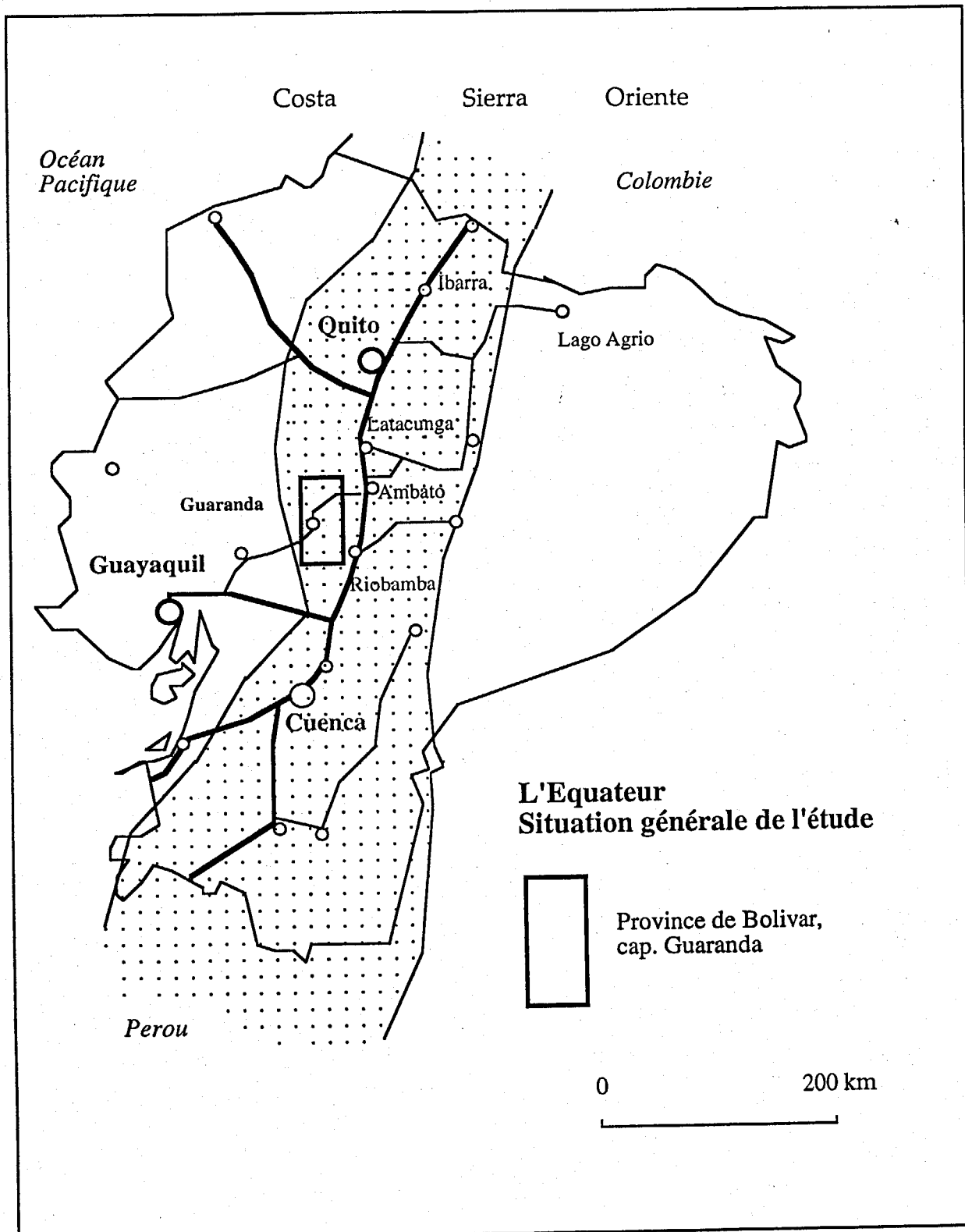
La région étudiée autour de Guaranda (Province de Bolívar) correspond à un ensemble de bassins et de hautes terres, situés sur les flancs extérieurs de la Cordillère andine occidentale et appartenant à la " Sierra ". Les versants externes des cordillères constituent une unité bien individualisée. Parallèlement à l'axe principal Nord-Sud de la chaîne principale, une série de dépressions, jalonnent les Cordillères occidentales et orientales, déterminant ainsi des bassins méridiens se déversant par de profondes gorges soit vers l'Océan Pacifique, soit vers l'Amazonie. Situés entre 2 000 et 3 500 mètres, ils sont généralement bien arrosés, plus de 1500 mm, et très compartimentés vers l'aval. Les communications ont toujours été plus faciles vers les hauteurs des Páramos, relativement planes, que vers le littoral par les profondes gorges des rivières. On verra cependant que les conflits fonciers poussent actuellement les paysans à descendre vers le piémont, à proximité immédiate des plaines de la Costa.

2.1. Des terroirs différenciés par l'altitude et ses effets.

Cette unité se subdivise en plusieurs types de terroirs : les premiers -en altitude, de 3200 à 3600 m, parfois jusqu'à 4000-, à dominante indigène, sont le domaine privilégié de la pomme de terre, de l'orge, de la fève, de la quinoa, du lupin et plus localement de l'oignon. Il s'agit des systèmes de culture montagnards par excellence. Ici la rotation orge, fève, pomme de terre, sur une marquerie de parcelles régulières, donne des paysages agraires ouverts; c'est le domaine des communautés paysannes indigènes, dispersées en nombreux hameaux de quelques chaumières. Plus bas, des communautés à dominante métisse, cultivent essentiellement le blé et le maïs.

Entre 2300 et 3200 m environ, l'étage des bassins intramontagnards est le domaine du minifundio et des systèmes de culture à dominante maïssicole (maïs sec, maïs frais, blé, haricot sec), qui représentent souvent plus de 50 % et jusqu'à 70% des surfaces en cultures annuelles. Chaque alvéole présente un étagement caractéristique des formes d'utilisation du sol, selon un gradient éco-climatique et topographique avec des précipitations diminuant de plus de 2000 mm à moins de 500 mm en fond de vallée. En position centrale, au cœur des bassins, des haciendas modernisées pratiquent un élevage laitier de qualité sur prairies artificielles irriguées. Partout, un paysage de bocage aux larges mailles de haies vives complantées d'eucalyptus, avec de gros bourgs ruraux qui tissent un réseau de marchés hebdomadaires, et une extraordinaire densité de maisons rurales dispersées.

Les flancs extérieurs des cordillères sont le domaine de la forêt dense sempervirente humide exposée aux précipitations venant du Pacifique. Les déforestations dans ce que l'on appelle les "yungas" sont cependant de plus en plus nombreuses et apparaissent peu à peu des



Costa

Sierra

Oriente

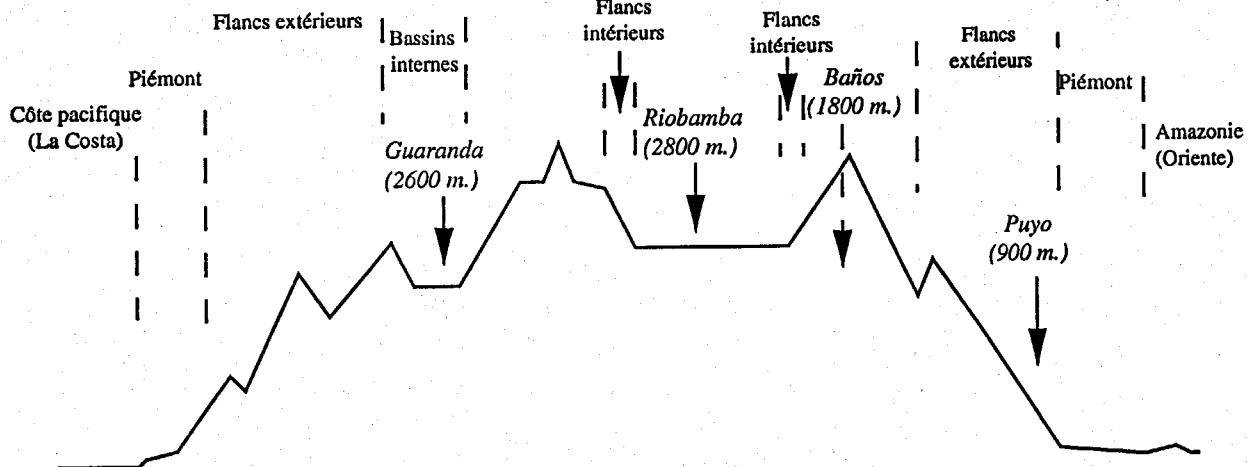
Cordillère occidentale
(Chimborazo, 6300 m.)

Cordillère orientale
ou "Real" (5000-5800 m.)

Sillon interandin
(2500-3000 m.)

Hautes terres
páramos et
grands volcans

Hautes terres,
páramos et
grands volcans



Equateur
Versants montagnards
Transect suivant le parrallèle 1° 30' Sud

cultures plutôt tropicales, manioc, café, bananiers, puis cacao. Il s'agit d'une zone intermédiaire de migrations entre les terres froides d'altitude et les terres chaudes du piémont.

Le dernier niveau correspond à la partie la plus déprimée des bassins ou la plus incisée par les vallées, à proximité de leur sortie de la montagne. Aux alentours de 2000 m et en dessous, les précipitations sont de plus en plus abondantes; ces zones chaudes ont été longtemps vouées à la canne à sucre, cultivée dans de grandes haciendas où il n'est pas rare qu'elle ait aujourd'hui cédé la place aux vergers d'agrumes ou d'avocatiers, voire au maraîchage. Elles constituent une zone d'expansion des communautés montagnardes.

Les effets agronomiques du gradient thermique altitudinal sont déterminants. G. Knapp indique ainsi que la durée de la période de croissance des végétaux s'allonge de 2 semaines/100m. Ainsi, à 2000 m, on peut espérer deux récoltes de maïs/an tandis qu'à 3200 m la maturation de cette plante réclame une année complète. Pour la pomme de terre, ces valeurs varient de 5-6 mois vers 2800 m, à 11-12 mois vers 3850 m.

La répartition saisonnière des précipitations se caractérise en première approximation par une saison des pluies qui dure d'octobre-novembre à mai et une saison sèche centrée sur juillet-août. Dans le détail, la variation inter-annuelle des précipitations vient souvent perturber ce schéma, notamment par l'apparition tous les 3-4 ans d'un "veranillo" (petit été) entre décembre et février. Apparaissant en pleine période de croissance des végétaux, cette deuxième saison sèche parfois accentuée exerce des conséquences catastrophiques sur les récoltes ces années là.

A la différence du "veranillo" dont les manifestations varient essentiellement dans le temps, l'apparition des gelées nocturnes dépend surtout de facteurs géographiques. Leur occurrence saisonnière est en effet liée à la saison sèche durant laquelle l'humidité atmosphérique décroît tandis que le couvert nuageux nocturne disparaît. Si la distribution saisonnière est donc assez régulière, la répartition dans l'espace est plus variable. Elle dépend bien évidemment de l'altitude, le phénomène n'intervenant pratiquement jamais à moins de 2400 m.

2.2. Dynamique démographique et structures foncières.

La Sierra, région de vieille civilisation, rassemble un tiers des Équatoriens sur à peine 5% du territoire national. Les densités rurales de 100 à 200 habitants au km² sont courantes dans l'ensemble des bassins, du nord d'Ibarra au sud de Riobamba; dans certains secteurs on atteint même le chiffre de 500. C'est aussi l'un des domaines les plus urbanisés de toutes les cordillères andines; à part Guaranda isolée dans un repli de la Cordillère, les capitales provinciales comptent plusieurs dizaines de milliers d'habitants comme Ambato (150 000), Riobamba (100 000) et Ibarra (75 000). Depuis les années 1970, la dynamique démographique se différencie : dans la province de Bolívar la population rurale a fortement diminué et on enregistre même une réduction absolue de la population. Cependant, et d'une manière non contradictoire, la pression démographique locale reste très forte.

Dans ces régions andines où la réforme agraire a redistribué moins de 10% des terres, et non des meilleures, l'espace rural est plus que saturé, d'où un développement de franges pionnières d'altitude qui mordent sur la base des páramos, aux limites de l'agriculture. En réalité, ce que l'on appelle "réforme agraire" se traduit surtout par une incitation à la colonisation de terres nouvelles.

Dans la période contemporaine, une recombinaison de l'agriculture andine s'est opérée sous l'effet d'une double tendance. D'un côté, en liaison étroite avec l'industrie des produits lactés, la spécialisation croissante des haciendas dans l'élevage, en même temps que celle d'une partie des petites exploitations dans la production destinée à la consommation des classes supérieures (fruiticulture, maraîchage, fleurs) ; de l'autre, l'abandon, aux paysans les moins

bien lotis, du soin de fournir à bas prix la base de l'alimentation populaire (maïs, haricots, fève, orge), mais en concurrence avec la production de pomme de terre et d'orge de brasserie. Cette dichotomie traduit aussi dans l'espace la marginalisation économique et sociale du paysannat indigène, dont la situation en périphérie des bassins intramontagnards, mal desservie en chemins vicinaux, se trouve aggravée par le double éloignement de l'axe majeur longitudinal (la Panaméricaine) et des marchés ou des centres de consommation les plus dynamiques: Quito et Ambato en ce qui concerne la région de Guaranda.

La région est un foyer démographique important où l'espace agricole est aujourd'hui saturé. Presque partout domine le minifundio, qu'il soit traditionnel ou qu'il résulte de l'application de la réforme agraire. Presque partout, la trop forte pression sur la terre, l'érosion des sols et la sécheresse récurrente, l'échec de l'organisation en coopérative qui prétendait compenser les handicaps du minifundio, les effets mêmes des migrations temporaires ou définitives, se conjuguent dans une dégradation généralisée des systèmes de production paysans.

Dans ces régions situées à l'écart de la diagonale nationale utile Quito-Guyaquil, les campagnes sont des terres d'émigration : dans les hautes Andes du Sud, celle-ci est à la fois saisonnière et souvent définitive. Elle a alimenté en partie le mouvement de colonisation des zones pionnières de la Côte et contribue à la croissance démographique spectaculaire des centres urbains régionaux, Riobamba, Ambato, Babahoyo et des deux métropoles, Quito et Guayaquil et, secondairement, de l'Amazonie.

Les deux principaux groupes ethniques de Bolívar, les indiens et les métis, semblent adopter des comportements différents face aux migrations. Les premiers, mieux intégrés dans la société équatorienne contemporaine, attirés par les villes, les seconds, tenus à l'écart de toute intégration et de tout développement, très fortement attachés à la terre.

En effet, de nombreux métis ruraux investissent dans les études de leurs enfants afin qu'ils puissent trouver un emploi "à la ville". Pour cela, les pères de famille pourront pratiquer des migrations saisonnières ou temporaire notamment vers les agro-industries de la Costa où les salaires de journaliers agricoles sont plus élevés. Le profit tiré de l'exploitation agricole et du travail saisonnier n'est donc pas réinvesti dans l'agriculture. Le processus est exactement inverse en ce qui concerne les indiens. En effet, ceux-ci semblent moins portés vers les études mais pratiquent de la même façon des migrations saisonnières vers la Costa voire vers les grandes villes. Mais dans ce système, les enfants restent sur place et s'occupent des travaux des champs. L'argent sera ici plus naturellement réinvesti dans l'agriculture.

2. 3. Le système rural.

Si le cadre agro-climatique constitue un ensemble de données imposées à l'agriculture andine, celle-ci dispose d'une large gamme de productions ainsi que de techniques culturales dont les combinaisons sont très diverses. Les paramètres qui président à leur choix relèvent bien sûr des caractères bioclimatiques du lieu mais aussi des disponibilités en main d'œuvre, des habitudes alimentaires, des conditions économiques du moment, de la surface disponible.

Dans les versants équatoriens situés à plus de deux mille mètres, domine le maïs, base de la diète paysanne, ainsi que les "frijoles" et l'orge. Plus haut, vers 3000 m, la pomme de terre s'impose et couvre les pentes jusqu'à près de 4000 m en alternance avec des céréales d'autant moins présentes que l'amplitude augmente. Au delà de 3500 m, la "papa" demeure quasiment la seule culture, le repos du sol se traduisant par l'installation de pâturages parcourus d'ovins ou de lamas. La rotation des cultures demeure la règle tout comme l'association de plusieurs plantes dans une même parcelle.

Un fort potentiel d'intensification et de diversification des systèmes de culture est

théoriquement présent, fondé sur la bonne réponse des sols à la fertilisation chimique et à la diversité des cultures que permet le climat. Dans une logique capitaliste, l'accroissement démographique devrait pouvoir être compensé par une intensification, notamment procurée par une modernisation des pratiques culturales (utilisation de semences sélectionnées, de fertilisants chimiques, etc.). Pourtant, on constate chez les agriculteurs indigènes une réticence générale à l'adoption de ces méthodes pourtant assez largement diffusées dans les haciendas et même dans les exploitations de taille moyenne (10-20 ha) aux mains de métis. Cette réticence s'explique par un faisceau de causes que P. Morlon réunit dans le concept "d'aversion au risque".

On a vu combien les aléas, climatiques notamment, pouvaient être nombreux. Si leur occurrence n'aurait rien de réhibitoire pour un agriculteur occidental, elle pèse très lourdement dans les stratégies des exploitants andins. L'hypothèse d'une perte totale de récolte, est inacceptable pour ces familles vivant en autoconsommation aux limites permanentes de la malnutrition. Les stratégies de dispersion des risques sont à la base de toute la conduite de l'exploitation. On préfère donc diversifier autant que possible les ressources (en dispersant les parcelles, en étalant les dates de semis, etc.) mais aussi limiter absolument tout investissement un tant soit peu risqué. On évite donc l'achat d'engrais ou de pesticides qu'une perte totale de la récolte, peu probable mais non exclue, empêcherait de payer, initiant ainsi la spirale de l'endettement, fatale pour ces exploitations incapables de dégager une plus-value. Les risques sont aussi limités par les associations complexes de plusieurs plantes sur la même parcelle.

Le contrôle des calamités agricoles ("plagas"), dont la prolifération est favorisée par la réduction du temps de jachère, constituent une autre contrainte essentielle de l'agriculture andine pour la maîtrise desquelles de nombreuses stratégies spécifiques, incompréhensibles dans une logique de marché, sont développées. L'infestation des graines par les parasites (et donc la réintroduction de ces derniers dans la parcelle par la réutilisation d'une partie de la récolte pour les semences) est par exemple combattue par l'installation de parcelles de culture à très haute altitude. Là bas, parfois 1000 m plus haut que l'optimum agronomique de la plante, les parasites seront absents mais les rendements évidemment très bas. Ces terres ne servent donc qu'à produire les semences, expliquant ainsi la présence de ces cultures altitudinalement décalées. La dispersion des cultures est une seconde technique, car, dans ce que l'on a défini comme "l'archipel vertical", l'occurrence de l'une des calamités n'intervient jamais sur tous les étages contrôlés

Deux autres comportements complètent cette panoplie de techniques découlant de cette obsédante "aversion au risque". La première concerne la place du bétail dans le système agricole. Celui-ci assurait une fonction de fertilisation des terres en jachère et souvent de transfert de fertilité vers les parcelles cultivées. Avec l'accroissement des densités rurales, la durée des jachères tend à se réduire comme la superficie des surfaces pastorales encore disponibles. Le cheptel tend à diminuer par manque de terre, le maintien de plus en plus difficile de ces animaux s'explique par leur fonction économique: ils constituent, en quelque sorte une "caisse d'épargne" pour la famille.

Face aux menaces que fait peser la survenance éventuelle d'un "veranillo" marqué, ou encore de gelées imprévisibles, les familles ne disposant que d'une surface suffisante adoptent un troisième comportement: celui des calendriers culturels parfois surprenants. On constate en effet que les semis d'une même culture sont étalés dans le temps, dans l'espace et que parfois même, certaines cultures pourtant réputées "à gros rapport" sont absentes. Cela permet à la fois d'étaler le calendrier de travail et de disperser les risques climatiques ou phytosanitaires. Le problème est d'obtenir le déroulement complet du cycle végétatif entre deux événements létaux (sécheresse, gelée), tout en plaçant les stades les plus sensibles de chaque espèce dans les périodes de moindre risque.

L'existence de telles pratiques impose de relativiser les mesures de rendements officiels de ces petites exploitations qui, en fait, s'inscrivent dans un schéma étranger à celui de la logique du marché. D'autre part ces mêmes pratiques rendent extrêmement difficile l'utilisation

de technologies cartographiques comme la télédétection : le suivi d'une culture par exemple est impossible.

2.4. L'organisation sociale de la production : le référentiel culturel.

On a vu que les spécificités agro-climatiques et les techniques de production et d'organisation de l'espace expliquaient en partie l'originalité fonctionnelle de l'agriculture paysanne. Ils ne sont pas les seuls. En effet, fréquemment héritées de pratiques précolombiennes, un certain nombre de règles sociales propres participent à la spécificité de cette économie rurale. La question "communautaire" demeure centrale pour l'étude des paysanneries andines. On doit en effet s'interroger sur la persistance de spécificités culturelles fortes qui expliqueraient le maintien de comportements migratoires ou agronomiques spécifiques face à l'accroissement démographique. S'identifieraient alors des règles de gestion des milieux différentes suivant qu'un exploitant agricole se rattache à tel référent culturel ou à tel autre.

Il apparaît aujourd'hui que la redistribution récurrente des terres a pratiquement disparu. La propriété privée prévaut donc partout même si un contrôle social sur la terre existe encore dans nombre de communautés indigènes à travers l'interdiction faite à tout *comunero* de vendre son bien à une personne extérieure à la communauté. Lorsqu'elle est encore en usage, cette règle contribue fortement à la persistance du caractère "fermé" des groupes sociaux et donc au maintien d'une spécificité culturelle forte.

Les formes de travail collectif demeurent encore souvent présentes dans des proportions très variables. Certaines sont aussi pratiquées aussi par de nombreux métis comme l'entraide entre voisins. Vraisemblablement héritées de relations sociales précolombiennes, ces relations d'entraide entre individus qu'aucun lien familial n'unit jouent un rôle économique et culturel encore très fort en de nombreux lieux. On trouve aussi des liens entre paysans de régions différentes; ils permettent des échanges de produits entre régions écologiquement distinctes (des semences de terres froides dépourvues de "plagas" par exemple contre des cultures plus tempérées), reproduisant ainsi par des relations sociales les complémentarités écologiques que permettait "l'archipel vertical".

2.5. Facteurs sociaux et érosion.

Le caractère plus ou moins accentué de l'érosion et de l'appauvrissement des sols paraît finalement lié, au delà de conditions pédologiques favorables, à la convergence d'une série de facteurs sociaux: bien que l'accroissement naturel de la population reste fort, voisin de 2,2%, il n'existe pas -ou plus- d'accroissement absolu des densités. En effet, la mobilité spatiale est très forte. Elle s'exprime à travers des migrations définitives ou temporaires, les achats ou le prêt de terres dans des zones agro-climatiques différenciées et son corollaire, la double résidence, qui sont autant une manière de lisser les densités que de limiter les risques agricoles.

De ce fait, les conditions de la reproduction des structures des groupes sociaux, très cohérents, et des modes complexes d'occupation traditionnels de l'espace sont encore assurées. Mais régionalement d'autres éléments paraissent être à l'origine des phénomènes observés de dégradation des versants. Les inégalités foncières, que soutendent une forte différenciation culturelle jouent un rôle déterminant. Les meilleures terres, situées en plaine ou sur les piémonts, irrigables, sont jusqu'à cinq fois plus chères qu'en montagne. Elles sont occupées par les grandes exploitations au mains des blancs ou des métis. Les indigènes sont repoussés plus haut sur les versants en forte pente, aux sols moins riches et plus sensibles à l'érosion. Cela se traduit par une indigénisation de la Sierra. Le micro parcellaire, conséquence de la pression démographique, et "l'aversion au risque" y limitent d'autant plus fortement la perception de celui-ci et les possibilités de le contrôler ou de le combattre que ces communautés sont repliées sur elles-mêmes et peu perméables à l'innovation. En définitive

on constate que les types de fonctionnement des versants cultivés sont autant le résultat de contraintes socio-économiques que de facteurs physiques.

3. LE RWANDA : LA MONTAGNE SURPEUPLEE.

Pays de haute et moyenne montagnes humides et forestières, habité par de vieilles sociétés rurales fortement structurées, aux techniques de mise en valeur de l'espace, originales et remarquablement adaptées à un milieu au fort potentiel érosif, le Rwanda est aussi celui où les densités rurales sont les plus fortes d'Afrique. Ce qui jusqu'à ces dernières années surprenait, était, avec l'intense mise en valeur, l'apparente stabilité des versants, même sur des pentes énormes car il s'agit d'une région essentiellement montagnaise dont 70 % environ de la surface cultivée offrent des pentes supérieures à 10 %, et 5 % encore excèdent 80 %.

Il apparaît aujourd'hui que la stabilité d'ensemble du géosystème se dégrade. C'est ce que traduisent l'apparition ou la généralisation de phénomènes d'érosion ou d'appauvrissement des sols jusqu'ici relativement discrets. De plus les conditions sanitaires (le taux de séropositifs atteint 40 % dans certaines communes !), les conséquences démographiques, sociales et économiques de la guerre civile qui y sévit depuis deux ans semblent devoir accélérer la déstructuration des groupes sociaux et la désorganisation de l'occupation de l'espace.

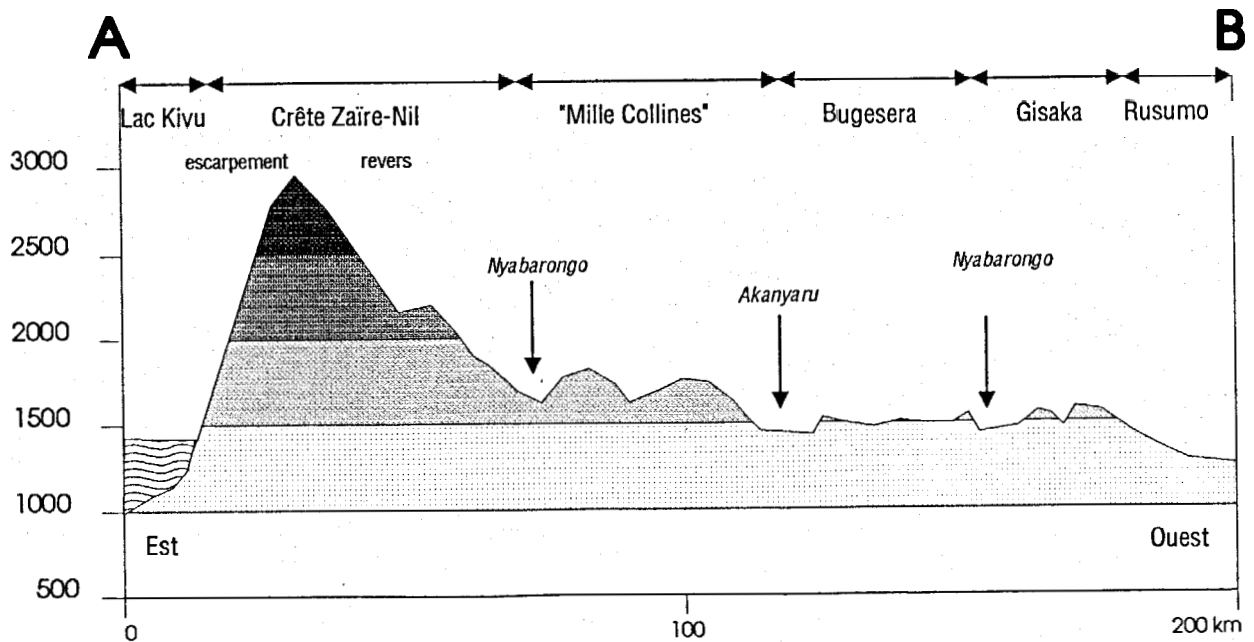
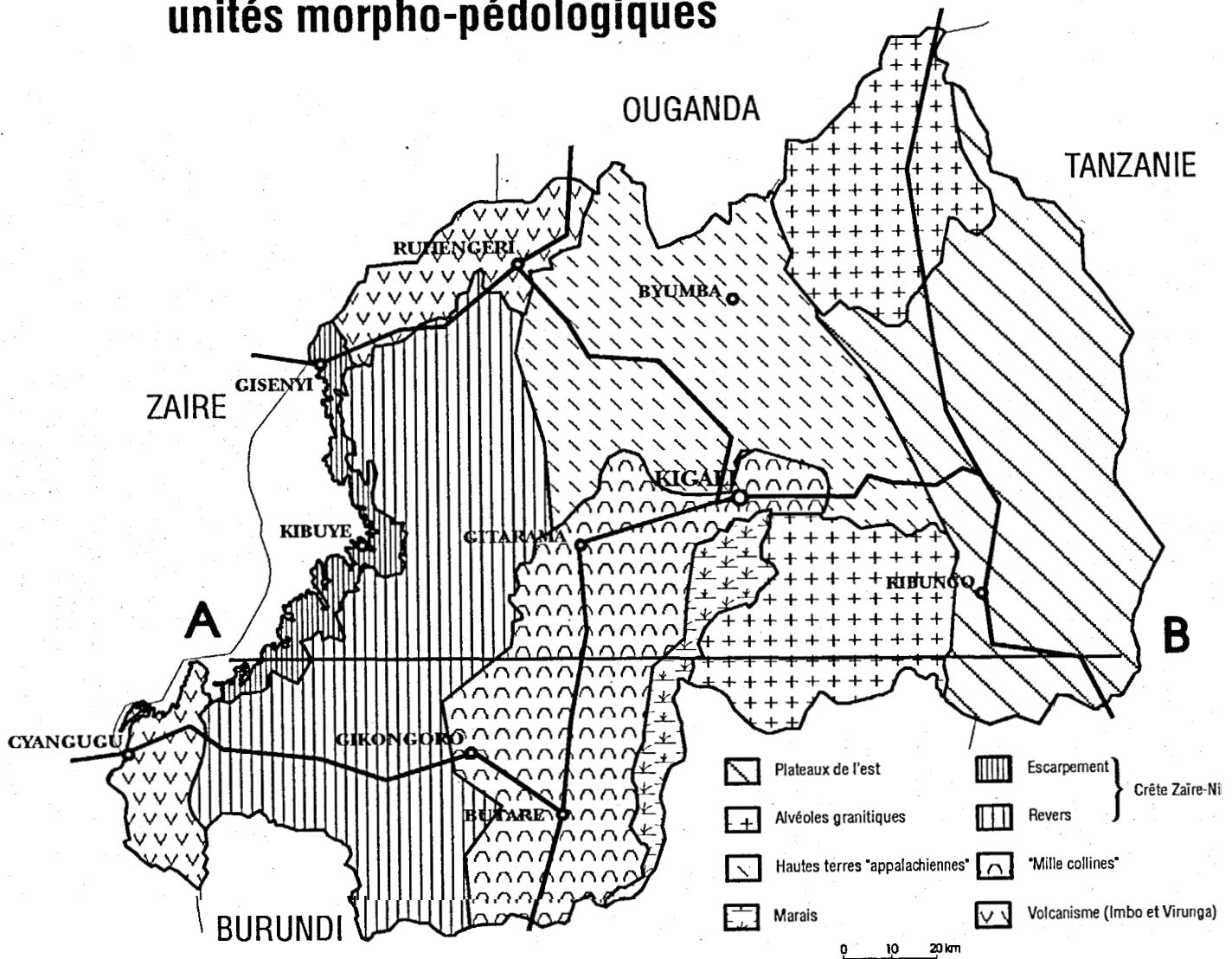
3.1. Le contexte démographique.

Depuis leur découverte, les grands lacs sont une région de fort peuplement. Celui-ci cependant n'est pas homogène et des zones de très fortes densités côtoient des zones quasiment vides. Dans l'ensemble, il est possible d'expliquer la disparité initiale du peuplement par référence aux conditions physiques et sanitaires du milieu : vide des régions "sèches" et cuirassées de l'est du Rwanda, vide également des régions marécageuses des grandes vallées, fortes densités des régions bénéficiant de sols volcaniques... Ce sont de façon générale les régions de "moyenne" altitude (de 1 500 à 2 000 m environ) qui ont retenu le maximum de population grâce à leurs dispositions aussi bien climatiques que pédologiques. Faire référence à l'histoire est cependant parfois nécessaire à l'explication de certaines singularités du peuplement. Ainsi les deux noyaux de peuplement les plus forts au Rwanda (le Nord-Ouest et le plateau central) correspondent aux régions à fort pouvoir central respectivement reconnues comme bahutu et batutsi.

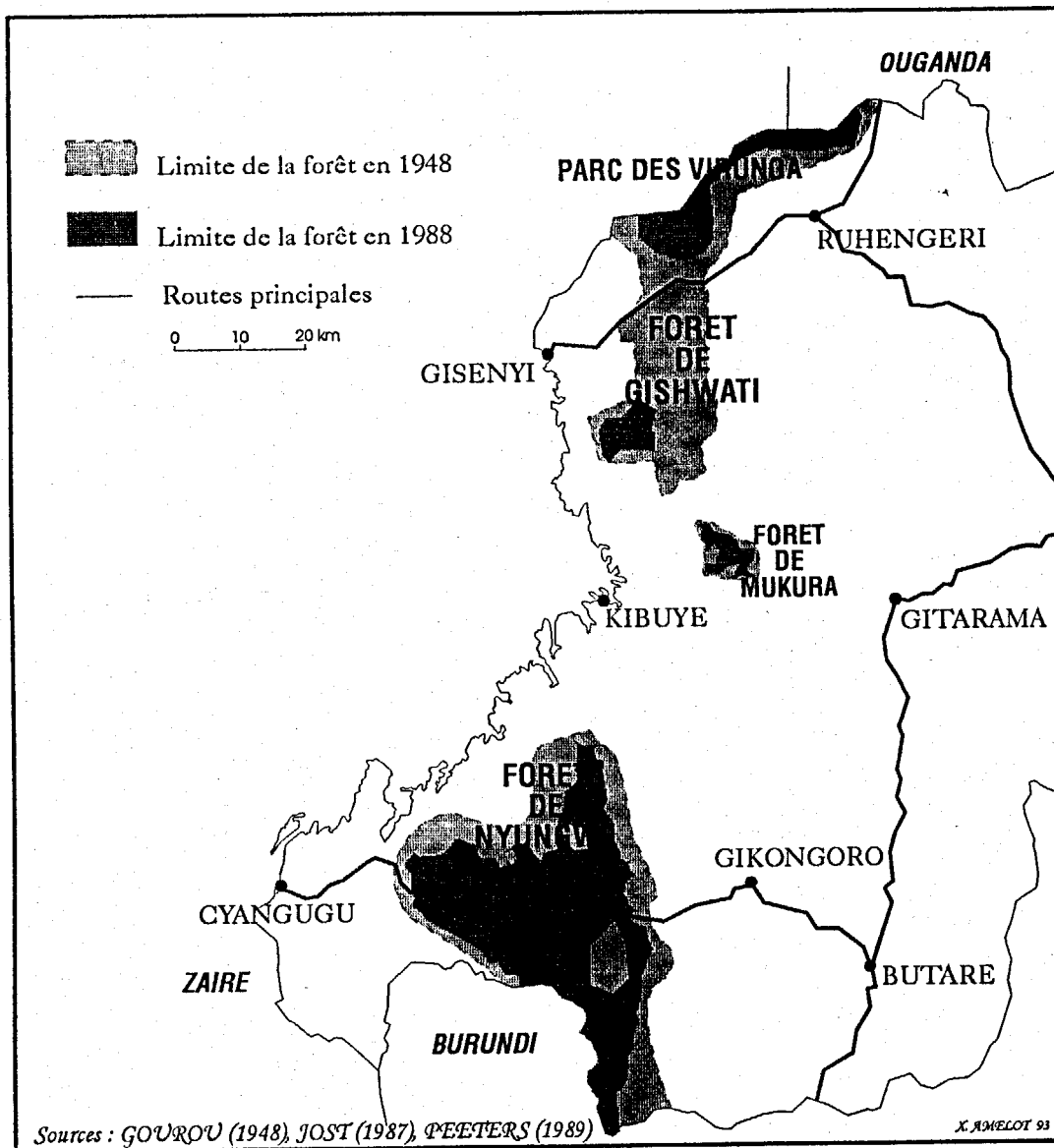
Aujourd'hui, le Rwanda est caractérisé par une densité de population extrêmement élevée. A l'horizon 1995, la densité rurale moyenne rapportée à la surface agricole utile devrait dépasser 600 hab./km², atteignant parfois 1 000 hab./km². L'accroissement naturel se situant autour de 3,7%, sur cette base, en 2020, chaque hectare de surface agricole utile devrait nourrir de 12 à 18 personnes. Compte tenu de l'état actuel des techniques agricoles, ces chiffres laissent perplexes car il semble que le système actuel de culture ait atteint sa limite de productivité, et ne soit pas capable de supporter dans le meilleur des cas, plus de 1 000 hab./km², le moindre aléa climatique entraînant la famine, comme en 1989-1990 dans les régions de Butare et Cyangugu, au sud du pays.

Les migrations, bien que limitées, ont également joué un rôle. Les principaux mouvements concernent les régions orientales objet d'une colonisation organisée depuis 1953 dans le cadre des paysannats. Ce mouvement a participé de façon intensive au peuplement de l'Est du Rwanda après abolition du droit exclusif de pâturage détenu par la monarchie tutsi, et par colonisation spontanée qui a précédé ou suivi la création des paysannats. Elle se déroule par remplissage des zones interstitielles, à proximité, par exemple, des zones caféicoles et donne lieu à des peuplements beaucoup plus massifs. La colonisation spontanée concerne aussi toutes les zones forestières qu'elles aient été mises en défend ou non. Il existe d'autres types de mouvements de courte distance qui s'effectuent dans des zones déjà bien peuplées et s'apparentent à une homogénéisation des densités. Dans l'ensemble, les remaniements de

RWANDA : Carte des principales unités morpho-pédologiques



Coupe schématique



La Forêt d'altitude au Rwanda

Carte Dynamique

population qu'ils soient spontanés ou planifiés, constituent de fait la première des réponses au problème des fortes densités de population.

Cependant, le phénomène le plus reconnu, celui qui est à l'origine des plus vives inquiétudes est l'entassement sur place des ruraux. Les mouvements de population à l'intérieur du milieu rural, s'ils n'ont pas été négligeables, n'ont toutefois pas pu répondre aux besoins en terre engendrés par l'explosion démographique.

3.2. Milieu physique et sociétés rurales.

Pour qui connaît l'Afrique, le climat équatorial à quatre saisons des hauts plateaux rwandais paraît clément : les températures sont douces et égales, la pluviométrie, à travers les moyennes, régulière et abondante. La réalité perçue par les paysans est autre : averses torrentielles, saison des pluies décalée, sécheresses prolongées, irrégularités interannuelles sont d'autant plus sensibles que l'évolution récente a conduit à la mise en valeur de terroirs marginaux, car le Rwanda est, avant tout, une région de transition bioclimatique entre les vastes zones de savane à climat tropical sec du sud Kenya et de la Tanzanie et le climat équatorial de la cuvette du Zaïre, à l'origine du plus vaste ensemble de forêt hygrophile d'Afrique.

Ce caractère fondamental pour expliquer la morphogenèse et la pédogenèse quaternaires, ressort encore aujourd'hui dans les paysages comme dans les chiffres. Le total pluviométrique augmente d'est en ouest avec l'altitude ; ainsi le secteur de la frontière tanzanienne reçoit à peine 600 mm, tandis qu'à l'ouest, les stations de la crête Congo-Nil dépassent 2 500 mm, il quadruple donc en 100 km en fonction d'une élévation en altitude de l'ordre de 2 000 m. Cette pluviométrie est bien répartie sur l'ensemble de l'année avec des maxima d'avril-mai et, secondairement, d'octobre-novembre. La saison biologiquement sèche, inexistante sur la crête, est de 1 à 2 mois au-dessous de 2 000 m, atteint 3 à 4 mois sur le plateau central et 5 à 6 mois dans l'extrême-Est. A cela se superpose une augmentation des températures moyennes : 14° à 2 500 m sur la crête, 21° à 1 300 m dans l'Akagera et, surtout, une durée de l'insolation incomparablement plus grande à l'est que sur la dorsale, perpétuellement noyée dans la brume et les nuages. Autrement dit, l'évapotranspiration potentielle augmente vers l'est et renforce la sécheresse climatique.

Cependant, ce sont les irrégularités interannuelles et intermensuelles des précipitations qui exercent la contrainte la plus forte sur l'agriculture. La date de début de la grande ou de la petite saison des pluies, la durée et l'intensité de la petite saison sèche conditionnent étroitement la réussite des semis et des récoltes, elles peuvent perturber gravement les calendriers agricoles.

A coté du climat, les variations lithologiques introduisent des différences dans les types de cultures et dans l'intensité de la mise en valeur. On peut dire que lorsqu'il en a la latitude, le paysan essaye de s'adapter aux caractéristiques dynamiques et morpho-pédologiques des différents types de versants.

Ainsi, par exemple, sur les versants rocheux, ils distinguent, par expérience, les sols sur granites et ceux sur quartzites. En effet, les premiers contiennent toujours une proportion plus ou moins élevée de ferromagnésiens fournissant des particules colloïdales et des sols de texture sablo-argileuse ou sablo-limoneuse facilitant l'existence d'un complexe absorbant saturé ou faiblement désaturé donnant un support agronomique convenable. Par contre, les seconds donnent des sols sableux ou même granuleux, pratiquement sans éléments fins, pauvres en bases et à complexe absorbant fortement désaturé. Un profil très courant sur les versants quartzitiques montre un horizon de surface organique, humifère, de quelques centimètres d'épaisseur, résultant de la décomposition des graminées, se mélangeant vers le bas à une arène sableuse, grossière, blanchâtre, horizon minéral complètement lessivé.

Le résultat est que, si les versants en roches granitiques sont intensément exploités dès que les sols y subsistent, les versants quartzitiques ne sont mis en culture que dans les secteurs de grande pression démographique du Centre et de l'Ouest, là où le climat est assez humide pour compenser leur forte perméabilité. Mais à l'Est de l'Akanyaru, ils sont livrés à la friche ou au pâturage, et c'est au pied de ces reliefs, là où les colluvions apparaissent, que se concentrent habitations et cultures. Dans un cas comme dans l'autre, l'opposition est frappante. Ainsi, sur les dômes granito-gneissique, les cultures (généralement haricot ou pois suivant l'altitude) couvrent tout ce qui est cultivable entre les plaques de roche nue, tandis qu'au pied des barres de quartzites, l'apparition des cultures se fait suivant une ligne qui indique de façon certaine le passage de la zone à ablation prédominante à la zone d'accumulation colluviale.

Le second caractère général que nous soulignerons est l'adaptation du système de cultures aux particularités de l'évolution morpho-pédologique. Nous choisirons l'exemple typique de la bananeraie. Elle occupe entre 20 et 25 % de la surface cultivée et est localisée de préférence sur les sols les plus gras et les plus riches, c'est-à-dire sur les colluvions profonds et humides de bas de versant ou de tête de vallon. Dans un pays où la bière de banane joue un rôle alimentaire et surtout social considérable, où elle peut apporter un peu d'argent à des économies paysannes faiblement monétarisées, le bananier est partout cultivé jusqu'à l'extrême limite de son aire écologique, qu'il s'agisse de la crête Congo-Nil (où, au-dessus de 2 000 m, les températures nocturnes sont trop basses) ou de l'Est du pays (où la pluviométrie est trop faible).

La bananeraie protège parfaitement les sols colluviaux que leur granulométrie et leur manque de cohérence rendent très sensibles à l'érosion. Non seulement elle limite l'impact direct des gouttes, mais, par l'intermédiaire des troncs et des feuilles tombés sur le sol, par l'intermédiaire aussi des herbes qu'entretient ce micro-milieu, elle les protège du ruissellement. En second lieu, la décomposition sur place du volume important de matière végétale que constituent chaque année les troncs et les feuilles, contribue à entretenir la fertilité des sols. En outre, la bananeraie jouxtant l'habitation, elle en reçoit tous les déchets, qu'il s'agisse des cendres du feu ou des excréments. Objet de tous les soins, elle n'épuise pas les sols.

Ces adaptations s'expriment plus ou moins en fonction des contraintes exercées par le climat, mais aussi en fonction de celles, tout aussi fortes, liées à l'évolution sociale et démographique de ces sociétés, car dans ce système de microfundia vouées à l'autosubsistance les agriculteurs ont de moins en moins la possibilité d'une adaptation fine aux potentialités différenciées des milieux.

3.3 Les conséquences sur le système rural

La pression démographique provoque la mise en valeur de terres marginales où les rendements sont moins bons : partie amont des versants quartzitiques, savanes de l'est, et, dans une moindre mesure, le déboisement, et la mise en valeur des marais entraînant une diminution importante de la surface consacrée aux pâturages. La réponse à l'accroissement de la population a donc surtout consisté à étendre les surfaces cultivables (environ la moitié de toutes les terres disponibles), plutôt qu'à augmenter les rendements agricoles. Ces derniers ont même eu tendance à diminuer, ce qu'illustre partiellement l'évolution du produit intérieur brut, dont la croissance - estimée à 2,5 % par an - se situe à présent bien en dessous du taux d'accroissement de la population. La productivité théorique est passée entre 1966 et 1983 de 7,5 à 7,6 t/ha tandis que la surface cultivée, elle, doublait.

La réorganisation spatiale de la production qui en découle au niveau des exploitations se traduit de différentes manières et d'abord par une atomisation du parcellaire. A l'intérieur même des exploitations dont la taille moyenne, aujourd'hui n'excède pas 1ha, les parcelles ont vu leur superficie diminuer. La logique traditionnelle de multiplication des cultures et de complantation a été renforcée devant l'augmentation des risques de récolte insuffisante. Traditionnellement,

chaque exploitation couvre l'ensemble des zones écologiques d'un versant, mais cela est de plus en plus difficilement réalisable. Les besoins en terres nouvelles ne pouvant être satisfaits, l'agriculture rwandaise risque donc d'être confrontée à un pari impossible : augmenter très fortement la productivité d'un système traditionnel qui montre aujourd'hui ses limites, sur des exploitations toujours plus petites et morcelées.

On observe aussi une évolution des superficies consacrées aux différents groupes de produits, ce qui traduit autant un souci d'augmentation de la "rentabilité nutritive" des terres que les aptitudes limitées ou différentes des terres marginales mises en valeur. C'est probablement ces deux groupes de causes qui expliquent le quasi quadruplement en quinze ans des surfaces en tubercules (patate douce, manioc...) et l'augmentation très nette des légumineuses (haricot surtout) et des bananeraies.

L'essor des tubercules diminue la protection du sol qu'offrait l'association sorgho/haricot. Patates douces du centre, manioc de l'Est ou pomme de terre de la crête ou du piémont, n'assurent que très mal ce rôle. Les rangées de plans de manioc, souvent espacées de 1 m, laissent libre cours au ruissellement. Il faut ajouter que sur les hautes terres ce type de culture est associé à des sols pauvres, des pentes fortes et longues, affectées d'averses violentes.

Ces nouvelles tendances du système agro-vivrier sont d'autant plus inquiétantes qu'elles se conjuguent à la diminution du cheptel bovin qu'accompagne une généralisation du surpâturage. Depuis 1975, date à laquelle une forte baisse des effectifs du bétail est remarquée (taux de régression de 1,6 % entre 70 et 75 et de 7,2 % en 1975), on enregistre une diminution régulière et continue. Dans le système traditionnel, l'élevage est associé aux cultures, ce qui permet une fertilisation naturelle et régulière des soles, au moins de celles situées près des ruzi. Ce système agro-pastoral était particulièrement développé dans les régions du plateau central, qui étaient les plus cultivées car les plus densément peuplées ; ce système contribuait à assurer la stabilité et la régénération des sols.

Si la région du plateau central, la plus peuplée, a depuis longtemps du mal à maintenir des superficies pâturables, cette possibilité est définitivement compromise aujourd'hui du fait de la pénurie de terres. Ce phénomène est aggravé par le fait que les zones qui portent les densités les plus élevées, ne possèdent pas les pâturages les plus productifs. Les pâturages possédant les capacités de charge les plus élevées sont les régions du Nord-Ouest, situées à plus de 2 000 m d'altitude (1 à 2 têtes par ha). Quant au plateau central qui possède encore le bétail le plus dense (2 à 3 têtes par ha), sa capacité de charge est largement dépassée, car parmi les plus faibles du pays (moins de 0,5 à 1 tête par ha).

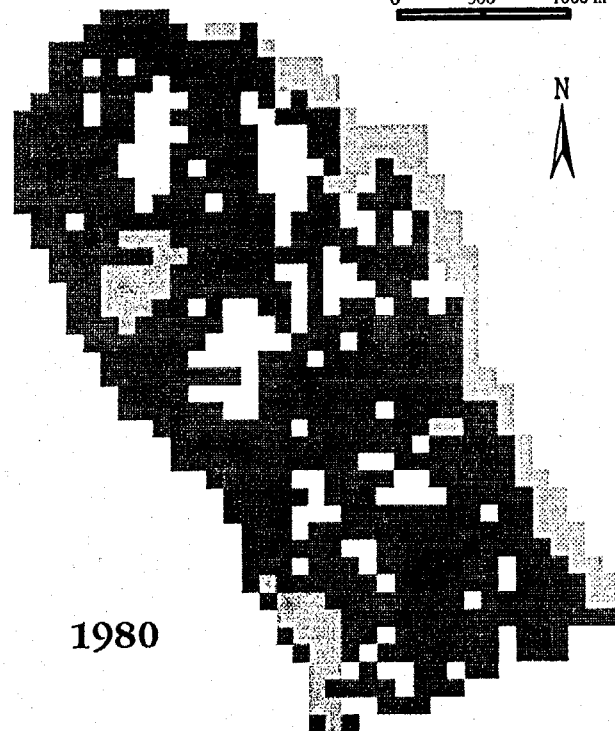
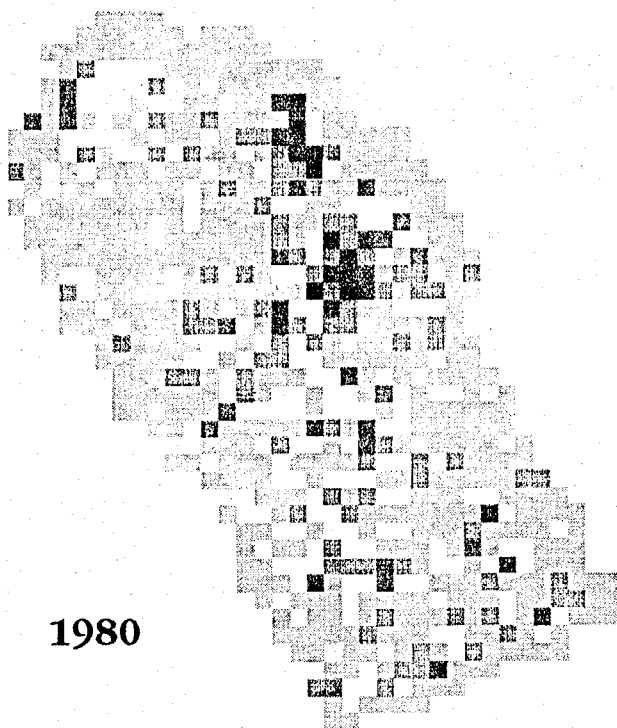
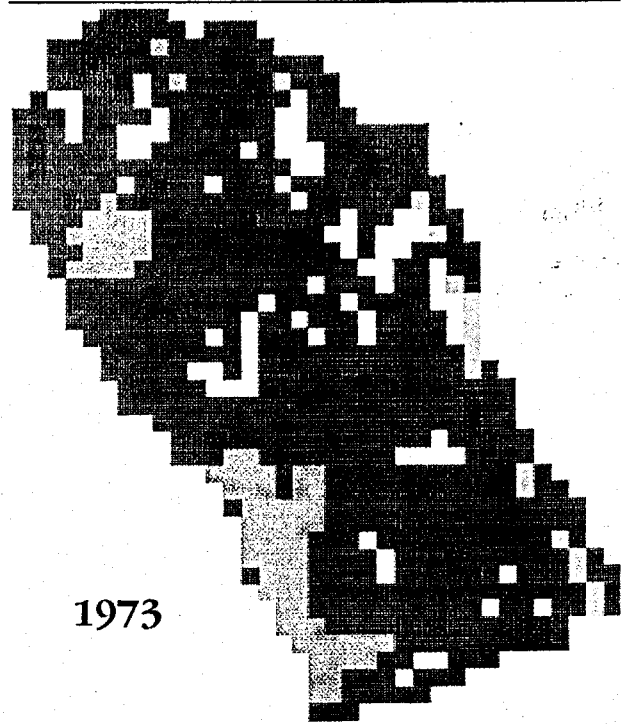
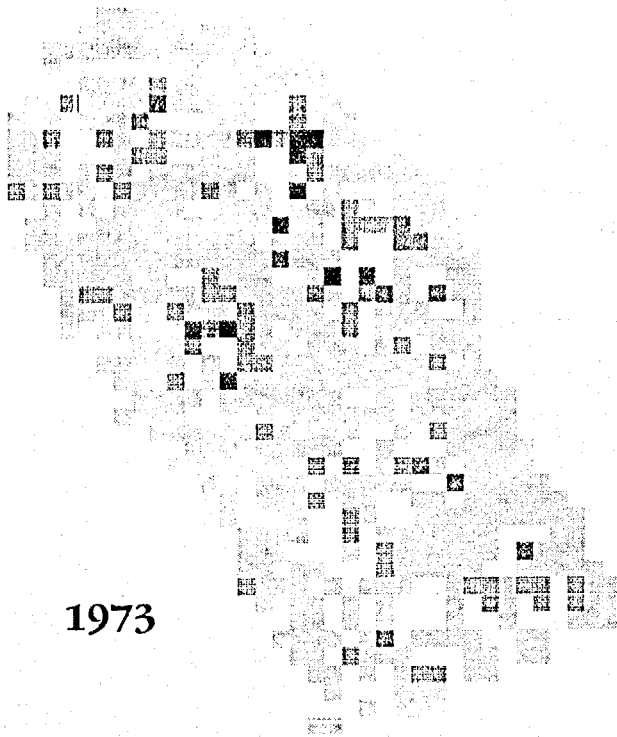
La stagnation de l'élevage entraîne une chute de la fumure organique, utile à la régénération des sols, d'autant plus que du fait des carences croissantes en bois de feu, les excréments sont de plus en plus utilisés comme combustible. Cette carence en matière organique sur des sols de plus en plus intensément exploités augmente leur érodibilité notamment leur manque de cohérence et la fragilité des agrégats pénalisés par cette absence. Le surpâturage quant à lui, aboutit à la dégradation croissante d'une couverture végétale déjà partiellement insuffisante, et par conséquent à l'augmentation des effets du ruissellement, aggravés par le piétinement des troupeaux qui favorisent la concentration en rigoles.

Le système agro-pastoral connaît donc une véritable crise : le surpâturage, la stagnation des effectifs bovins, l'essor des tubercules, la colonisation agricole des pâturages d'altitude, en sont les symptômes. Cette crise est à la fois cause et conséquence de l'inadéquation croissante des méthodes de culture et des techniques employées. Celles-ci ont dû être modifiées partiellement face à l'explosion démographique, et cette adaptation conjoncturelle a des effets néfastes sur la fertilité et la régénération des sols.





Sur un autre plan, le rapport à la terre change. La mobilité des hommes observée pendant de nombreuses années arrivant à son terme au sein du milieu rural par la disparition des zones

Secteur Tare, dynamique du peuplement et de l'occupation des sols entre 1973 et 1980





AMELOT, 1994



HABITAT

| | 1973 | 1980 | |
|---|--------|--------|------------|
|  absence d'habitat | 518 ha | 472 ha | (- 8,9 %) |
|  1 rigo | 208 ha | 205 ha | (- 1,4 %) |
|  2 ingos | 67 ha | 92 ha | (+ 37,3 %) |
|  3 ingos et plus | 22 ha | 46 ha | (+ 109 %) |

OCCUPATION DES SOLS

| | 1973 | 1980 | |
|--|-------|--------|------------|
|  Culture de bas fonds | 16 ha | 75 ha | (+ 368 %) |
|  Bananeraie | 78 ha | 133 ha | (+ 70,5 %) |
|  Pâturages | 76 ha | 36 ha | (- 52,6 %) |
|  Boissements | 52 ha | 74 ha | (+ 42,3 %) |

d'accueil possibles, une nouvelle mobilité est observée par l'accélération des transactions sur des terres déjà cultivées et son importance témoigne de la saturation des terres disponibles par héritage ou par attribution officielle. Dans un même souci d'optimiser les possibilités d'utilisation d'un espace de plus en plus fermé, la mise en culture de la terre lors de chaque saison agricole s'accompagne d'un processus complexe de prêts, d'échanges et de locations de cette terre.

Les tendances démographiques actuelles conduisent, on le constate, à des impasses foncières, agronomiques, alimentaires, et à un profond bouleversement de la société et de l'occupation de l'espace. Dans ces conditions, la préservation du potentiel agro-pédologique est aujourd'hui, pour le Rwanda, une question vitale.

3.5. Les conséquences sur la dynamique des versants.

De façon générale, les paysans rwandais ont depuis fort longtemps compris les dangers d'érosion issus de la culture sur forte pente, de ce fait, dans le système traditionnel, les labours s'opéraient de préférence perpendiculairement à la pente, afin de freiner les effets du ruissellement et favoriser l'infiltration.

De la même façon, la culture sur billons, bien que peu utilisée jusqu'à ces dernières décennies, était fort bien connue au Rwanda, permettant à la fois d'exonder les racines des plantes, d'accumuler les résidus organiques superficiels, et chaque année en saison des pluies, de régénérer les sols en épandant les billons. Il faut ajouter que le travail du sol en utilisant l'araire, convient parfaitement à leur faible épaisseur. Ce travail permet de faciliter l'infiltration sans toutefois perturber la structure. Toutefois, les pratiques anciennes qui sont employées encore aujourd'hui, ne sont pas toutes aussi judicieuses.

Le calendrier agricole employé par les paysans rwandais n'est pas forcément favorable à la protection des sols. L'inconvénient majeur réside dans le fait que la période de labour est réalisée en fin de petite ou de grande saison sèche ; en effet, pour la plupart des cultures, le labour s'effectue en août-septembre et/ou en janvier-février.

L'ensemencement succède rapidement au labour, mais le sol reste à nu quand les premières pluies tombent ; or les pluies de mars sont particulièrement agressives. De la même façon, les pluies d'octobre-novembre, bien que généralement moins violentes, tombent sur un sol partiellement nu et, de surcroît, fortement desséché par la longue saison sèche, surtout dans les régions orientales. Il semble donc que labours et semis soient trop tardifs pour que les cultures puissent assurer une fonction de protection efficace.

Le système de rotation des cultures n'est pas sans inconvénients non plus. En effet, les pommes de terre et les patates douces se situent en tête de rotation, et sont cultivées la plupart du temps sur des parcelles fraîchement défrichées ou jusque là laissées en jachère. Ceci a l'inconvénient d'appauvrir considérablement les sols dès la première culture, et les rendements des cultures suivantes seront pénalisés. Le manioc, quant à lui, est cultivé en fin de rotation, juste avant la jachère (lorsqu'elle est encore respectée) et donc, sur des sols déjà partiellement épuisés, qui ne donneront que des rendements médiocres. Il semble par conséquent que la place des tubercules dans l'assolement ne soit ni en début ni en fin de rotation, tant que des cultures améliorantes ne seront pas introduites dans le système. Il convient d'ajouter que la pression foncière réduit, quant à elle, non seulement les superficies consacrées à l'élevage, et donc la quantité de fumier, mais également les possibilités de jachère.

La tendance renforcée à l'autarcie au niveau de l'exploitation conduit à cultiver sans respect des aptitudes réelles des sols et, surtout, sans tenir compte du danger d'érosion : on cultive un peu de tout partout. Et lorsque le paysan tente de tenir compte des potentialités de son exploitation, l'adaptation joue souvent en faveur d'une accentuation de l'érosion. Ainsi voit-on surtout du manioc, assez peu exigeant, sur les défrichements opérés aux dépens des

reboisements d'eucalyptus ou des pâturages localisés sur les sols minces et pauvres situés sous les sommets des barres de quartzites ou à mi-versant, juste à l'accélération de pente des collines convexes du plateau central. Il va de soi que les rendements de ces sols sont particulièrement médiocres. La maigre rentabilité s'ajoute donc à une réactivation de l'érosion dans ces zones fragiles.

De ce fait, il semble que les paysans rwandais entrent dans une sorte de cercle vicieux : les sols sont de plus en plus intensément exploités, ceci a pour conséquence de limiter l'élevage, la jachère, la rotation des cultures et l'adaptation du calendrier cultural. De ce fait les sols s'épuisent plus vite, l'érosion se développe et du fait de la chute des rendements, l'autosuffisance est de plus en plus mal assurée.

Aujourd'hui encore, l'érosion paraît limitée mais çà et là, apparaissent des griffes d'érosion, des ravines et des mouvements de masse parfois spectaculaires. Cette situation est encore celle de la plupart des versants, mais on note dans de nombreux vallons un colluvionnement actuel intense. Il est donc permis de se demander si l'intensification des cultures et la mise en valeur de terres marginales traditionnellement en friche ou en bois, conséquence de la pression démographique, ne se traduit pas par une accentuation de la vitesse de l'usure des versants, celle-ci atteignant un seuil au-delà duquel la régénération des sols devient physiquement impossible.

La première conséquence, et la plus immédiatement préoccupante, est la baisse de productivité des sols. Les causes en sont multiples. L'abandon de la jachère et la généralisation de la seconde saison de cultures provoquent une accentuation du lessivage des horizons superficiels et une baisse de la restitution de matière organique. De même le manque de bois de feu incite les paysans à utiliser comme combustible la bouse de vache et les résidus agricoles. Enfin, la réduction des pâturages et la diminution du cheptel privent l'agriculture d'un apport substantiel de fumier.

Plus inquiétante encore est l'apparition de ravinements sur des bassins-versants qui en étaient dépourvus. En effet, les ravines d'érosion étaient, il y a une dizaine d'années, peu courantes. On les observait exclusivement sur les champs travaillés juste avant la saison des pluies, leur ampleur était limitée et elles disparaissaient avec la nouvelle saison de culture.

Actuellement, ces rigoles sont assez fréquentes sur les pentes les plus fortes, en particulier sur les versants quartzitiques, et deviennent permanentes, s'étendant et s'approfondissant à chaque saison des pluies. Là encore, l'extension d'un processus habituellement assez marginal, indique une tendance à la rupture d'un équilibre morphodynamique dont un seul paramètre a qualitativement et quantitativement changé : la pression exercée par l'homme sur le milieu. Plus exactement, elle exprime vraisemblablement une inadaptation croissante des techniques de production traditionnelles qui, intensifiées par suite de l'accroissement démographique, deviennent alors prédatrices vis-à-vis d'un milieu auquel elles étaient bien adaptées. Cette recrudescence de l'érosion est aussi la conséquence des mutations dans le fonctionnement du groupe social.

Dans le système traditionnel, l'organisation du terroir était sous la responsabilité d'un chef coutumier auprès de qui les nouvelles familles désireuses d'avoir une exploitation agricole devaient se présenter. Lorsque l'accroissement démographique naturel exigeait qu'on accédât à d'autres terrains agricoles, le conseil de lignage se concertait pour déterminer les familles qui devaient partir à la recherche d'autres terres sous la responsabilité d'un nouveau chef. Celui-ci reconstituait le hameau familial dans les mêmes structures d'organisation sociale et spatiale.

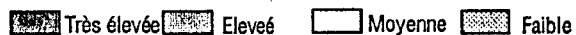
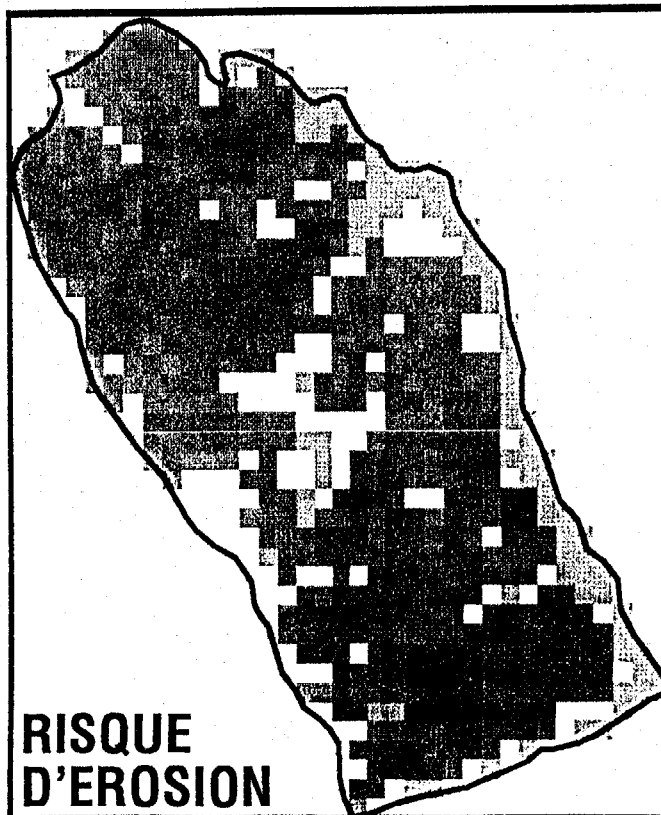
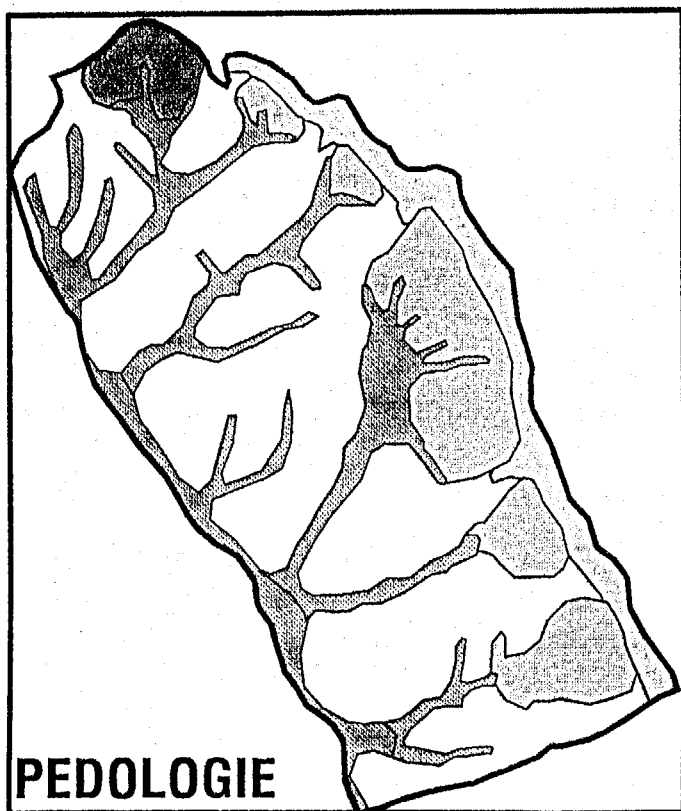
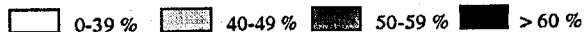
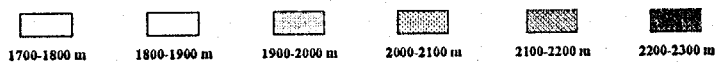
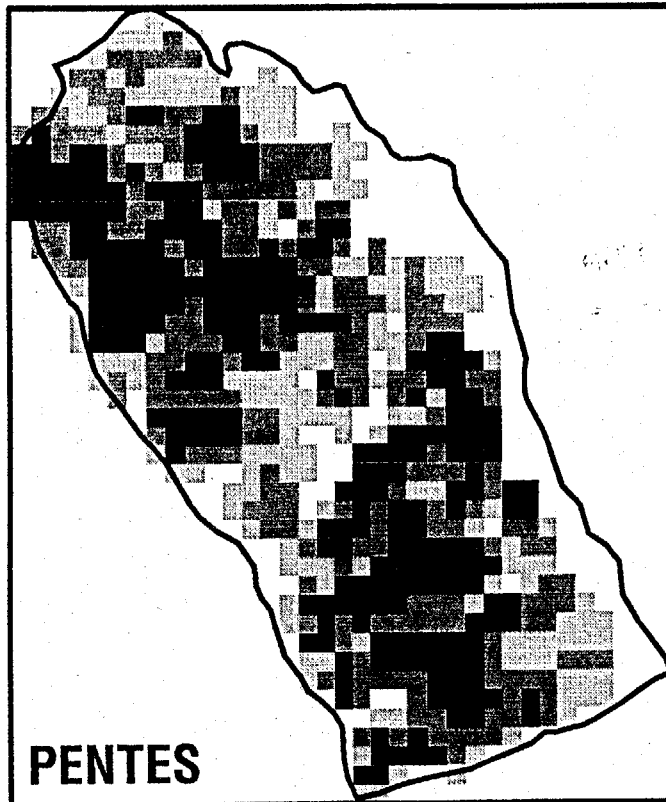
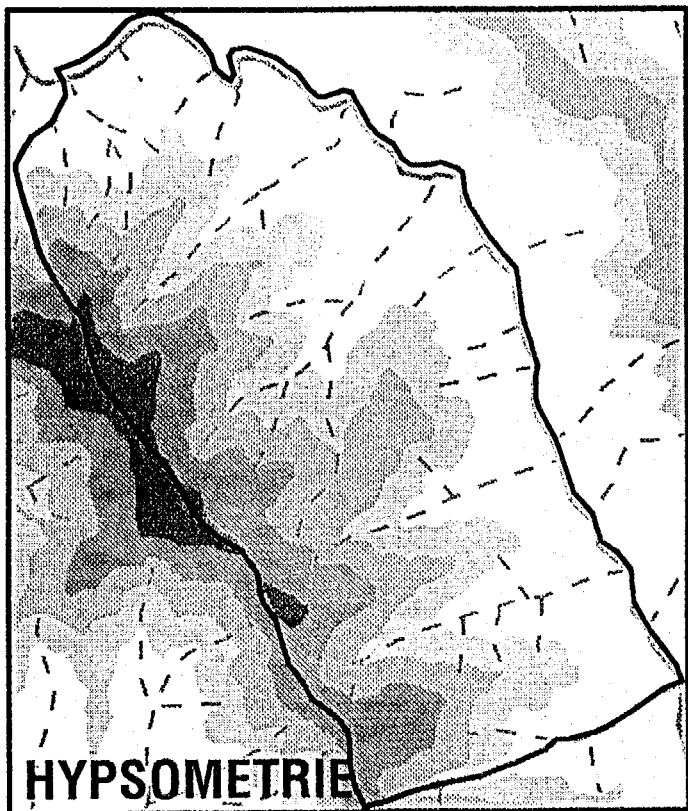
Lorsque l'éviction de l'autorité du patriarche familial sur la gestion des terres survint, l'émigration individuelle et la dispersion de l'habitat eurent un impact important sur l'économie agricole et sur l'environnement. Elle provoqua le morcellement des exploitations, une compétition dans l'appropriation de l'espace agricole avec peu d'organisation dans la gestion et

Secteur Tare

0 500 1000 m



AMELOT 94



dans l'exploitation des ressources, une insécurité foncière ayant conduit au défrichement de zones écologiquement fragiles, un renforcement de l'autosubsistance de survie.

En conclusion, on constate qu'au Rwanda la poussée démographique entraîne une déstructuration sociale dont les conséquences en termes d'occupation et d'organisation de l'espace retentissent sur l'équilibre morphodynamique des versants. La reproduction des structures des groupes sociaux et des modes d'occupation de l'espace sont devenus impossibles dans un contexte où l'entassement sur place (la population va doubler en 27 ans) ne peut trouver de solution dans l'émigration vers un réseau urbain, embryonnaire, ou vers des régions encore vides de l'espace national.

4. LE TAM DAO (VIETNAM), LA MONTAGNE EXUTOIRE.

Si les conditions de milieu du Tam Dao sont comparables à celles des deux autres terrains d'étude, il se différencie par contre très nettement par son organisation sociale, ses modes de mise en valeur de l'espace, et par l'impact sur les sociétés de son histoire politique et économique contemporaine. En un demi-siècle se sont succédés la fin de la colonisation, l'instauration d'un système communiste rigoureux, puis, depuis 1986, une rapide décollectivisation. A ces bouleversements se sont superposés les conséquences économiques et sociales de trente années de guerre qui ont largement contribué, à côté de l'économie centralisée, à maintenir ce pays dans le sous développement.

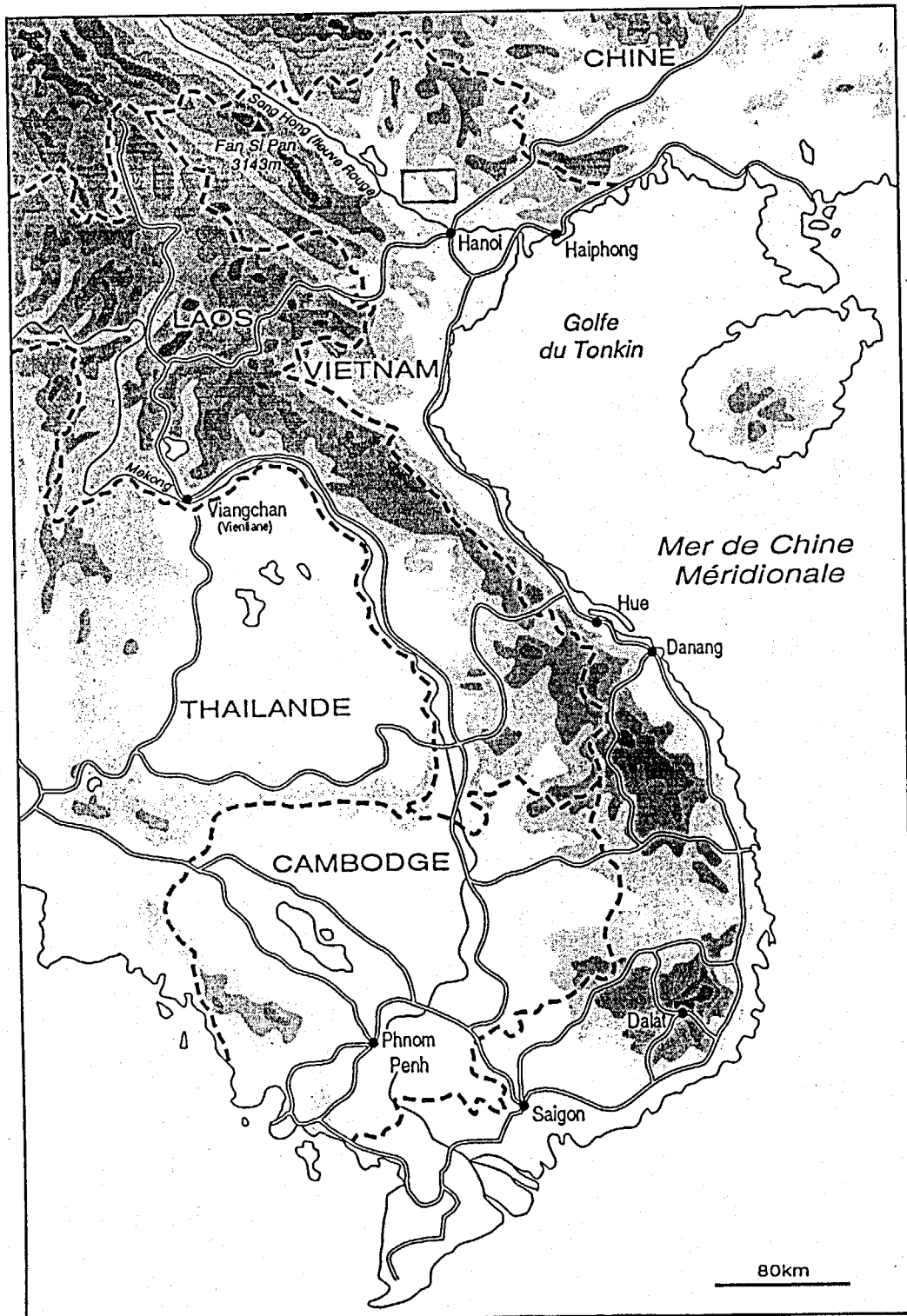
4.1. - Le Tam Dao, esquisse d'une caractérisation.

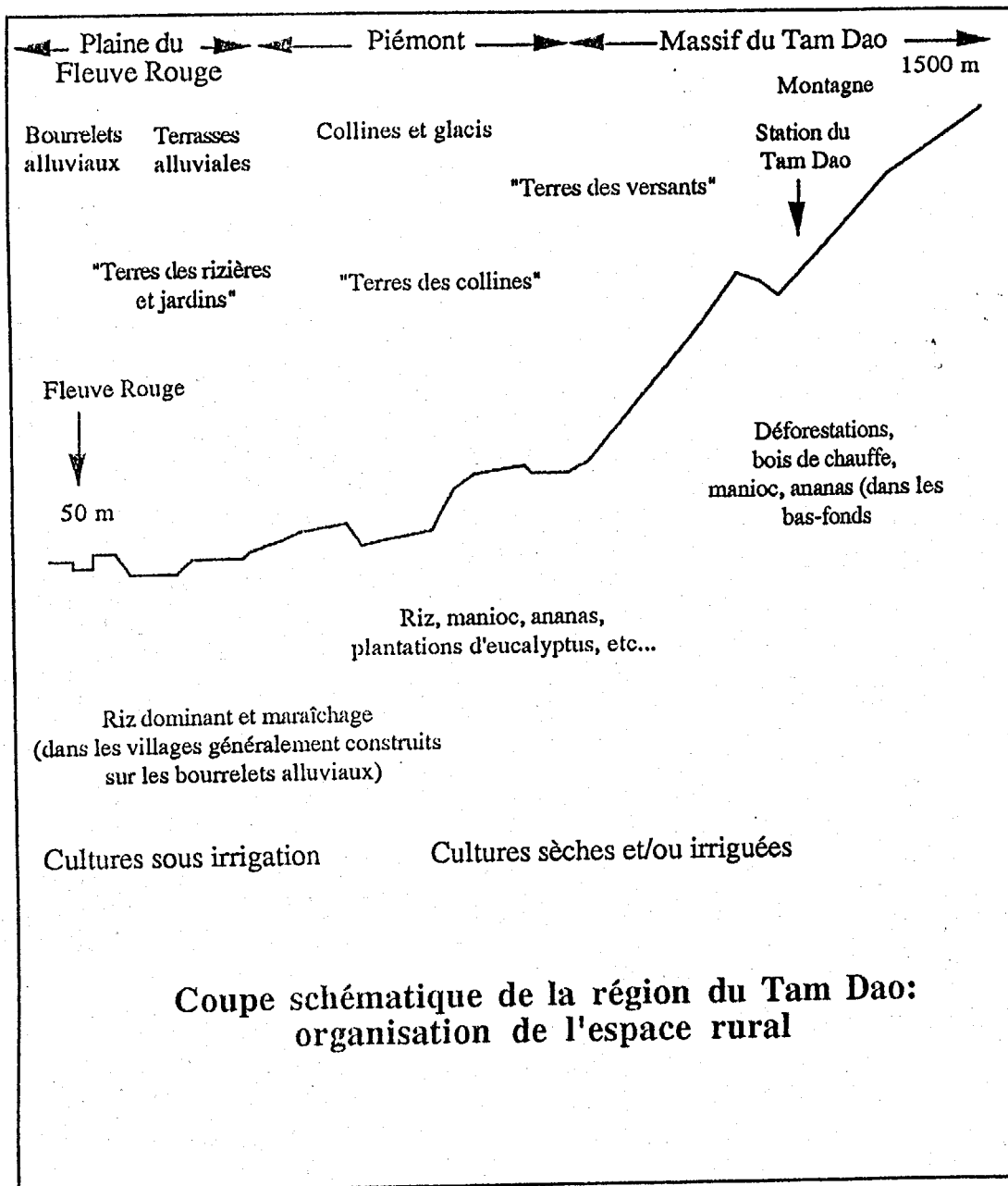
La région du Tam Dao est soumise à un climat ponctué par une mousson d'été (avril à septembre) et une mousson d'hiver (octobre à mars). A la différence des milieux tropicaux proprement dits il existe un hiver durant lequel les températures absolues peuvent chuter au dessous de 10°, surtout lorsque soufflent les vents froids du nord-est, provenant de l'anticyclone de Mongolie et canalisés par le fossé du Fleuve Rouge. Durant cette période, les précipitations sont faibles et tombent en général sous forme d'un crachin qui peut durer plusieurs heures. A l'inverse, la mousson d'été est à l'origine de précipitations abondantes : 75 % des précipitations annuelles tombent entre mai et septembre, tandis que les moyennes mensuelles de températures se situent autour de 28° en plaine et 22° à 1000 m. d'altitude.

Le massif apparaît comme un demi-horst basculé vers l'Est. Sa limite Ouest, au-dessus du grabben complexe du Fleuve Rouge, est un vigoureux escarpement de faille de plus de 1000 m de rejet, pour l'essentiel pliocène, mais dont les derniers rejeux sont subactuels, déterminant des facettes de faille d'une grande netteté. Sur l'ensemble de ce versant les sols dérivés des quartzites et des migmatites sont faiblement ferrallitiques, minces et acides, désaturés. Ils ont été largement décapés par l'érosion et le plancher d'altération avec son cortège de blocs est partout subaffleurant, à l'exception de quelques secteurs d'accumulation où les racines d'anciennes altérites sont recouvertes par des colluvions, dont une partie semble constituée d'anciennes coulées boueuses, qui remanient les sols ferrallitiques et portent des sols de type A sur C.

Bien que le massif ne dépasse pas 1500m, les effets de l'altitude sur les sols sont cependant sensibles car le gradient thermique est exceptionnellement élevé (0,7° par 100 m), et à partir de 800 à 1000 m les températures sont celles d'un climat subtropical d'altitude à hiver frais et été tempéré. En fonction de ce gradient on peut penser que les sommets du Tam Dao connaissent des moyennes hivernales de l'ordre de 6 à 7° et des étés où elles n'excèdent pas 20°. La décomposition de la matière organique est de ce fait ralentie, tandis que l'individualisation des oxydes métalliques, en particulier du fer, est moins poussée, d'autant plus que les roches mères très siliceuses contrarient l'évolution ferrallitique, en dépit d'un drainage toujours excellent en raison de l'importance de la pente.

CARTE DU VIET-NAM





Finalement, le versant du Tam Dao se présente en fonction de la roche mère, du degré d'érosion, des conditions stationnelles et de l'altitude, comme une marquetterie de sols plus ou moins ferrallitiques, très souvent remaniés et tronqués, ou d'apport à basse altitude, passant progressivement en hauteur à des sols bruns ou gris humifères à tendance podzolique ou à des sols squelettiques d'érosion. Tous ces sols ont en commun leur faible épaisseur, leur acidité, leur faiblesse en bases échangeables. Ils constituent un support de culture médiocre et fragile.

Cette zone était le domaine de la forêt mésophile ou mésophile d'altitude dont il reste sur le versant dominant le Fleuve Rouge quelques lambeaux plus ou moins dégradés, mais qui est bien conservée à l'intérieur du massif. Au-dessus de la plaine, la culture traditionnelle du manioc a conduit à la destruction du maigre potentiel pédologique sur les versants les plus abrupts qui ont été soit reboisés en pins dès la période coloniale, soit abandonnés et colonisés par une maigre prairie plus ou moins buissonnante. Le régime collectiviste contrôlait étroitement les défrichements, mais, depuis la libéralisation économique et la quasi disparition des structures d'encadrement, le Tam Dao fait l'objet de nouveaux défrichements et d'une intense exploitation pour le bois de feu et d'oeuvre.

Au pied de la montagne, les éléments de glacis étagés sont découpés en collines convexes à sommet aplani et portent, sur schistes, des sols ferrallitiques tronqués, parfois jusqu'à la zone de départ. Ils sont agronomiquement très médiocres, tout comme les colluvions très grossiers. Ils ne semblent pas avoir été cultivés, mais les formations arborées qui les colonisaient ont servi de réserve de bois. Ces collines ont été partiellement reboisées en eucalyptus ou abandonnées et colonisées par une brousse arbustive.

L'élément le plus bas est un ensemble de lourdes croupes d'une dizaine de mètres de hauteur, à sommet plat et versants convexes, séparées par de larges vallons à fond plat résultant de l'ennoyage de ce relief de dissection par les riches alluvions qui forment la plaine du Fleuve Rouge.

4.2. Dynamiques sociales et utilisation de l'espace.

Le contraste dans la mise en valeur résultant de la juxtaposition de ces terroirs aux potentialités très différenciées est saisissant. Aux collines plus ou moins pelées s'opposent les bas fonds intensément cultivés en rizières, tandis qu'à l'arrière plan les versants de la montagne sont occupés par une mosaïque de friches, de champs de manioc, de riz ou d'ananas, de reboisements parfois en cours de défrichement. La dynamique de ce paysage témoigne tout à la fois d'une vive pression sur les terres, pression que le carcan politico-administratif était parvenu jusqu'ici à contenir et à masquer, et de la superposition de deux modes très différents d'utilisation de l'espace : une riziculture inondée techniquement très élaborée, base d'un système de production complexe et performant visant à une gestion optimale de l'espace, du temps et de la fertilité, et une agriculture sur brûlis, élémentaire, à base de riz et de manioc, consommatrice d'espace et d'autant plus prédatrice qu'elle utilise un milieu particulièrement fragile.

Cette coexistence pose plusieurs questions: ces deux systèmes sont-ils juxtaposés ou complémentaires ; se rattachent-ils à deux modèles socio-culturels à base ethnique ; à ce titre, la colonisation des versants, terroirs marginaux, à faible rendement, fragiles, rapidement et irréversiblement détruits, résultent-elles exclusivement de l'accroissement de la pression démographique ou est-elle un fait culturel ? Quel a été le rôle de la collectivisation qui ne s'est pas appliquée aux terres de montagne ? Quel est, maintenant, celui de la libéralisation économique qui pousse le paysan à rechercher le profit ? Autrement dit, qui cultive les versants, depuis quand et pourquoi ?

Les réponses sont complexes. Bien qu'à l'origine, la montagne soit le domaine des Sandiu et la plaine celui des Kinh, il ne semble pas exister, actuellement, de différenciation

ethnique nette parmi les paysans qui cultivent les versants, mais les métissages ont pu estomper les traditions culturelles. En effet, seuls certains cultivateurs pratiquent les cultures sèches et ce ne sont pas obligatoirement ceux qui manquent de rizières en plaine.

Dans le district de Tam Dao, près de 85 % de la population est vietnamienne (ou kinh), le reste est composé de minorités dont les deux plus importantes sont celles des Day Toc (5,25 % de la population totale) et des Sandiu (5,10 %). Les densités de population en fonction de la surface agricole utile sont très fortes, en moyenne 850 hab/km². Mais cette moyenne cache de fortes disparités. Les terroirs de plaine peuvent dépasser largement 1000 ha/km² tandis que l'intérieur du massif atteint à peine 20 ha/km².

Les mouvements migratoires ne se sont pas effectués uniquement de la plaine vers la montagne par un véritable front de colonisation. De nombreux paysans Sandiu disent que leurs ancêtres, jadis installés dans la forêt, sont descendus dans la vallée et ont adopté la riziculture inondée, tout en continuant à exploiter de façon discontinue, en fonction des besoins, des champs dans la montagne. Plus récemment, lors de la collectivisation et de la guerre, certains sont retournés habiter à l'intérieur du massif, loin des premiers versants où l'administration contrôlait très étroitement l'interdiction de défricher, allant jusqu'à détruire des récoltes pour reboiser. La montagne est alors apparue comme un espace de liberté et d'individualisme dans un système totalement collectivisé et fortement contraignant.

En effet, l'indépendance s'est traduite par une brutale collectivisation des terres et des moyens de production calquée sur le modèle soviétique. En dépit d'aspects positifs, comme une meilleure gestion de l'eau, l'introduction de techniques culturales, engrais chimiques en particulier, ou de calendriers agricoles plus performants (seconde culture de riz), les rendements diminuèrent. Dans les années 1960, la restructuration des exploitations, une rationalisation plus poussée du travail, véritable taylorisme agricole, des rémunérations égalitaires et démotivantes devait précipiter la faillite du système.

C'est en 1981 que le parti décide d'introduire plus de souplesse: les paysans sont autorisés à organiser eux-même leur travail, les lopins individuels sont reconnus, les rémunérations différenciées, mais c'est à partir de 1986 que la libéralisation économique atteint le monde rural. Les paysans sont autorisés à prendre les terres des coopératives en fermage, à acheter des engrais, à décider du type de culture et à écouler librement les surplus. Il s'ensuit une très forte augmentation de la production rizicole et la disparition des pénuries. Finalement, une loi de 1988 organise, sur la base d'un système particulièrement complexe, marqué par un souci égalitaire, la privatisation des terres et le retour à l'économie de marché.

Sans entrer dans le détail d'une législation qui, à force de vouloir être précise, devient difficilement applicable, nous retiendrons le fait, fondamental pour notre propos, qu'elle ne s'applique qu'aux terres de rizière. La législation appliquée aux terres de versants est beaucoup plus souple et mollement appliquée. De ce fait, la montagne, espace de liberté dans le système collectiviste, devient un espace convoité par ceux qui veulent ou doivent améliorer leurs revenus.

Aujourd'hui, l'interdiction de cultiver demeure mais n'est guère appliquée par une administration en porte à faux avec le libéralisme ambiant, tandis que de nouvelles motivations apparaissent. D'une part, cet espace montagnard qui appartient à l'Etat a donc échappé à la redistribution des terres, qui, dans les faits, s'apparente à une privatisation. Tout un chacun peut s'approprier un lopin de versant. D'autre part à la logique collectiviste a succédé une logique libérale où le profit redevient un objectif de la production. Aussi les paysans sont-ils tentés d'accroître leurs revenus en défrichant, sans grand risque, les îlots forestiers et les reboisements. A la culture du riz et du manioc s'ajoutent de véritables plantations d'agrumes et d'ananas, c'est à dire des cultures purement spéculatives. De plus la coupe de bois de feu et d'oeuvre destiné à alimenter les villes et particulièrement Hanoï, est une source de revenus complémentaires. On comprend alors mieux pourquoi depuis cinq ou six ans on assiste à une

brutale recolonisation des versants et à un recul marqué de la forêt. Ce phénomène alimente des migrations saisonnières pour la mise en culture ou journalières pour la coupe et le transport du bois .

Mais d'autres facteurs interviennent. Ainsi les cultivateurs font-ils remarquer que la mise en culture d'une rizière de versant leur demande 8 à 10 jours de travail pour 0,5 ha environ. Le semis à la volée effectué, ils ne reviendront que pour la récolte. Les rendements paraissent faibles (<1t/ha) en comparaison aux 7-8t/ha en deux récoltes de la riziculture inondée, mais le rapport temps de travail/rendement, élément déterminant, est bien meilleur.

4.3. Les impacts sur l'environnement.

Le premier concerne la dynamique et les modalités de la dégradation du couvert forestier. L'analyse des images SPOT montre que le déboisement s'effectue à la fois par progression d'un front de défrichement sur le versant dominant le Fleuve Rouge et par mitage à l'intérieur du massif. Le caractère anarchique de ces déboisements, en principe interdits, sont, compte tenu de pentes importantes et longues et de pluies de mousson intenses, à l'origine de l'ablation des horizons humifères de surface qui sont la seule richesse de ces sols. La cause de cette dégradation réside dans l'inorganisation de la mise en valeur. Le maintien de la fiction de l'interdiction d'exploiter et l'attitude de l'administration qui feint d'ignorer le phénomène autorise tous les excès. On constate sur les premières pentes qui dominent le fleuve que le résultat final de cette évolution est la complète destruction de ces sols minces, comme en témoignent les versants abandonnés où affleure le plancher d'altération recouvert par une maigre pelouse discontinue.

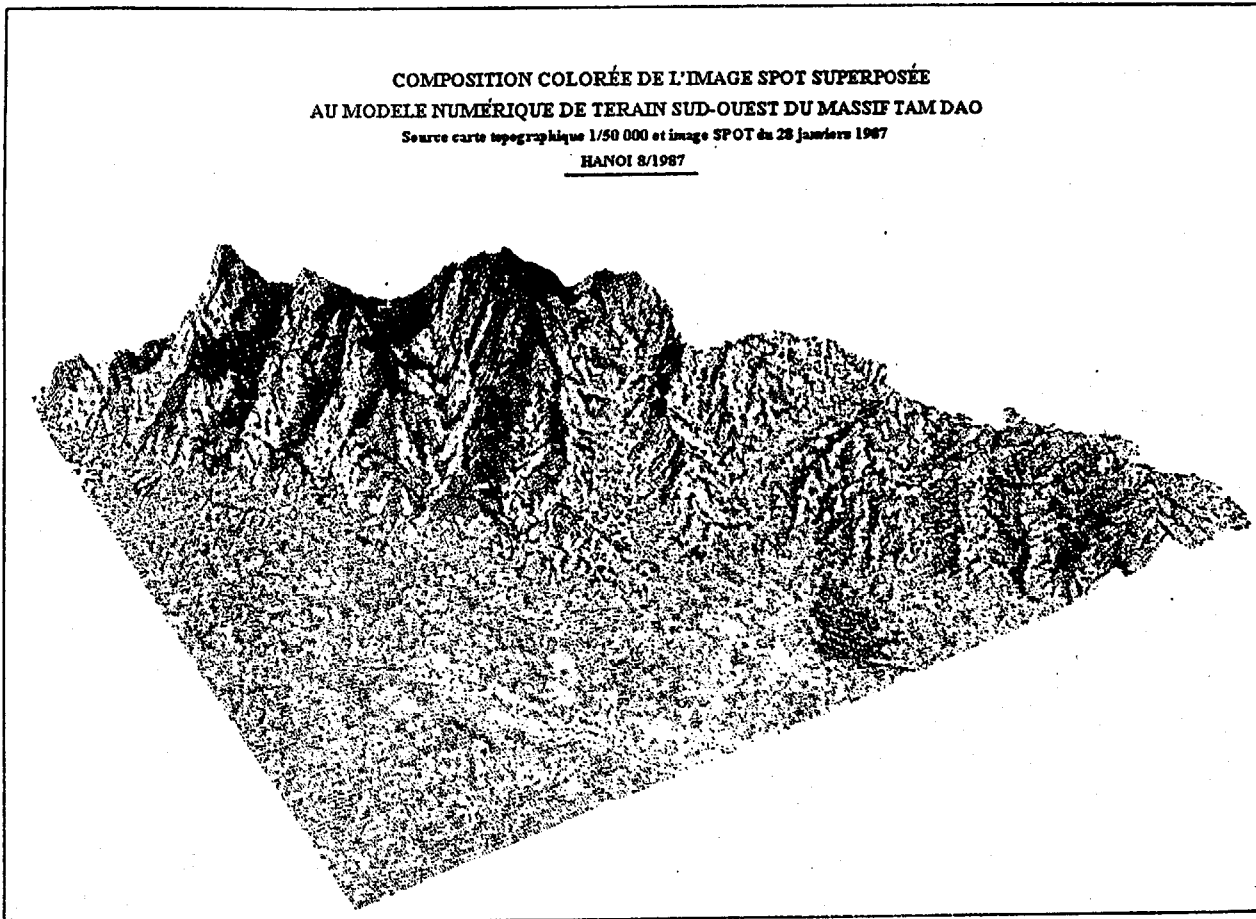
L'évolution des milieux de bas-fonds et de plaines rizicoles est le second problème posé. L'augmentation des densités s'y traduit depuis longtemps à la fois par une intensification des cultures et par leur extension grâce à une meilleure utilisation et à un contrôle hydraulique plus poussé. Mais la récupération des terres marginales pour la riziculture, son intensification par un meilleur contrôle de l'eau, à des limites pédomorphologiques strictes qui sont déjà atteintes dans beaucoup de communes et suppose le maintien d'un minimum de gestion collective des terres.

Or, la privatisation, si elle a dopé la production, a aussi des aspects négatifs. Ainsi, l'entretien des installations collectives d'irrigation est moins soigneux et la gestion de l'eau donne naissance à de multiples conflits. Plus grave, la consommation d'engrais chimiques s'est effondrée, les paysans ne peuvent plus les acheter au prix du marché. On peut se demander si le renouvellement de la fertilité va continuer à être assuré dans ce contexte.

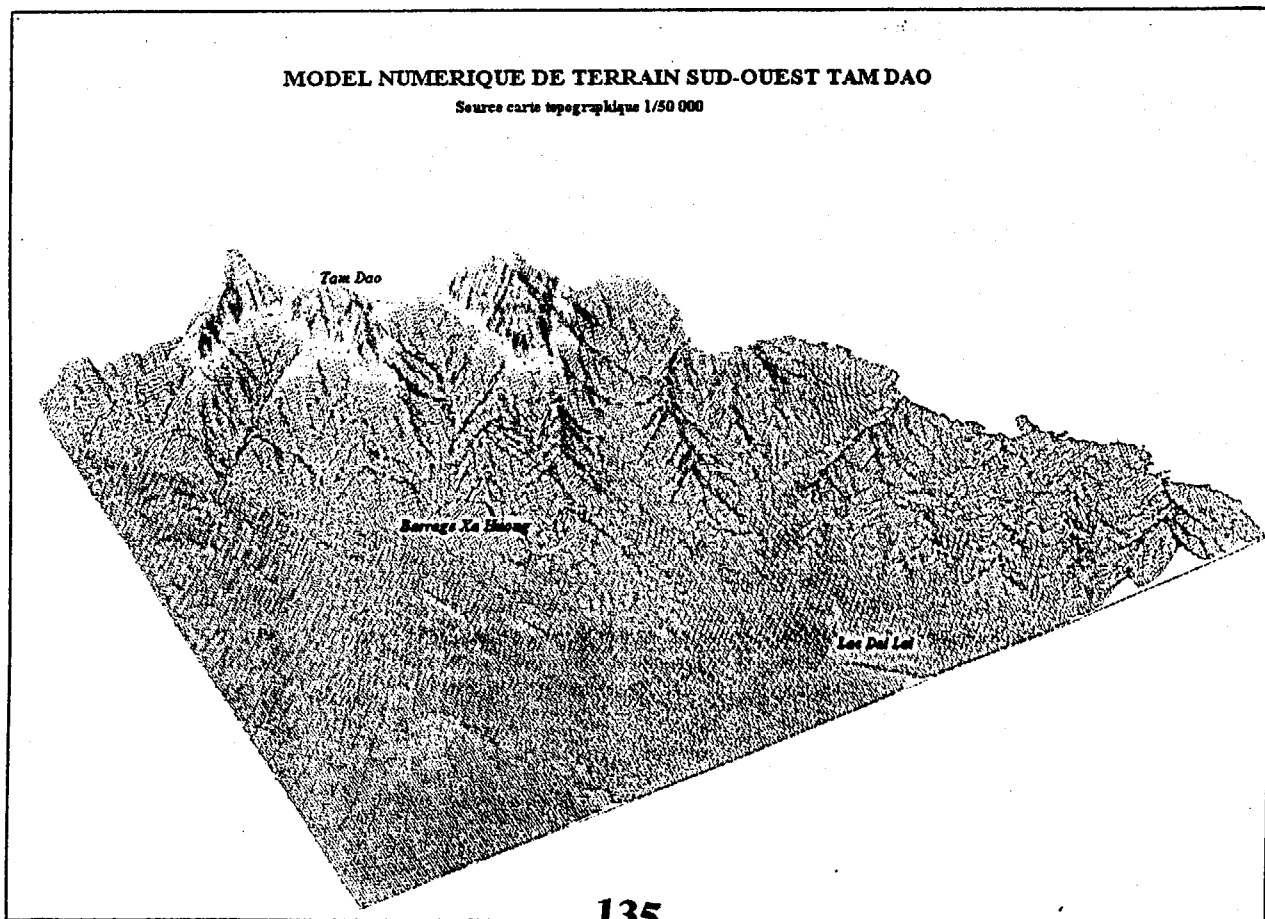
Une troisième question est celle des conséquences dans la plaine de l'occupation anarchique de la montagne. Le déboisement des fortes pentes très arrosées et l'ablation des sols provoque une modification du régime hydrologique des écoulements concentrés. Les inondations en plaine sont plus fréquentes et leur extension augmente. Parallèlement, la charge en éléments grossiers s'accroît. Dans les zones inondables, les argiles et les limons qui assurent l'apport en éléments minéraux sont peu à peu remplacés par des sables. Les conditions d'une rapide dégradation des milieux de la région du Tam Dao sont maintenant réunies.

Au total, il apparaît que la recrudescence actuelle de l'érosion dans le massif du Tam Dao est due à une mise en valeur inadaptée et incontrôlée provoquée par l'effacement de l'autorité et la brusque réhabilitation des lois du marché et du profit individuel. Les populations, très pauvres, cherchent à augmenter leurs ressources. Ce phénomène est d'autant plus marqué qu'après des dizaines d'années de pénurie, l'offre de produits de consommation augmente et que les médias commencent à répandre l'image stéréotypée du modèle occidental de consommation.

COMPOSITION COLOREE DE L'IMAGE SPOT SUPERPOSEE
AU MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN SUD-OUEST DU MASSIF TAM DAO
Source carte topographique 1/50 000 et image SPOT du 28 janvier 1987
HANOI 8/1987



MODEL NUMERIQUE DE TERRAIN SUD-OUEST TAM DAO
Source carte topographique 1/50 000



Conclusions.

Dans la région de Guaranda, la cause fondamentale de la déstabilisation des versants est la structure duale de la société, où les inégalités économiques recourent des modèles ethnico-culturels, conditionne l'accès à la terre ainsi qu'une organisation et une utilisation inadaptée de l'espace. En ce sens, l'organisation du paysage reflète bien le dysfonctionnement de la société et l'on peut parler d'érosion d'origine sociale. L'accroissement naturel ne joue pas, de ce point de vue, de rôle déterminant dans la mesure où les migrations permettent le maintien d'une pression démographique acceptable sur les terres.

Au Rwanda, la démographie galopante, l'absence de migrations à l'extérieur d'un espace national relativement réduit et en passe d'être saturé, conduit à l'effacement des techniques traditionnelles d'organisation et de gestion, bien adaptées aux caractéristiques du milieu. Contrairement à l'Équateur, aucun clivage ethnico-culturel n'est perceptible dans l'organisation du paysage. Par contre, l'entassement sur place rend impossible la reproduction du modèle d'organisation sociale et spatiale. Cette désadaptation entraîne l'apparition ou le développement de phénomènes d'érosion jusqu'ici discrets. On est là dans le cas d'une érosion dont l'origine est le croît démographique.

Dans le Tam Dao, la crise morphopédologique, récente, est directement liée au brusque changement de politique opéré à partir de 1981 et renforcé en 1986. Le bouleversement des règles du jeu économique et social entraîne la réhabilitation de l'initiative et du profit individuel et l'effacement, peut-être provisoire, de l'autorité de l'administration. La mise en valeur ancienne, très différente, de la plaine et de la montagne correspond d'une part au modèle Kinh, d'autre part au modèle Sandui. Ces différences qui avaient été progressivement gommées par la sédentarisation des Sandui en plaine, ont resurgi, discrètement, durant la période collectiviste. Aujourd'hui, les cultures sèches sur brûlis sont indifféremment pratiquées par les deux ethnies.

En définitive, au delà des particularités des milieux physiques, l'étude met en évidence trois dynamiques socio-spatiales différentes qui conduisent toutes, à partir de causes diverses, à une inadaptation ou à une désadaptation des techniques de production et d'organisation de l'espace rural et, finalement, à la rupture de l'équilibre des versants.

MINORQUE OU L'EXCEPTION EN MEDITERRANEE UNE ILE SANS EROSION

Jean BISSON, Professeur émérite, Université François-Rabelais, Tours

Yvette VEYRET, Professeur à l'Université Paris VII. (Membre du Laboratoire de Biogéographie-Ecologie, URA CNRS 1514, Ecole Normale Supérieure Fontenay-Saint-Cloud)

Tomas VIDAL, Catedratico de Geografia à l'Université de Barcelone. Directeur de l'Institut Menorqui de Estudis (Mahon)

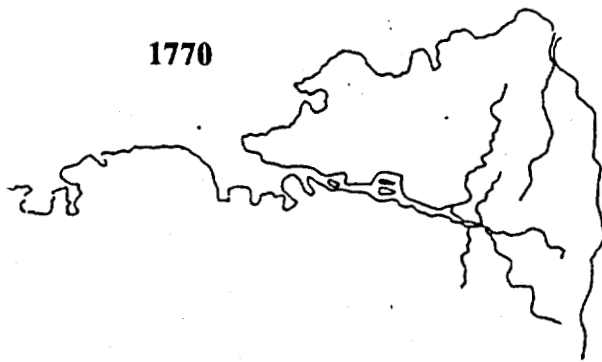
Résumé : Minorque (Iles Baléares) se distingue de ses voisines par l'absence de manifestations d'érosion anthropique. Cette situation s'explique par la présence (ancienne) d'un réseau dense de murs de pierres sèches et par la généralisation de la *zulla* qui constitue une couverture protectrice des sols. Toutefois, depuis l'entrée de l'Espagne dans la Communauté Européenne, les pentes s'enfrichent, la *zulla* est délaissée au profit des céréales fourragères. Une interrogation concerne l'avenir paysager de l'île. Cet exemple souligne la nécessité d'une approche historique pour mettre en évidence les ruptures dans l'utilisation de l'espace et leurs conséquences sur les milieux, ainsi que la place fondamentale à accorder au rôle de l'homme dans l'examen des facteurs d'érosion.

Abstract : *Minorca, or the Mediterranean exception : an erosion-free island.*

Minorca, in the Balearic Islands, distinguishes itself from its neighbours by the absence of occurrences of anthropic erosion. This situation is explained by an ancient presence of a dense network of stone-walls and by the generalization of the *zulla* which contributes to the protection of the top-soil. However, since the entry of Spain into the E.E.C., the slopes have been laid to fallow and the *zulla* abandoned in favour of fodder cereals. Question can be asked about the future of the island's landscape. This example underlines the necessity of an historical approach to identify the breaks in land-use and their consequences on the milieu, as well as the necessity of giving a fundamental place to Man in the analysis of erosional factors.

Introduction

Dans le cadre de la Méditerranée occidentale, l'île de Minorque, de taille modeste (53 km d'est en ouest, 23 du nord au sud, 702 km², une soixantaine de milliers d'habitants), est originale à bien des égards : son paysage, fortement humanisé, est tout entier cloisonné par un réseau de murs de pierre sèche, son économie rurale est en quasi-totalité orientée vers un élevage bovin destiné à la fabrication d'un fromage de qualité, le *mahon*, et le tourisme, tardif par rapport aux autres Baléares, l'atteint moins que ses voisines, Majorque et Ibiza. La spécificité de Minorque surprend dans le contexte méditerranéen, mais elle risque d'être rapidement remise en cause : Minorque doit, ces dernières années, s'adapter aux nouvelles conditions imposées par les effets de l'entrée de l'Espagne dans l'Europe communautaire. Il était donc intéressant de mesurer les effets de ces mutations en ce qui concerne en particulier les risques de dégradation du milieu.

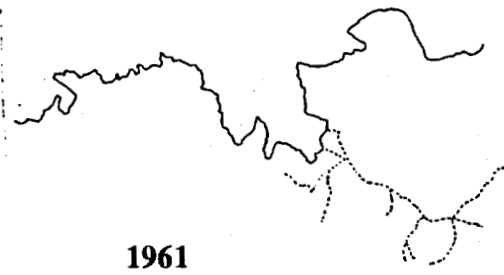


1770

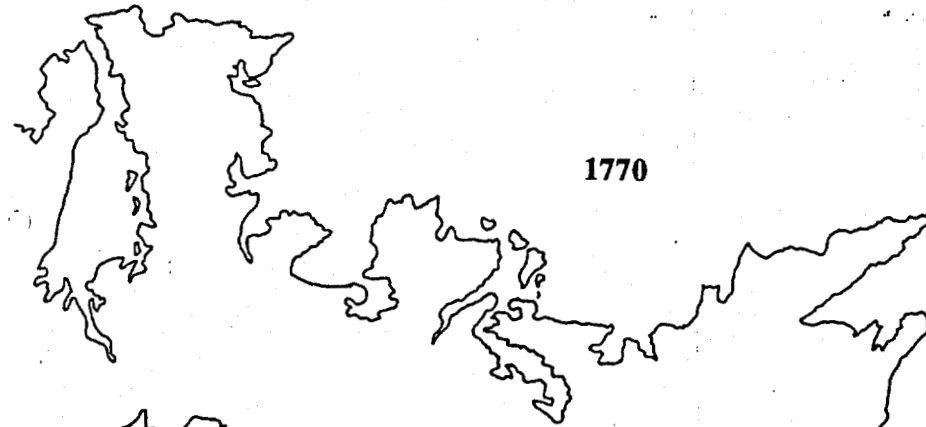
Figure 1 : Le littoral de Tramuntana de Minorque, évolution sur deux siècles.

- en haut à gauche : Platges d'Algaiarens (au N-E de Ciutatella)
- au centre, la baie de Fornells
- à droit en bas, S'Albufera d'es Grau (au N de Mahon).
- Sources : carte anglaise de 1770, cadastres de 1860 et 1961, carte topographique 1/25000ème (1961).

échelle : 5 km



1961



1770

138



1860



1860



1961

1961

Quels facteurs expliqueraient que Minorque, île méditerranéenne au relief accidenté (notamment dans la moitié nord) ne soit pas affectée par des processus d'érosion anthropique, malgré une pluviosité de l'ordre de 450 à 650 mm, et un automne qui, avec une moyenne de 100mm en octobre, concentre 45% du total annuel ?

A défaut d'analyses précises qui mériteraient d'être conduites à l'échelle de la parcelle, des observations de terrain et des enquêtes récentes dont les résultats peuvent être comparés à des travaux similaires menés il y a une vingtaine d'années (1) permettent d'avancer quelques résultats.

1) Une île méditerranéenne à risques potentiels, vraisemblablement affectée par l'érosion au XVIIIème siècle

1-1 des paysages contrastés potentiellement à risque d'érosion

Les paysages de Minorque permettent d'opposer deux domaines au sein de l'île. Le Migjorn (moitié méridionale de l'île) est un causse de calcarénites du Miocène supérieur (Tortonien-Messinien) dont la puissance totale avoisine les 500 m, et qui contient l'aquifère le plus important de l'île ; ce Migjorn est, de vieille date, un *fromental*. En opposition totale, la Tramuntana, l'autre moitié de l'île, oppose de petites plaines aux sols lourds et des collines aux pentes raides. Les plus remarquables se situent au centre de l'île ; il s'agit de crêts monoclinaux, constitués de Bundsandstein. Dans de nombreux cas, de véritables chicots rocheux apparaissent au milieu de formations d'âge varié (2) (calcaires siluro-dévonien, terrains pélitiques, calcaires ou conglomérats du Carbonifère, formations triasiques, jurassiques et plus rarement crétacées). Par rapport au Migjorn, très tabulaire, dans lequel s'encaissent des vallées sèches sous forme de *barrancos* qui débouchent sur la mer par des *calas*, la Tramuntana est un pays de pentes fortes en dépit de la modestie générale des altitudes comprises entre 170 et 260 m en moyenne. Le point culminant est le Monte Toro (lambeau charrié de roches dolomitiques ou carbonatées déplacées sur les marnes rouges du Keuper) : il atteint 358 m.d'altitude. La variété des affleurements, une tectonique complexe, expliquent que le littoral de Tramuntana soit extrêmement découpé faisant alterner caps, anses, plages, falaises. Il contraste avec celui du Migjorn, rectiligne dans son ensemble : les quelques plages qu'il offre ont attiré le touriste.

1-2 des traces ténues de dégradation ancienne

L'île a-t-elle connu des périodes marquées par une érosion importante ? La mise en valeur agricole particulièrement poussée au XVIIIème siècle (sous la présence britannique) s'est traduite dans la toponymie par le dédoublement des noms de ferme en *nou* ou *de baix* (= *nouvelle* ou *d'en-bas*), principalement dans les garrigues littorales. Cette mise en valeur est probablement responsable, au moins pour partie, de la régularisation de certains littoraux, du comblement par alluvionnement continental des rias et petites anses que la comparaison des cartes (figure 1) révèle. Le premier des documents consultés, d'origine anglaise, date de 1770, les autres sont extraits des cadastres de 1860 et de 1961, complétés par la carte 1/25 000 (qui date de 1959). La

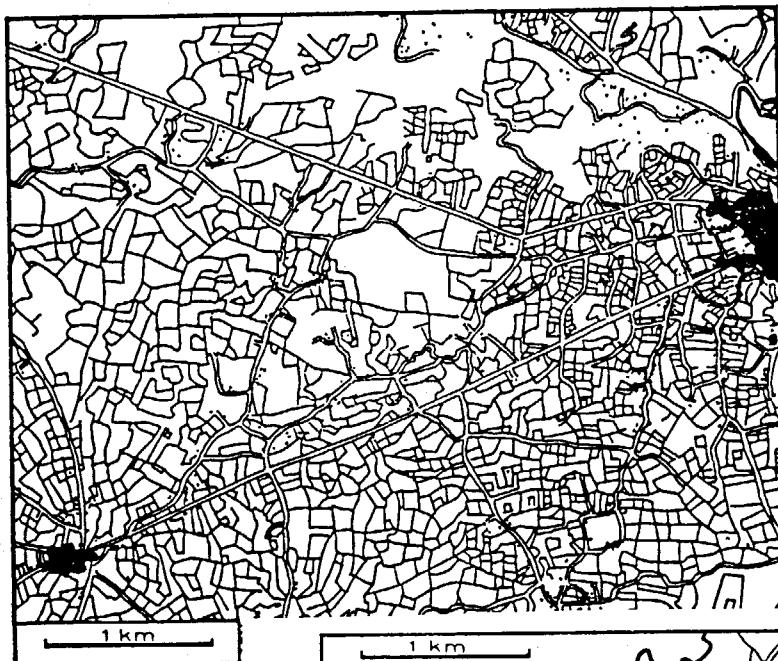


Figure 2 : Le cloisonnement de murs de pierres sèches de Minorque

- en haut, paysage de Migjorn oriental, entre Mahon (ria visible en haut à droite) et Sant Climent (en bas à gauche).

- en bas, paysage de Tramuntana, à la base du Cap de Cavalleria (littoral de la ferme de Binidonaire - Cf. figure 3 - visible en haut à droite).

Extrait de J. Bisson : *La terre et l'homme aux îles Baléares*, 1977, d'après la carte 1/25000ème (1961)

fin du XVIIIème siècle et la première moitié du XIXème siècle ont connu des phases de dénudation importante. Une telle conclusion demande cependant à être nuancée : la régularisation des littoraux a pu, en partie, résulter des efforts de bonification entrepris pour assécher les marais situés derrière le cordon littoral. La crise de 1820, consécutive à l'interdiction faite à Minorque redevenue espagnole de commercer les blés étrangers - achetés en "Berbérie", sur les côtes du Levant et à Odessa - eut comme conséquence d'obliger les capitaux insulaires privés de ce fructueux négoce de se reconvertir dans des aménagements ruraux. La Tramuntana, encore incomplètement mise en valeur, profita des travaux effectués. Plusieurs auteurs de l'époque, tels le Minorquin P. Riudavets et l'archiduc Luis-Salvador d'Autriche dont les ouvrages consacrés aux Baléares constituent une source de premier ordre, évoquent la destruction du couvert forestier (d'ailleurs moins étendu au siècle dernier que de nos jours) et la mise en valeur de *terres novas*. Selon ces auteurs, ces défrichements ont entraîné une érosion suffisante pour qu'elle préoccupe les responsables du port de Mahon qui s'inquiétaient du comblement du fond de la ria.

La comparaison du tracé littoral montre que depuis le siècle dernier (figure 1), le littoral n'a pas subi de modifications. Il est vrai que par rapport à d'autres secteurs littoraux des îles voisines ou de Catalogne, ceux de Minorque ne présentent guère aujourd'hui encore les eaux boueuses si fréquentes ailleurs, lors des orages.

2) La permanence d'un système agraire qui limite l'érosion

2-1 un aménagement spatial original

Le paysage agraire totalement cloisonné de Minorque est un élément à prendre en compte pour qui veut comprendre la stabilité des processus érosifs. En effet, la campagne dans sa totalité (figure 2) est couverte par un réseau de murs de pierres sèches, de l'ordre de 70 000 km, qui s'est peu à peu mis en place à partir du XIVème siècle, lorsqu'un édit de Pierre IV d'Aragon autorisa les insulaires à édifier des murs de six *palms* de haut (6 x 20cm = 1,20m), tirées de borne à borne, à la condition que les portes ne soient jamais fermées afin que ceux qui le désireraient puissent aller chercher du bois dans les garrigues voisines. En somme il s'agissait alors, comme le précise une lettre du roi datée du 6 avril 1373, de généraliser la suppression de la vaine pâture : "...Bien que les propriétés, à Minorque, soient limitées par des bornes, on a coutume de laisser le bétail paître dans les champs du voisin, du lever au coucher du soleil, chacun le ramenant dans sa propriété pour la nuit. En d'autres temps, certains dans l'île, avec l'accord des voisins, fermèrent par des murs de pierre sèche leurs possessions, ce qui accrut leur valeur..."(3).

Ce cloisonnement total du paysage - puisque chaque champ est une *tanca* (*tanque* en catalan : la racine du mot signifie fermer) - allait gagner l'ensemble de l'île, dans un premier temps les terroirs du Migjorn, puis ceux de Tramuntana. Ce réseau de murs de pierres sèches est complété par la présence d'*encadenats* qui, sont des terrassettes de pierres sèches barrant les fonds des talwegs. Ceux-ci sont, en outre, habituellement traités en canaux empierrés dans la

partie aval. Tout témoigne de la minutie avec laquelle la lutte contre l'érosion a été menée. Même si la fonction première des enclos n'est pas de lutter contre l'érosion, la densité de leur réseau freine incontestablement toute concentration d'un ruissellement qui ne dispose pas de l'espace nécessaire pour atteindre une réelle agressivité. Murs de pierres sèches et *encadenats* bloquent les particules entraînées par le ruissellement, tandis que l'aménagement et l'empierrement des talwegs permettent de maîtriser le ruissellement concentré et de freiner l'érosion linéaire. La fréquence des citernes, creusées en Migjorn dans la masse calcaire, permet de piéger les eaux qui circulent sur la dalle.

Le soin avec lequel a été conduit un tel aménagement tient au type de propriété : l'île dans son immense majorité appartient à de grands propriétaires, la plupart du temps citadins (4) des villes de Mahon, Ciutatella et Alaior, voire pour certains, résidents à Madrid. Tous ont investi sans compter, du moins jusqu'à une date récente, au point de parfaire la qualité d'un paysage d'une esthétique peu commune. Car, à Minorque, être "senyor", c'est-à-dire propriétaire terrien, a longtemps été un luxe qui assurait une position sociale enviable, du moins tant que l'Espagne restait un pays à faible niveau de vie. Aussi la qualité du paysage minorquin est-elle inséparable d'une conjoncture particulièrement difficile, qui se traduisait par l'abondance d'une main-d'oeuvre dont la dégradation des conditions de vie alla s'accroissant à partir de 1936 (début de l'isolement dû à la guerre civile). Les décennies 40 puis 50 (qui ont vu le paysage rural atteindre un rare degré de perfection) n'ont guère été bénéfiques pour les Minorquins.

2-2 le rôle majeur du couvert végétal pour la protection des sols

La *zulla* (*Hedysarum coronarium*), bien connue en Italie centrale sous le nom de *sulla* où son rôle anti-érosif a été constaté depuis longtemps a eu un grand développement dans l'île. Les agriculteurs minorquins, toujours préoccupés par la nourriture du bétail (au départ, des boeufs de labour de race pyrénéenne) ont résolu leurs problèmes grâce à la *zulla*, connue à Minorque sous son nom anglais catalanisé *en clove* (le *clover* : trèfle des Britanniques, venu de Malte, alors occupée par des Britanniques qui en avaient fait une plante d'ornement, au XVIIIème siècle). Ce végétal fut, en réalité, introduit dans le système de culture par un grand propriétaire minorquin à partir de l'Andalousie à la fin du siècle dernier. Son succès fut tel qu'il permit à l'île de se spécialiser, à une époque où la polyculture restait de mise, dans un élevage bovin laitier de race frisonne, accessoirement ovin, l'objectif étant de produire un fromage réputé, le *mahon*.

La généralisation de la *zulla* a atteint son apogée (figure 3) dans les années 60-80, c'est-à-dire au moment où l'île renonçait définitivement à la polyculture à laquelle elle avait dû revenir en raison de l'autarcie dans laquelle avait vécu l'Espagne durant la période de guerre et du franquisme. Singulier spectacle que celui d'une île méditerranéenne dont les enclos de pierres sèches procurent un pâturage rationné pour des troupeaux de laitières hollandaises. Cette utilisation du sol originale a contribué, avec les autres éléments précédemment évoqués, à réduire les phénomènes d'érosion anthropique.

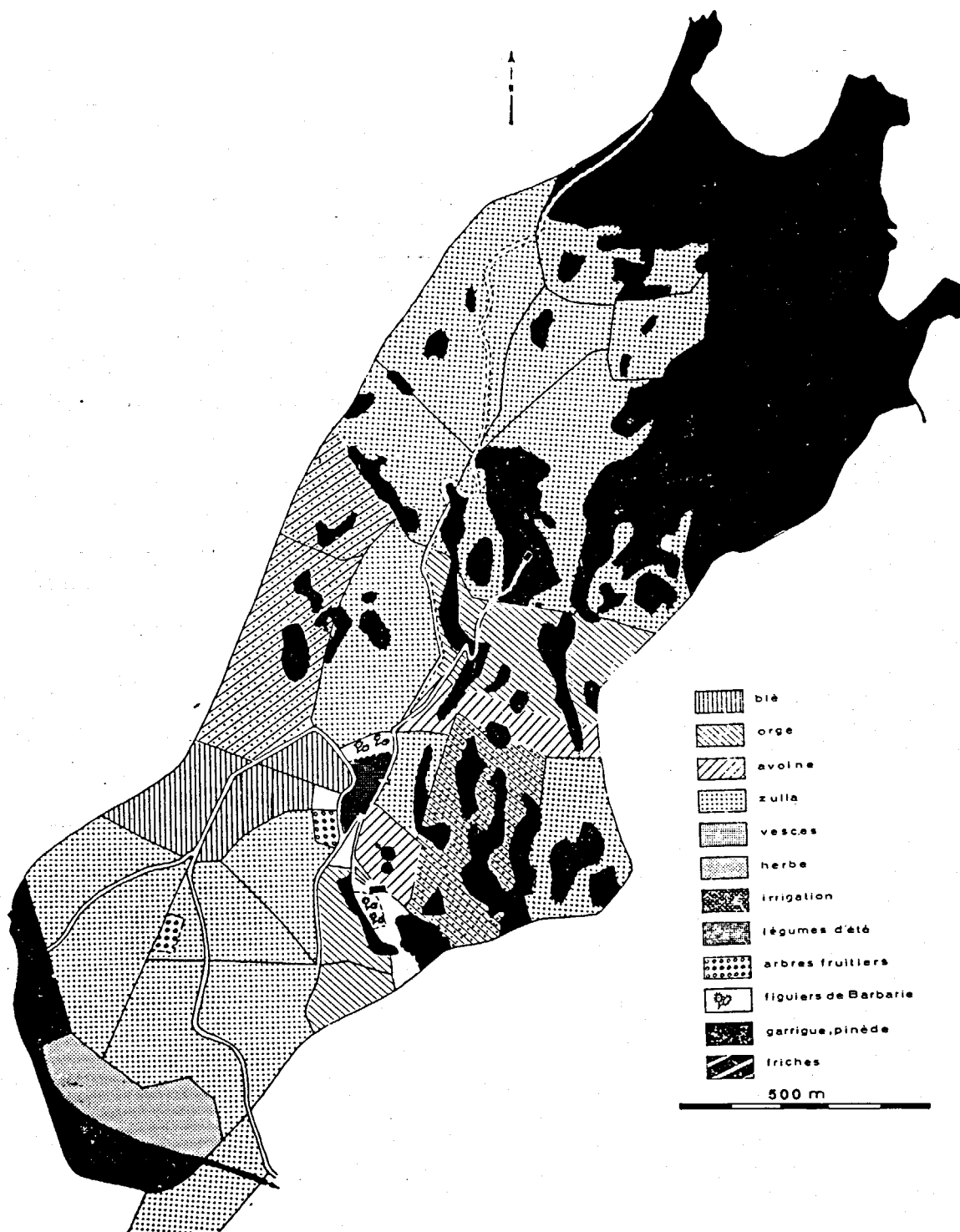


Figure 3 : Une grande ferme à *zulla* des années 60 : Binidonaire, en Tramuntana de Mercadal (Centre-Nord de l'île).

- Maquis dense sur le littoral, pentes couvertes de matorral (lentisques ou oléastres), extension considérable de la *zulla*. En 1994, les terres sont toutes (à l'exclusion d'une petite *tanque* de *zulla*) cultivées en avoine et raygras, ou plus rarement abandonnées aux parcours (herbe naturelle). (Extrait de J. Bisson, *La terre et l'homme aux îles Baléares*, 1977).

3) Une nouveau système de production : la généralisation de la céréale pour le bétail

Le temps n'est plus où Minorque bénéficiait d'une situation privilégiée, de par sa spécialisation, dans une Espagne protectionniste. Dès les années 60, les grands propriétaires ont commencé à s'interroger sur l'avenir de l'île. Ces dernières années, il a fallu repenser le système agricole minorquin.

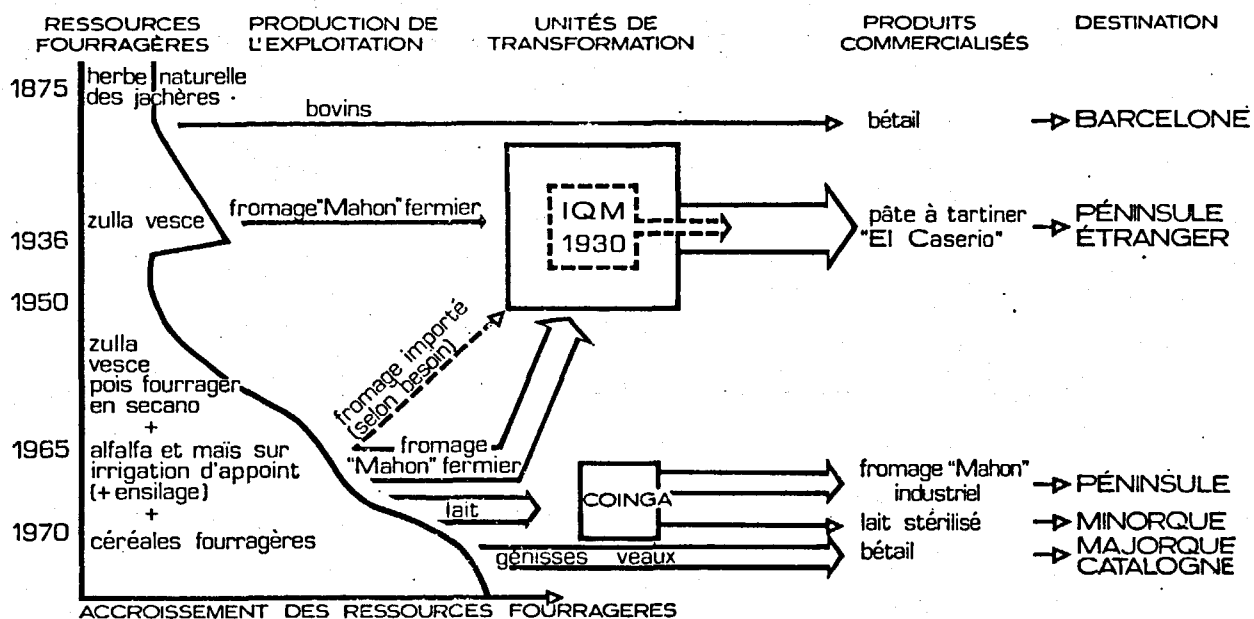
3-1 l'abandon de la zulla

La disparition de la *zulla* est le fait le plus marquant de ces dernières années, encore que l'évolution était déjà perceptible dans les années 70 (figure 4). La raison de cet abandon tient à la nécessaire intensification de la production fourragère. Elle permet de développer la mécanisation à la fois pour une meilleure productivité et par suite de la raréfaction de la main d'oeuvre (actuellement moins de 5% d'actifs agricoles). Les troupeaux ont doublé, voire triplé en quelques années grâce à une production accrue de céréales fourragères seules ou associées, ainsi que du raygras dont la progression a été rapide. Son intérêt réside dans sa précocité puisqu'il est pâturé dès la fin novembre-début décembre, alors que la *zulla* ne lève que vers février-mars. Cela réduit d'autant la période pendant laquelle il faut nourrir le bétail avec les fourrages ensilés ou les compléments importés ; depuis peu, le tritical a fait son apparition. En contre-partie, ces nouvelles cultures imposent un emploi grandissant d'engrais nitrate, phosphate, potasse. La *zulla* ne réclame aucun amendement : étant une légumineuse, elle enrichit le sol en azote.

Si l'on compare (5) la productivité à l'unité (la quartera = 0,72 hectare) des différentes productions destinées à l'alimentation du bétail, on relève les chiffres suivants :

- *zulla* : 9 679,6 kg/qu. ; raygras : 12 572,2 kg/qu. ; orge fourrager : 8 138,7 kg/qu.
- mélange orge/avoine : 7 549,5 kg/qu. ; mélange vesce/orge : 5 967,5 kg/qu.
- mélange raygras/orge : 10 136 kg/qu.

On comprend dès lors que le mélange raygras/orge soit majoritairement cultivé aujourd'hui. C'en est désormais fini de l'ensilage dans des silos-couloirs (la grande innovation des années 60), remplacé par l'ensilage automatique sous forme de *balles rondes enrubannées* (selon la terminologie utilisée en France) de plusieurs centaines de kg qui sont laissées à même le champ, et ouvertes en fonction des besoins. Il apparaît donc que ce paysage cloisonné qui avait l'avantage de favoriser la rotation du bétail de *tanques* en *tanques* qui, souvent en majorité, étaient occupées par la *zulla* (ou le mélange vesce-avoine sur les terrains plus secs) - en somme ce pâturage rationné qui fut longtemps la grande originalité de Minorque, - a perdu une grande partie de son intérêt. Les clôtures de pierres sèches deviennent une gêne, on a même tendance à les supprimer, tout en préservant les *mitjeres*, c'est-à-dire les murs qui marquent la limite d'une propriété : ces murs sont d'excellents stocks de pierre à bâtir, largement utilisés par les entrepreneurs des lotissements touristiques. L'élargissement du maillage est évidemment destiné à faciliter le passage des engins agricoles, comme dans nos campagnes la destruction des haies, l'effet est le même dans les deux cas, la maîtrise de l'eau n'est désormais plus ce qu'elle était auparavant.



Jean BISSON
1974

Figure 4 : L'évolution du système agricole minorquin dans les années 70.

- place croissante des céréales fourragères

- l'agro-alimentaire de Minorque : IQM = Industrial Quesera Menorquina ; COINGA = Cooperativa Insular Ganadera.

(Extrait de J. Bisson : *La terre et l'homme aux îles Baléares*, 1977).

3-2 une nouvelle affectation des sols : l'extension de la friche

Pour la première fois, de vastes surfaces de champs nus s'offrent aux précipitations. Les observations préliminaires que nous avons effectuées au printemps 1994 ne laissaient apparaître que des traces assez réduites de ruissellement et d'érosion ; des engravements existent en bas des pentes, quelques épandages empêchent la levée des semis, mais cela semble encore ténu. Le maintien de nombreux murs de pierres sèches et des *encadenats* contient encore le ruissellement. Toutefois, les clôtures de pierres sèches commencent à se couvrir de ronces, preuve évidente du manque d'entretien, les végétaux s'insinuent entre les pierres et contribuent à déstabiliser le mur. Le même abandon relatif se lit au niveau des drains de plus en plus envahis par la végétation, les bas des pentes enregistrent des signes d'engorgement et d'hydromorphie. Tous ces processus de dégradation n'en sont qu'à leur début mais ils montrent que la campagne, en contrepartie d'une intensification de la production agricole dans quelques secteurs les plus accessibles, les plus aisément mécanisables ou de bonnes qualités agronomiques, est moins tenue qu'il y a une quinzaine d'années.

Le contraste s'accroît entre terroirs de plaine et versants pentus. Les premiers connaissent une agriculture de plus en plus intensive, les seconds au contraire se convertissent en pâturages extensifs. Les parcelles qui cessent d'être cultivées sont généralement encore pâturées, mais faute d'entretien, le chardon a tendance à y proliférer, tandis que la disparition de toute pâture entraîne l'extension du lentisque (*matorral, improductivo* : figure 5) : on passe à la friche véritable. Une telle évolution n'est pas synonyme de dégradation des sols par des phénomènes d'érosion, le couvert végétal fermé assure une bonne protection. La situation est tout autre si l'on considère le devenir paysager de l'île : l'évolution vers la friche généralisée sur les pentes, l'envahissement par les végétaux des murs de pierres sèches, constituent une étape vers une banalisation d'un paysage rural jusqu'ici très soigné et de grande qualité esthétique.

Sur certains versants, notamment dans le Centre-Est de l'île, les pins d'Alep gagnent du terrain. Le pin d'Alep eut longtemps une utilité pour alimenter les fours des boulangers dans lesquels on brûlait les branches, le bois servait à faire des caisses d'emballage, le sous-bois éclairci permettait le pacage des ovins. Tout ceci a disparu, aussi le sous-bois n'est-il plus entretenu : les risques d'incendie peuvent devenir une préoccupation pour les années à venir. Aucune mesure pratique n'est envisagée pour éviter cela, la raison tient au fait que les espaces boisés sont des propriétés privées. En outre, jusqu'ici, Minorque a très peu souffert des incendies, à la différence de ses voisines (figure 6).

Conclusion

Ille longtemps en pointe par rapport à ses voisines des Baléares dans le domaine agricole, Minorque connaît une mutation accélérée dont les effets pourraient remettre en cause un aménagement des campagnes qui, grâce à une remarquable maîtrise de l'eau sur les pentes, se traduit par l'absence d'érosion anthropique. L'intensification de l'élevage largement engagée, conséquence de la rude concurrence d'autres régions de la C.E.E, accentue l'opposition entre

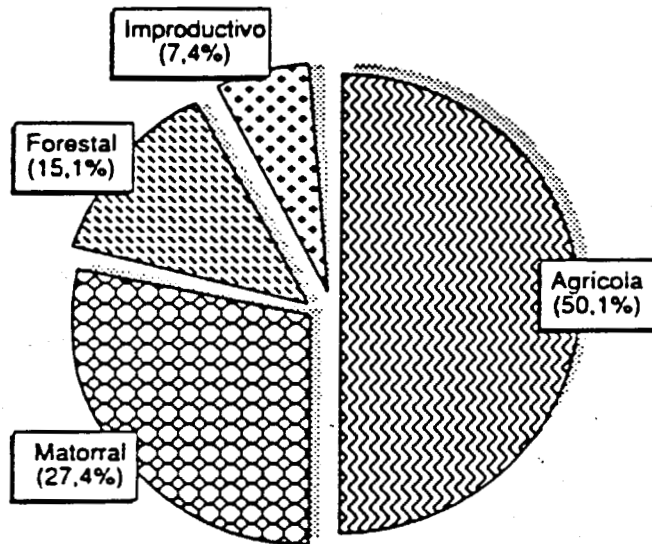


Figure 5 : L'utilisation du sol à Minorque.

- Source : *Memoria Menorca reserva de la biosfera* (1993, programme MAB de l'UNESCO ; Institut Menorqui de Estudis, Mahon).

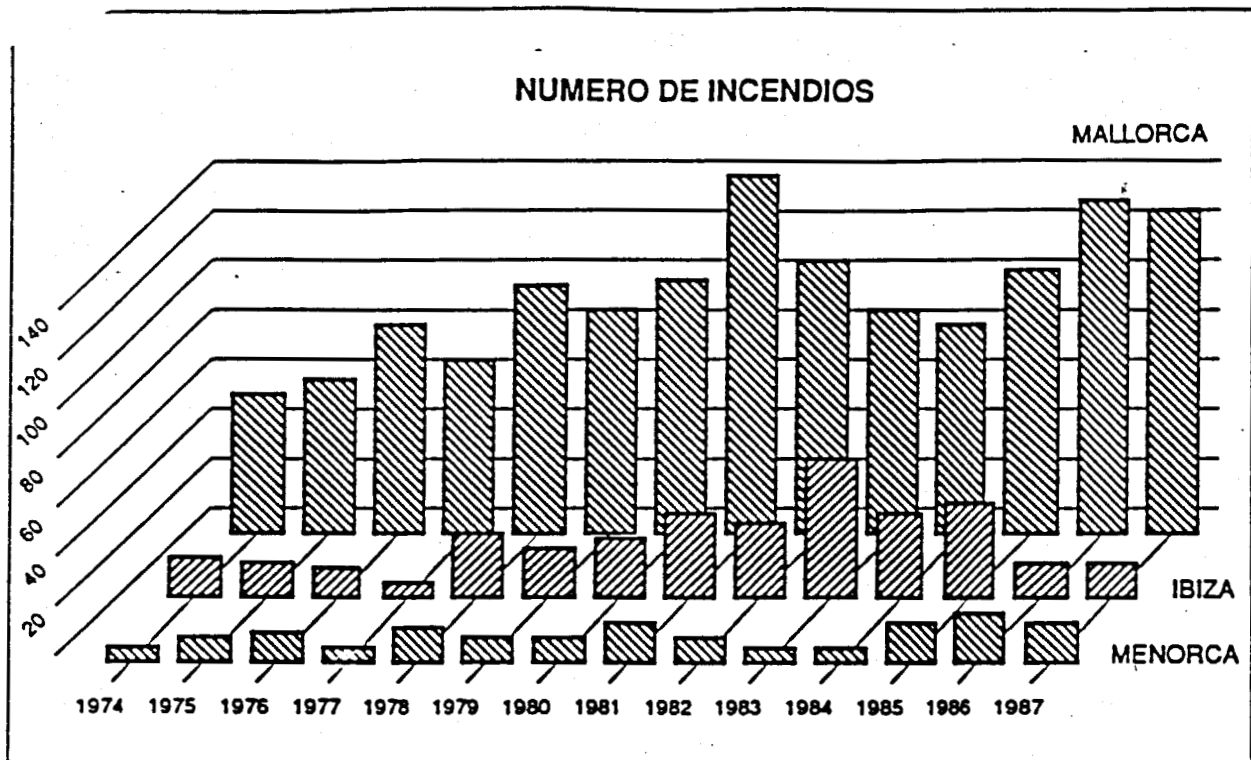


Figure 6 : Les incendies de forêt aux Baléares.

- Source : *Memoria Menorca reserva de la biosfera* (1993, programme MAB de l'UNESCO, Institut Menorqui de Estudis, Mahon).

deux types de milieux : celui des petites plaines aisées à mécaniser, celui des pentes délaissées, vouées à la friche. Toutefois, dans cette île où le couvert végétal est largement présent, les risques d'érosion devraient demeurer assez ténus.

Il n'en demeure pas moins que cette campagne, qui offre une qualité paysagère rare, risque de ne pas échapper au sort de bien d'autres campagnes d'Europe. Aussi bien, le devenir de l'île mérite-t-il réflexion : Minorque va-t-elle évoluer vers la friche en perdant son paysage cloisonné disparu sous le végétal ?

Notes

(1) Jean BISSON : *La terre et l'homme aux îles Baléares*, Edisud, Aix-en-Provence 1977. 416 pages + annexes (couples stéréoscopiques). Egalement les publications de Tomas VIDAL, notamment les fascicules de *Enciclopèdia de Menorca*, publiée par Obra Cultural de Menorca, Mahon.

(2) Robert BOURROUILH : *Stratigraphie, sédimentologie et tectonique de l'île de Minorque et du Nord-Est de Majorque (Baléares). La terminaison nord-occidentale des Cordillères Bétiques en Méditerranée occidentale*. Thèse d'Etat, Université de Paris 1973. 822 pages. Du même auteur : *Mapa geologico de Espana. Menorca*, échelle 1/200 000. Instituto Geologico Minero de Espana. Madrid 1970.

(3) Cité par J. BISSON, *op.cit.*, page 183.

(4) Les citadins contrôlent 85% de la superficie insulaire (contre 42% à Majorque et moins de 5% à Ibiza). J. BISSON, *op. cit.*, pages 166-173.

(5) Alfons Xavier MENDEZ VIDAL : *Situacio economica i social del camp a Menorca*. Ed. Unio de Pagesos de Menorca, col.leccio Arrels 2, Mahon, 1992, 176 pages (en catalan). Du même auteur (et du même éditeur) : *Notes per a una historia economica de l'agricultura menorquina 1978-1993*, col.lectio Arrels 3, Mahon, 1993, segona part, pages 91-150.

"L'ENVIRONNEMENT HUMAIN DE L'ÉROSION": QUELQUES ÉLÉMENTS DE REFLEXION

Y. VEYRET Professeur à l'Université de Paris VII

Le sujet de la réunion traite de "l'environnement humain de l'érosion". Ce titre peut paraître quelque peu curieux, dans la mesure où le groupe d'études "réseau érosion" étudie l'érosion anthropique et non les processus et les effets de l'érosion purement naturelle qui agit à l'échelle géologique. Notre but, avec ce titre un peu redondant, est d'insister sur le poids des facteurs humains dans le déclenchement des phénomènes érosifs, en particulier, dans les régions agricoles. Il était nécessaire d'insister sur les interrelations qui existent entre les facteurs humains et les facteurs physiques qui tous interviennent quand se déclenchent les processus d'érosion anthropiques.

Les travaux de ce colloque permettent de souligner quelques points fondamentaux.

-En premier lieu, la mondialisation des phénomènes d'érosion anthropique. Ils sont particulièrement importants dans les régions agricoles mais ils ne sont pas rares dans certains milieux urbains. Les régions étudiées dans le cadre de ce colloque, concernent l'Europe méditerranéenne (Italie, Espagne), le Maghreb (Algérie, Tunisie, Maroc), les pays tropicaux africains: Burundi, Rwanda, Mali, Burkina, Sénégal, Cameroun; l'Amérique tropicale: Mexique, Equateur; l'Asie: Vietnam. Les pays tempérés ne sont pas épargnés: France, Québec.

-Il apparaît en second lieu que l'érosion anthropique n'est pas un phénomène récent, des travaux présentés ici montrent son ancienneté au Mexique, au Yémen... L'étude des phénomènes passés permet d'envisager l'ancienne utilisation d'espaces largement délaissés ultérieurement. Il est donc possible de réfléchir sur une prétendue vocation des terres. A l'évidence, les terres n'ont pas de vocation en soi que l'on pourrait définir une fois pour toutes. C'est le mode d'utilisation du sol, la pression exercée sur lui par les sociétés rurales, le degré de développement de ces sociétés et leur technologie, qui déterminent les seuils de déclenchement des processus de dégradation.

De même un milieu est fragile parce que les aménagements entraînent des dysfonctionnements. L'expression de ceux-ci est néanmoins plus ou moins marquée en fonction de ce que l'on pourrait nommer une inégale sensibilité du milieu (rôle de la pente, de la nature des formations superficielles et des sols, humidité du sol...).

PAYS EN DEVELOPPEMENT: (type1)
RWANDA, CAMEROUN...

-Facteurs de l'érosion accélérée:
Demande de nouvelles terres.
Défrichement de terres sensibles
Surpâturage.
Choix de cultures peu couvrantes
Poids des structures foncières
Propriété et exploitation
Multiplicité des propriétaires
exploitants sur un bassin
versant.

-Acteurs: échelle internationale
Exportation:
collectivité paysanne
paysans

Deux cas: -Forte densité:
agriculture intensive-risques
-Faible densité:
agriculture itinérante, brûlis
risques
Conséquences: immédiates.
à plus long terme.

Sols érodés, mouvements de
terrain, inondations

-Nécessité de comprendre les
blocages:

des agriculteurs
des communautés d'agriculteurs
des institutions

-Réponses
Techniques
Foncières
Sociales

-Effort d'explication

PAYS "TEMPERES" RICHES: (type2)
EUROPE-AMERIQUE DU NORD

-Facteurs de l'érosion accélérée:

Remembrements:

grandes parcelles,
simplification du paysage

Disparition des haies

Cultures peu couvrantes (recul de la STH)

Calendriers cultureux

Mécanisation

-Lieux de manifestation:

Rôle majeur des sols (sols limoneux)

Pentes (même faibles)

Bas de versants-vallées

-Acteurs:

Echelle internationale: GATT- PAC

Echelle locale: choix des agriculteurs

-Faible densité de la population agricole
Agriculture intensive.

-Manifestations de l'érosion

Erosion des sols. Conséquences: moindres
qualité des sols

Inondations

-Mobilisation encore difficile des
agriculteurs. Impact économique peu perçu.
Mobilisation des collectivités
régionales, voire de l'Etat.

-Réponses:

Techniques: parcelle
bassin-versant

Juridiques. Législatives

Loi sur l'eau (1992 France)

PER

-Bilan encore mitigé.

Efforts d'explications

PAYS MEDITERRANEENS

Des aspects du type 1 et des
aspects du type 2

-Type 1:

Pays méditerranéens du Maghreb
Croissance démographique
considérable. Poids des villes
Défrichement
Surpâturages.
Choix des cultures...

Crise financière de l'Etat et
des agriculteurs

-Type 2:

Pays méditerranéens de
l'Europe

Loi du marché. Adaptation de la
PAC.

Destruction du cadre agraire
ancien
Passage à la grande
agriculture

Déprise. Friche. Erosion

Efforts effectués:
reboisement
banquettes...

-Les travaux de ce colloque révèlent aussi que l'érosion peut avoir des effets positifs. L'exemple du Yémen ancien le montre. C'est encore le cas de certains secteurs du piémont saharien où les apports de limons venus des hauteurs voisines fertilisent les vallées et permettent la culture.

Les travaux présentés ici permettent d'établir la place de quelques facteurs socio-économiques dans le déclenchement de l'érosion, et cela dans des contextes physiques très différents (domaine tropical, méditerranéen... régions de plaines et de montagnes).

La variété des facteurs qui interviennent apparaît clairement mais il est difficile d'établir une hiérarchisation entre eux. Quelques remarques s'imposent à la suite de la mise en évidence des différents facteurs.

-Il n'y a pas de fatalité de l'érosion anthropique.

Des mesures diverses peuvent être prises qui ne sont pas forcément un retour en arrière en ce qui concerne les pratiques agricoles, qui ne sont pas davantage la négation de la modernisation comme le réclament certains écologistes.

L'érosion est largement soumise à la loi du marché des produits agricoles, cela notamment dans les pays riches (Europe). Elle est dans les pays en développement, très liée à une pression démographique croissante. Les seuils de déclenchement correspondent souvent au franchissement de certains seuils démographiques. Cependant, cette analyse reste relativement simpliste. Il n'y a pas obligatoirement une relation simple entre forte densité et crise érosive. Les populations à faible densité qui pratiquent l'agriculture itinérante sur brûlis peuvent provoquer de graves phénomènes d'érosion.

L'érosion peut être indirectement aggravée par l'organisation foncière.

Il apparaît donc nécessaire d'envisager globalement la question de l'érosion anthropique, de ne pas couper les facteurs socio-économiques des données physiques du milieu concerné. Ces dernières qui peuvent être quantifiées et donner lieu à une expérimentation pourraient en effet sembler plus facile d'approche, plus rassurantes. Elles constituent un aspect nécessaire, relativement simple, mais insuffisant. Une analyse systémique intégrant les différents niveaux d'analyse est indispensable, elle doit être le point de convergence d'une série d'approches faites par des géographes, hydrologues, géomorphologues, climatologues, sociologues, économistes... Cette approche pluridisciplinaire impose une réflexion qui tienne compte de l'échelle choisie pour l'analyse. Les facteurs évoqués ont un poids différent selon l'échelle de travail envisagée.

La place majeure, à accorder aux facteurs socio-économiques traduit une complexité croissante dans l'établissement d'un diagnostic portant sur l'érosion des terres.

DEPRISE RURALE ET REGAIN D'ACTIVITE MORPHOLOGIQUE: L'EXEMPLE DES PAYS DU BUËCH (Hautes-Alpes)

Pierre PECH
Université Paris 1, 191 rue Saint Jacques 75005 Paris
et Laboratoire de Géographie Physique, 1 pl. A.Briand 92195 Meudon

RESUME:

Les Pays du Buëch (partie SW du département des Hautes Alpes) constituent un bon exemple d'un certain regain de l'activité morphogénique qui affecte les régions de montagne puisque, lors de l'automne et de l'hiver 1993-1994, des mouvements de terrain d'ampleur variable ont affecté cette région.

Les facteurs naturels ne sont pas les seuls en cause: l'évolution démographique et celle de l'emprise agricole semblent responsables du passage de processus préférentiellement commandés par le ruissellement et la torrentialité, encore au milieu du milieu de ce siècle, à des processus de mouvements de masse de type solifluxion ou glissement de terrain.

Le but de ce travail est de présenter la relation existant entre le regain de l'activité morphogénique sous forme de mouvements de masse et ces modifications de l'emprise des milieux naturels que sont les reboisements (naturels ou contrôlés), l'abandon des pratiques traditionnelles d'entretien et de correction du drainage des versants et le développement d'un habitat à caractère péri-urbain.

Mots-clés: Mouvements de terrain; Déprise rurale; Moyenne montagne; Pér-urbanisation; Risques.

Problématique:

Depuis un certain nombre d'années, une recrudescence de l'activité morphogénique semble affecter les régions de montagne: glissement de terrain de la Salle-en-Beaumont (Chardon M., 1994), glissement de la Valette près de Barcelonnette (Colas G. et Locat J., 1993), glissements dans le Trièves, laves torrentielles en Suisse ou en Italie du Nord. Cette activité concerne essentiellement les laves torrentielles ainsi que les mouvements de terrain (solifluxion, glissements de terrain, coulées, etc). Les Pays du Buëch (fig.1) constituent un bon exemple de ce regain de l'activité morphogénique puisque, lors de l'automne et de l'hiver 1993-1994, pas moins d'une douzaine de mouvements de terrain d'ampleur variable ont affecté cette région, ce qui lui a valu une déclaration d'Etat de "Catastrophe Naturelle" (Pech P. et Sevestre A., 1994). Ces mouvements de terrain se sont produits sur des secteurs parfois considérés comme très stables par les services de RTM.

fig.1: carte de localisation

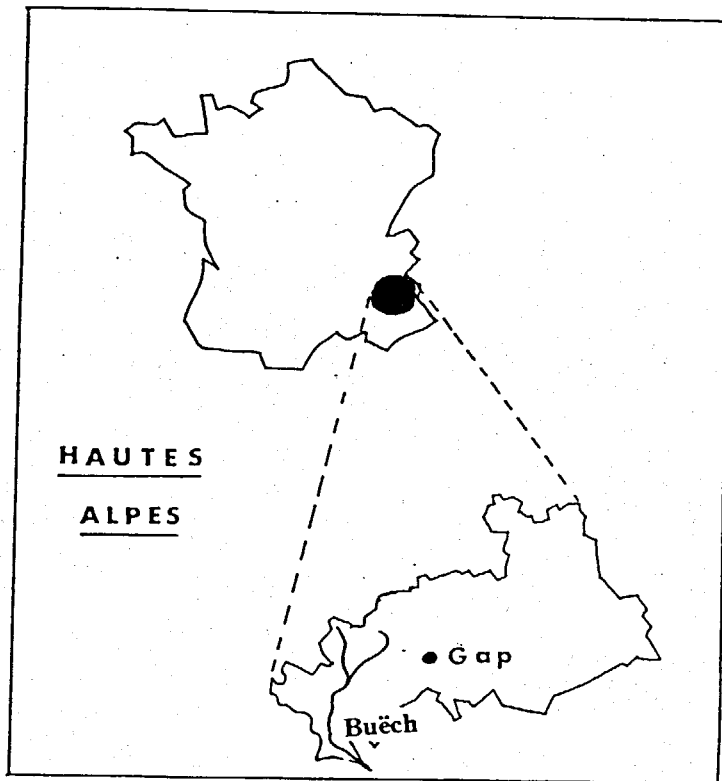
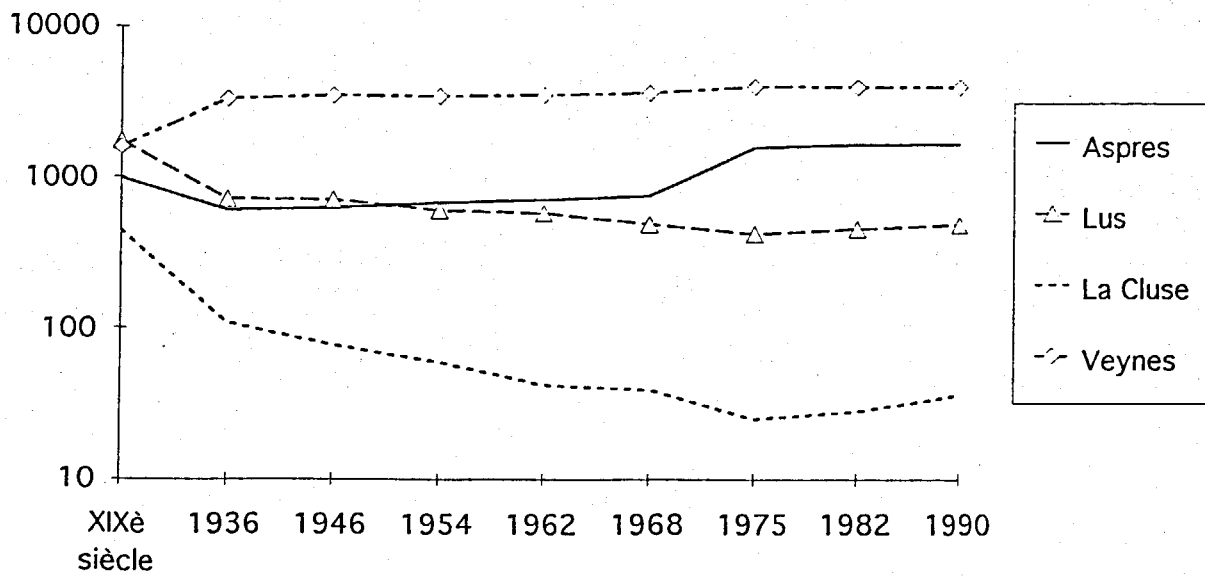


fig.2: courbe d'évolution de la population entre le maximum démographique du XIX^e siècle et 1990 pour quatre communes.



Les facteurs naturels (précipitations exceptionnelles de l'épisode automne-hiver 1993-1994) ne sont pas les seuls en cause: l'évolution démographique (fig.2) et celle de l'emprise agricole semblent responsables du passage de processus préférentiellement commandés par le ruissellement et la torrencialité (au début de ce siècle) à des processus de mouvements de masse de type solifluxion ou glissements de terrain.

Depuis les années 1980, la déprise agricoles suscite un vif d'intérêt de la part des gestionnaires et des chercheurs, en particuliers des géographes, parce qu'elle conduit à une transformation des paysages et qu'elle modifie la dynamique ainsi que la diversité des milieux naturels. Les études concernant la protection de la biodiversité se multiplient et les biogéographes sont généralement les premiers à réfléchir sur ces modifications des écosystèmes et des géosystèmes dues à la disparition progressive des sociétés rurales traditionnelles. Les études concernant certains écosystèmes prairiaux ou humides (Girel J., 1993) ont mis à jour le lien indissoluble existant entre ces milieux et des anciennes pratiques rurales.

Au même titre que les écosystèmes, les formes de reliefs résultent bien souvent de l'intervention pluri-séculaire des sociétés humaines: construction de terrasses, de rideaux, de drains, etc. En montagne, les versants ont été aménagés dans les régions les plus en pente ou sur les terres les plus ingrates. Le regain ou tout au moins la modification de l'activité morphogénique peuvent être évoqués comme conséquences des bouleversements récents au premier rang desquels il faut placer la déprise rurale.

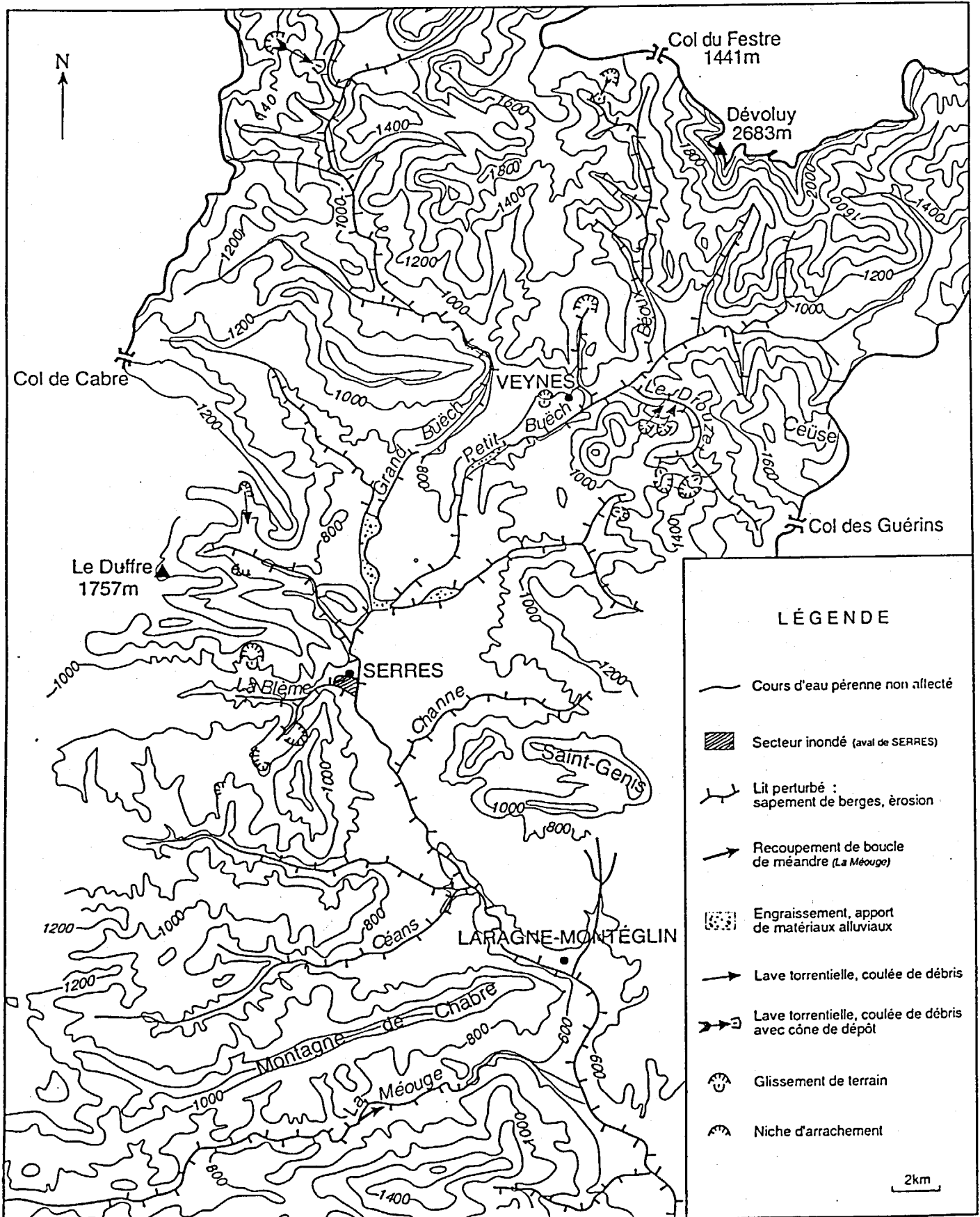
Le but de ce travail est de corréler le regain de l'activité morphogénique sous forme de mouvements de masse à ces modifications de l'emprise des milieux naturels que sont les reboisements (naturels ou contrôlés), l'abandon des pratiques traditionnelles d'entretien et de correction du drainage des versants et le développement péri-urbain (résidences secondaires, péri-urbanisation pavillonnaire, etc).

Méthodologie:

Les phénomènes naturels survenus lors de l'épisode pluvio-orageux de janvier 1994 dans les Pays du Buëch sont de plusieurs types. Ils n'ont pas tous entraîné une Déclaration d'Etat de Catastrophe Naturelle car celle-ci n'a été effectuée qu'à la demande des communes qui ont été confrontées à des problèmes ou des dommages qui ont affecté les habitations ou les équipements. Dans de nombreux cas, les glissements ou les coulées boueuses se sont déclenchés dans des secteurs non concernés par d'éventuelles indemnités.

* Le travail a consisté, préalablement, à effectuer le recensement et la typologie des mouvements de terrain ou des phénomènes ayant entraîné ou non la Déclaration d'Etat de Catastrophe Naturelle. Une cartographie (fig.3) (P.Pech et A.Sevestre, 1994) a permis un repérage des phénomènes et une étude

fig.3: carte morphodynamique du bassin-versant du Buëch lors de l'épisode pluvieux de janvier 1994 (carte réalisée sur logiciel FreeHand par A.Sevestre de l'URA 141).



des aires affectées. Les travaux de recherche sur les caractéristiques géotechniques des matériaux affectés par les mouvements de terrain, sur leur cinématique ainsi que ceux portant sur l'analyse des conditions de précipitations exceptionnelles ayant engendré un fonctionnement un peu paroxysmique de la morphogénèse, font l'objet d'autres publications auxquels l'auteur renvoie (Doreau N., 1994; Pech P., 1994 a, b). La typologie des mouvements de terrain repose sur une étude des formes et des sédiments accumulés (Flageollet J.C., 1988; Guérémy P., 1987). L'analyse permet de distinguer :

- les foirages et glissements locaux (Doreau N., 1994);
- les glissements de terrain banc sur banc comme sur la commune de Montclus (Pech P., 1994 a et b);
- les glissements rotationnels complexes avec coulée de boue (Doreau N., 1994);
- les coulées de boues et les laves torrentielles (Doreau N., 1994);
- les inondations comme sur la commune de Serres (Pech P. et Sevestre A., 1994).

* Un questionnaire a été adressé aux maires et aux conseillers généraux. Il s'agissait d'évaluer les coûts financiers entraînés par les dégâts dus aux mouvements de terrain et de demander aux responsables des collectivités locales si des travaux préalables avaient été effectués (DDE, DDAF, RTM ou autres organismes publics ou privés) afin de prévenir les calamités naturelles sous forme d'aménagements, de remodelage de versants, de correction de lits, de dragage, de construction de digue, d'enrochement ou de reforestation. Le but était de déterminer si une gestion préventive était moins onéreuse que d'attendre d'éventuels dégâts puis de chercher à se faire indemniser ou de régler les coûts a posteriori. Les résultats de cette étude ont déjà fait l'objet d'une publication partielle dans laquelle il est démontré que les coûts les plus importants sont supportés par les plus petites communes de montagne (Pech P. et Sevestre A., 1994).

* L'analyse de terrain et l'enquête sur archives (RTM et Archives Départementales), qui complètent la démarche méthodologique de ce travail de recherche, ont permis de rechercher certains facteurs favorables à l'apparition de cette activité morphogénique de forte intensité. L'étude consistait à rechercher, dans les cadastres ou sur le terrain, les traces d'une occupation et d'une gestion des milieux naturels et leur abandon récent.

Les aspects de la déprise rurale:

Dans les régions de montagne, la disparition des activités économiques traditionnelles, en particulier agricoles, est un problème abordé depuis très longtemps et son ampleur, dans certains massifs, a été telle que l'on a pu employer le concept de désertification ou "d'espace désertifié" (J.Perret et al., 1993). Parallèlement, les préoccupations écologiques de gestion de l'espace montagnard ont précocement émergé, accompagnant la montée en puissance de la gestion des excédents agricoles

(Vinay, 1975) qui a obligé à développer des friches. L'instauration de l'Indemnité Spéciale Montagne, surnommée "prime à la vache tondeuse" et la politique de mise en place de nombreux parcs naturels nationaux ou régionaux ont servi de réponses à ce problème de la désertification des régions montagnardes. Les parcs nationaux, comme celui des Cévennes, ou régionaux, comme celui du Vercors ont servi d'instance dynamique luttant contre l'hémorragie des campagnes.

Les causes de la déprise rurale montagnarde sont diverses:

- surpeuplement à partir de la deuxième moitié du XIX ème siècle,
- concentration d'activités économiques attractives pour la main d'oeuvre dans les villes,
- inadaptation et baisse de rentabilité des structures d'exploitation agricole de montagne face à la concurrence des régions grosses productrices et ceci dans une logique de production agricole de masse,
- des crises ou des événements climatiques accélèrent indéniablement le processus d'abandon des cultures d'appoint ou disposées en situation un peu marginales comme ce fut le cas lors de l'hiver très froid de 1956 pour l'olivier mais aussi pour la prune et la lavande qui disparaît progressivement des Pays du Buëch.

Dans les Hautes Alpes, "la demande des agriculteurs à travers la SAFER porte sur des terres plus faciles à exploiter et des sols plus productifs. Mais en montagne sèche il y a un effondrement de la demande et des prix pour les alpages et les parcours" (D.Vivier, 1993).

Les relations entre le regain d'activité morphogénique et la déprise rurale peuvent être évoqués particulièrement dans les Pays du Buëch, où se sont produits des mouvements importants en 1993 et 1994, car ils correspondent à un cas exemplaire de milieu de montagne "désertifié". Les Pays du Buëch constituent la partie SW du département des Hautes-Alpes. Région de moyenne montagne subméditerranéenne qui n'a jamais connu l'essor de l'or blanc, elle fait figure de parent pauvre du département, très faiblement peuplée, peu urbanisée et industrialisée. L'activité agricole est progressivement déclinante et la déprise rurale se marque très nettement par une progression des friches. Ce mouvement a d'ailleurs été précoce (fig.9). Amorcé dès le milieu du XIX ème siècle, il a correspondu à un exode massif vers des régions urbaines et industrielles qui offraient de l'emploi. Les Alpes du Sud et plus particulièrement les Pays du Buëch ont souffert d'une absence de centres urbains suffisamment dynamiques pour permettre un drainage des populations rurales locales qui auraient pu rester à proximité des terroirs agricoles. Cette région s'intègre aux Préalpes du Sud dont Raoul Blanchard disait dès les années 1940 qu'elles étaient "les seules à présenter des districts étendus où la population a diminué, au cours des cent dernières années, de plus de 70%" (R.Blanchard, 1945).

Pourtant, c'est dans ce secteur, ainsi que dans les départements voisins, que les effets de la surcharge pastorale et d'une relative surpopulation avaient entraîné, dès la fin du siècle dernier, le déchaînement de processus d'érosion, en particulier, ravinnements, laves torrentielles, crues, etc. Cette activité

fig.4: les formations végétales sur la commune de La Cluse en Dévoluy d'après les photographies aériennes de 1952 (d'après Souillat C. et Salicetti J.S., 1993)











-  Formation de ligneux hauts et denses
-  Formation de ligneux hauts et clairs
-  Formation de ligneux hauts et clairs + herbacées (piqueté d'arbres)
-  Formation de ligneux hauts + ligneux bas + herbacées (formation complexe)
-  Formation de ligneux bas + herbacées (broussaille)
-  Formation d'herbacées (pelouses)
-  sol nu
-  cultures

fig.5: les formations végétales sur la commune de la Cluse en Dévoluy d'après les photographies aériennes de 1992 (d'après Souillat C. et Salicetti J.S., 1993) (même légende que sur la figure 4)



morphogénique avait justifié la création du service de la RTM qui intervenait pour protéger les populations rurales et leurs terres agricoles contre l'érosion.

Depuis, la politique de la RTM ainsi que la déprise rurale (le seul secteur rural de Veynes passe de 12948 habitants en 1826 à 7400 environ vers 1968) ont engendré un développement des surfaces boisées (fig.4 et 5), reboisements plantés ou de reconquête spontanée, et par l'abandon des terres agricoles. Les territoires montagnards abandonnés et progressivement vides d'habitants sont voués à la reconquête forestière. Futaies plus ou moins bien entretenues du domaine public ou friches boisées ou embroussaillées des propriétaires privés forment progressivement des milliers d'ha de massifs forestiers continus. Et certains organismes s'alarment devant les risques d'incendie (J.Perret et al., 1993). Puis il faut bien envisager le devenir de tels immenses territoires après le feu: "... les risques sont grands de crues catastrophiques et d'une reprise de l'érosion torrentielle, jusque là maîtrisées par le développement des forêts et des friches" (J.Perret et al., 1993).

Même si la tendance démographique s'inverse progressivement après le creux des années 1975-1982 (fig.3) (15589 habitants pour les cantons d'Aspres, Laragne, Orpierre, Ribiers, Serres, Veynes en 1975 et 15240 en 1982) puisque la population bénéficie du retour de néo-ruraux, de résidences secondaires ou de retraités (en 1990 la population de ces mêmes cantons atteint 15532 habitants) cette augmentation réelle de la population ne concerne que les petites villes des Pays du Buëch (Veynes, Serres, Laragne et certaines communes situées sur les axes de communication Grenoble-Marseille et Gap-Nyons. Les territoires ruraux sont abandonnés définitivement. Au contraire, la venue de résidents temporaires, vacanciers ou retraités, n'est pas sans poser des problèmes:

- les risques d'incendie sont redoutés. Il s'est d'ailleurs produit un incendie important sur la commune de Montclus en 1993 à partir d'une résidence secondaire et cet incendie a dénudé des versants qui ont facilité l'action du ruissellement lors de l'épisode pluvio-orageux de janvier 1994.
- Pour secourir des vacanciers ou des retraités, l'armée a été obligée de secourir tout le hameau de Champ du Meunier, sur la commune de Montclus, située à l'Ouest de Serres, lors du glissement de terrain qui s'est produit en janvier 1994 (P.Pech, 1994 a et b).

Les campagnes des pays du Buëch se sont donc vidées des ruraux. L'emprise sur les bassins-versants par les cultures ou le pastoralisme a diminué et les friches progressent. Leur extension est mesurable à travers l'analyse des photographies aériennes ou à travers l'étude des formations ainsi que des groupements végétaux. L'essor des landes et certaines espèces comme les Vipérines (*Echium vulgare*), le Lotier (*Lotus corniculatus*), le trèfle (*Trifolium repens*) ou l'Eglantier (*Rosa arvensis* ou *R. canina*) sont caractéristiques des espaces anciennement utilisés à des fins agricoles et à reconquête spontanée. L'ampleur des boisements est lisible dans certaines vallées (Souillat C. et Salicetti J.S, 1993) d'autant que de nombreux secteurs abandonnés par les cultures ou par les paturages ont été reboisés par l'ONF, comme dans le bassin-versant du Drouzet (Doreau N., 1994), dans le Dévoluy, sur la commune de la Cluse (Souillat C. et Salicetti J.S, 1993; Pech P., 1994 c).

Résultats:

Le tableau I montre la relation existant les mouvements de terrain et l'ampleur de la déprise rurale. L'urbanisation a favorisé des phénomènes de glissement et d'inondation. Dans le cas de Serres, le lotissement inondé a été édifié sur le cône de déjection de la Blême.

L'ancienneté de la déprise rurale est un facteur important de l'activité morphogénique et particulièrement des processus de glissement et de coulée. Dans de nombreux cas, comme sur les versants du Rif de l'Arc, les recherches sur le terrain ont permis de voir apparaître des tuyaux en terre cuite qui avaient pour fonction de drainer les versants. La déprise rurale s'est accompagnée d'un abandon de l'entretien des réseaux de canalisation.

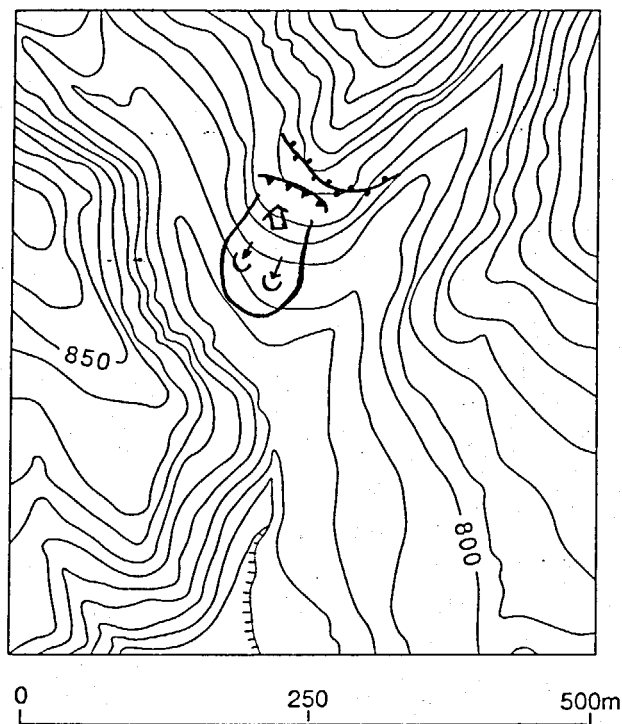
tableau I: relations entre les processus morphogéniques et l'ancienneté de la déprise rurale:

| Lieu | Processus | Durée de la déprise en années | Durée de l'urbanisation | Nature du couvert | aire affectée en m ² |
|--------------|------------|----------------------------------|----------------------------|-------------------|------------------------------------|
| Montclus | glissement | 20 | | friches | 2.10 ⁴ |
| Charonnier | coulée | 100 | | forêt | 2.10 ⁵ |
| Cote Belle | glissement | 100 | | forêt | 1.10 ⁵ |
| Verniers | glissement | 50 | | friches | 1.10 ² |
| Boutaron | foirage | 50 | | friches | 1.10 ² |
| Rif de l'Arc | coulée | 100 | | forêt | 2.10 ² |
| Casserinche | coulée | 50 | | forêt | 1.10 ³ |
| Bois Rond | glissement | 100 | | forêt | 5.10 ⁵ |
| Veynes | glissement | | 20 | villas | 2.10 ² |
| Serres | inondation | | 20 | immeubles | 3.10 ² |

Certains cas exemplaires permettent de bien comprendre comment ces types de mouvement ont un lien direct avec la déprise rurale.

* Le glissement de terrain de "Champ du Meunier" situé sur la commune de Montclus est un cas typique de glissement banc sur banc (Pech P., 1994 a et b). Il s'est produit le 8 janvier 1994, après des précipitations fortement abondantes. Le glissement s'est traduit par l'apparition d'une fissure

fig.6: le versant en glissement de Champ du Meunier (commune de Montclus - Hautes-Alpes)
 (a: fissure proximale; b: corps du glissement; c: hameau; d: ancien chenal de drainage abandonné).



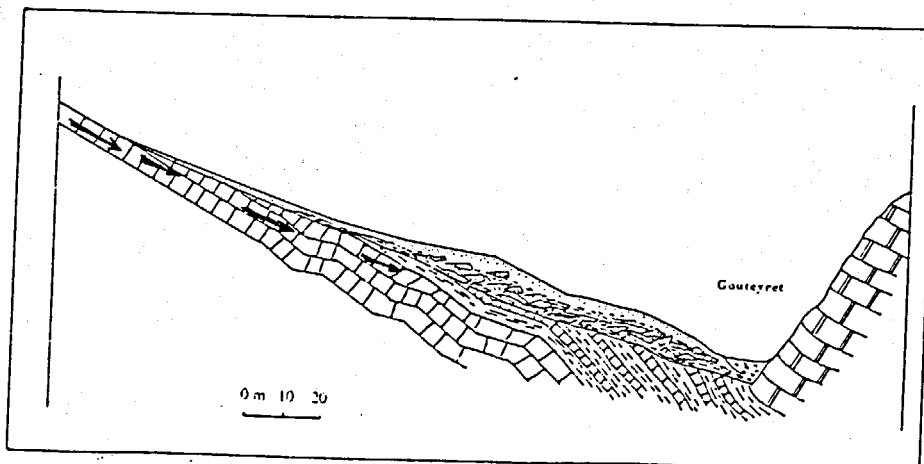
A.

C.

B.

D.

fig.7: coupe du versant en glissement de Champ du Meunier (les flèches correspondent au trajet de l'eau dans l'aquifère)



entre des bancs calcaires (déplacement horizontal et vertical d'environ 50 cm), par la fluxion de la partie distale du versant et par des déformations importantes au niveau des habitations du hameau qui a été évacué pendant dix jours. Le glissement est dû à une mise en mouvement de couches plastiques formant le toit de l'aquifère calcaire constitué par les bancs inclinés sur le flanc du versant. Les études géotechniques ont été menées et des piézomètres permettent d'observer les fluctuations du toit de la nappe (Pech P., 1994 a). Toutefois, l'étude sur le terrain révèle qu'il existe des circonstances ayant aggravé le mouvement. Le versant présente de formes témoignant d'une ancienne activité de glissement (Pech P., 1994 a). En revanche, les habitations ne portent pas de traces de tels mouvements avant l'épisode de 1994. Les habitants ne se souviennent pas d'avoir entendu dire que le versant ait glissé (un témoignage évoque l'implantation du village sur ce terrain considéré stable depuis trois cents ans).

L'enquête locale a permis de voir qu'il existait, en amont du hameau, strictement au-dessus de la déchirure de janvier 1994, un chenal de drainage des eaux de ruissellement de surface. Or, on a pu déterminer que la saturation de l'aquifère n'était pas due à l'apport en eau de précipitation in situ mais à la circulation oblique depuis la partie amont du versant, secteur dénudé où la roche calcaire affleure (Pech P., 1994 a). Il existait donc, et jusqu'à une période récente, correspondant à la fin des années 1960, un chenal drainant et détournant une partie des eaux depuis la surface sommitale du versant vers les torrents affluents. Ce chenal est actuellement abandonné, détruit et bouché. Les eaux de ruissellement de l'amont ne sont plus captées et dérivées mais elles s'infiltrent à l'intérieur de la roche calcaire venant alimenter et saturer l'aquifère sous le hameau (fig. 6 et 7).

* Le bassin-versant du Drouzet, affluent du Buëch, au sud de Veynes, a subi de nombreux mouvements de terrain lors de l'épisode pluvio-orageux du mois de janvier 1994 (Doreau N., 1994). Parmi les phénomènes originaux et spectaculaires, se sont produits des glissements simples, des foirages et aussi des coulées prenant l'aspect de petites laves torrentielles, lorsqu'elles ont emprunté des chenaux torrentiels préexistants. Dans le ravin du Charonnier, situé sur la route D20, allant de Veynes à la Durance par Esparron et Barcillonnette, est apparu un mouvement mixte, associant un glissement rotationnel dans les marnes, à l'amont, à partir de la bordure du bassin de réception torrentiel, et une coulée presque fluide, vers l'aval, puisqu'une aire de 300 m² correspond à la langue terminale, forme de dépôt de la partie distale du mouvement ayant recouvert la route et un champ cultivé.

Long de plus de 800 m, entre la couronne de glissement, remarquable par ses stries, le compartiment proximal abaissé, à la façon d'un demi-graben, et la langue de dépôt, le mouvement du Charonnier s'est déroulé sur un versant réputé stable et couvert d'une forêt spontanée de pins noirs et de pins sylvestres. Dans ce cas, l'abandon des pâturages et le développement des bois et forêts ont favorisé les processus d'infiltration de l'eau et l'engorgement des marnes. Les plans de rupture bancs sur bancs ont favorisé la constitution de poches d'eau dans des aquifères correspondant aux lits plus

calcaires instratifiés entre les bancs de marnes. La rupture, amorcée à l'amont s'est traduite par une mise en mouvement des marnes superficielles altérées et des horizons où s'est opérée une pédogenèse. Les systèmes racinaires sont responsables des forces de traction vers l'aval par le poids des arbres. Mais ils déterminent aussi la rupture de la partie superficielle du versant car ils constituent un treillis continu en-dessous duquel l'eau percole et sature les marnes altérées (Mulder F. , 1991).

Discussion et conclusion:

Les milieux naturels et même les formes de versants demeurent sous la domination des formes d'occupation et d'utilisation de l'espace par les hommes. En montagne subméditerranéenne, l'anthropisation a été précoce et elle a gagné tous les espaces, y compris les secteurs réputés les plus ingrats. Les processus morphogéniques ont longtemps été dominés par les effets de la torrencialité qui ravageait les versants par des entailles appelées dans le SE de la France, les roubines. La politique de reboisement a lutté contre ces phénomènes.

Les sociétés rurales avaient acquis une bonne connaissance de l'évolution des versants sous la contrainte des processus de glissement. En outre, le pastoralisme et les défrichements inhibaient ces types de processus de mouvements de masse. L'abandon des anciennes pratiques et la modification des conditions de drainage entraînent actuellement des modifications dans la morphogénèse: les couverts forestiers favorisent l'infiltration et la sur-saturation occasionnelle des sols en eau. Les connaissances de l'histoire du paysage sont nécessaires afin de mieux comprendre les risques possibles. Une véritable cartographie des risques devrait prendre en compte à la fois le repérage des anciens mouvements de terrain mais elle devrait aussi envisager plus globalement les évolutions des formes d'emprise des sociétés humaines: emprise rurale, culture, pastoralisme, exploitations de bois sous forme de taillis. Toutes ces formes d'occupation des milieux naturels ont conditionné pendant des siècles un certain type de drainage, de ruissellement, d'évaporation. La déprise rurale se traduit nécessairement par une modification du comportement des versants.

"Les politiques de zonages de l'espace et de protection contre les risques résultent souvent d'un a priori, qui considère ces régions incapables de s'adapter; pourtant, le repérage des acteurs locaux, la compréhension de leurs logiques d'adaptation, de leurs projets et de leurs conflits ouvrent des perspectives nouvelles" (Perret J. et al., 1993).

Dans une géomorphologie moderne, plus que jamais intégrée à la démarche géographique, il existe donc une nouvelle piste possible de recherche qui consiste à corréler des changements de l'activité morphogénique avec ces modifications de l'emprise des milieux naturels que sont les reboisements (naturels ou contrôlés), l'abandon des pratiques traditionnelles d'entretien et de correction du drainage des versants et le développement péri-urbain (résidences secondaires, péri-urbanisation pavillonnaire, etc).

Bibliographie:

- Bazin G.**, 1986 - *Quelles perspectives pour les agricultures montagnardes ? Exemples du Massif Central Nord et des Alpes du Sud*. INRA Economie et Sociologie Rurales. Grignon, Etudes et Recherches. n°3, 121p.
- Blanchard R.**, 1945 - *Les Alpes Françaises. t.4: Les Préalpes Françaises du Sud*. Arthaud, Grenoble, 561p.
- Chardon M.**, 1994 - Le glissement boueux de La Salle-en-Beaumont (8 janvier 1994). *Bulletin de l'Association Française de Géographie*. 4: 469-475.
- Colas G. et Locat J.**, 1993 - Glissement et coulée de la Valette dans les Alpes de Haute-Provence. Présentation générale et modélisation de la coulée. *Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*. 187: 19-28.
- Doreau N.**, 1994 - Etude évolutive de l'érosion sur le bassin-versant du Drouzet (Hautes Alpes) en liaison avec les périmètres RTM. *Mémoire de Maîtrise*. Université Paris 1. multigr. non édit. 185p.
- Flageollet J.C.**, 1988 - *Les mouvements de terrain et leur prévention*. Paris, Masson, 224p.
- Girel J.**, 1993 - Aménagements anciens et incidences sur la végétation actuelle: l'Isère et la Combe de Savoie entre Albertville et Montmélian. *Sciences Naturelles et Montagnes*. Actes du 116^e Congrès National des Sociétés Savantes (Chambéry 29 avril - 4 mai 1991) Comité des Travaux Historiques et Scientifiques, Paris. p.147-160.
- Guérémy P.**, 1987 - La cartographie des risques naturels. *Travaux de L'Institut de Géographie de Reims*. 69-72: 5-41.
- Julian M.**, 1991 - Rockslides and water infiltration: three typical examples from the French Western Alps. *Zeitschrift für Geomorphologie*. Suppl.-Bd 83: 95-104.
- Mulder F.**, 1994 - Assessment of landslide hazard. *Netherlands Geographical Studies*. Amsterdam. 124. 149p.
- Pech P.**, 1994 a - Factors controlling a landslide along bedding planes: the example of "Champ du Meunier" (French Alps). *Engineering Geology* (proposé)
- Pech P.**, 1994 b - Le glissement de terrain de "Champ du Meunier" (commune de Montclus, Hautes-Alpes). *Bulletin de liaison de l'Association de Sauvegarde du Patrimoine du Pays du Buëch et des Baronnie*s. 18: 62-68.
- Pech P.**, 1994 c - Ravines et gestion des reboisements en Dévoluy (Hautes Alpes - France). *Moyenne Montagne*. 117^e Congrès National des Sociétés Savantes, Clermont-Ferrand, 1992. Comité des Travaux Historiques et Scientifiques, Paris, p.507-519.
- Pech P. et Sevestre A.**, 1994 - Conséquences financières de l'épisode pluvio-orageux de janvier 1994 dans le Buëch. *Mappemonde*. 4: (à paraître)
- Perret J, Dobremez L., Bouju S.**, 1993 - Les logiques d'acteurs d'un espace désertifié. Massif du Montdenier Alpes de Haute Provence - France. *Revue de Géographie Alpine*. n°3: 67-81.
- Souillat C. et Salicetti J.S.**, 1993 - L'évolution de la dynamique du paysage végétal sur la commune de la Cluse en Dévoluy. *Mémoire de Maîtrise*. Université Paris 1. non édit. multigr. 161p.
- Vinay R.**, 1975 - *Recherches sur les incidences écologiques de l'exode rural en montagne*. CTGREF INERM, Université Scientifique et Médicale (Laboratoire de Biologie Végétale) Grenoble, ADAM, étude n°78, 51p. + cartes.
- Vivier D.**, 1993 - L'avenir des espaces ruraux français dans la construction européenne: l'enjeu foncier. *Revue de Géographie Alpine*. 2: 129-145. **165**

THEME 2

STRATEGIES ANTIEROSIVES

ASPECTS ECONOMIQUES

ET

ROLE DES DIVERS ACTEURS

BIZIMANA. M (+). DUCHAUFOR. H

Projet de recherche pour la protection de l'Environnement. Institut des Sciences Agronomiques du Burundi. BP 795 Bujumbura Burundi.

**et la collaboration de
Guizol P., Peltier R. et Pouilloux Cl.
CIRAD-Forêt. 45 Avenue de la Belle Gabrielle
94736 Nogent sur Marne Cedex France.**

Avantages et inconvénients de la haie mixte Calliandra/Setaria comme dispositif anti-érosif en milieu rural burundais.

Cet article est dédié à la mémoire de notre ami Melchior BIZIMANA disparu lors des événements qui ont douloureusement meurtri le BURUNDI en cette fin d'Octobre 1993. Melchior a été l'un des précurseurs de la recherche Forestière et en Conservation des Sols depuis ses débuts à la mission Forestière Crête ZAIRE-NIL en 1977. Travailleur insatiable et ayant foi en l'avenir et la paix de son pays, il n'a cessé de gravir les sentiers des mille et unes collines pour partager sans relâche et avec tous, les fruits de nos expériences passées et présentes ainsi que celles du peuple burundais dans son entièreté. De son nouveau bureau de Directeur Général de l'Agriculture, animé de sa foi dans sa profession, Melchior s'appêtait à défendre les droits à la qualité de la vie et un environnement durable pour tous.

Que sa générosité et son humanisme restent un exemple pour un avenir plus juste et meilleur.

Avertissement: cet article est le préambule d'un document plus exhaustif sur les propriétés agronomiques de différents dispositifs antiérosifs biologiques couramment utilisés en milieu paysan burundais. Il reprendra en partie des données de l'ISABU et de la faculté Agronomique du Burundi de manière à approfondir les contraintes qui coexistaient entre ces dispositifs et leurs multiples utilisations, elles-mêmes dépendantes du type de fonctionnement des dispositifs d'exploitation.

Résumé: La haie mixte de Calliandra-Setaria disposée en courbe de niveau est une solution de gestion conservatoire de la fertilité des sols de plus en plus introduite au Burundi. Qu'en est-il de son efficacité réelle lorsque ce système de protection est mis en place dans des exploitations exiguës occupées prioritairement par des cultures vivrières ou des cultures à haute valeur ajoutée?

L'espace occupé par un tel dispositif apportera-t-il la rentabilité recherchée aussi bien par l'agriculteur que par le développeur?

Nos expérimentations en milieu contrôlé, situées dans une des régions les plus abrupts et les plus érodibles du Burundi (kaolisol humifère argileux du Mumirwa central), nous permettent de répondre à quelques unes de ces interrogations en opposant les avantages et les inconvénients de ces haies mixtes isohypses.

Avantages:

-*les propriétés anti-érosives sont significatives.* Nous avons noté sur nos essais des diminutions de l'érosion solide variant de 50% à l'infini suivant le système de culture pratiqué et l'état de fertilité du sol.

-*La formation d'une terrasse progressive a été observée en diminuant la pente expérimentale de 30 à 20% en quatre années avec un talus de 70 cm de haut.*

-*L'étalement des produits des coupes a une efficacité temporaire d'environ un mois sur le ruissellement et le charriage des matériaux.* Elle s'observe même lors des épisodes pluvieux très agressifs.

-*1000m de Calliandra-Setaria, disposés en deux rangées en quinconce respectivement de 50X50 et 30X30cm, ne demandent que 45 à 60 H/j de travail.*

-*Les bénéfices sont multiples, ce qui théoriquement augmente les capacités de diversification et d'intensification de l'exploitation.*

Inconvénients;

-*Il faut au minimum cinq à six mois avant que la haie puisse confirmer son rôle de micro-barrage.* Le paillage au moyen de déchets de labour peut remédier temporairement à cette insuffisance;

-*Les propriétés antiérosives diffèrent suivant un gradient qui est proportionnel à la fertilité et l'entretien en intrants du sol;*

-*Les atterrissements n'ont permis d'enregistrer aucun enrichissement significatif du sol en amont des haies.*

-*les concurrences multiples portent aussi bien sur les cultures associées que sur les composantes de la haie.* Sur nos essais, ces concurrences, complexes et plus ou moins prononcées en aval du dispositif, diffèrent selon le mode de gestion du dispositif (importance de l'ombre portée et de la couverture des cultures associées), la fertilité du sol (aucune compétition nutritionnelle sur sol non carencé) et par extension, sa réserve hydrique;

-*L'espace occupé par des haies équidistantes de 10 m représente environ 12% de la surface agricole utile.* C'est une production de biomasse ligneuse et foliaire qui se fait aux dépens des cultures vivrières.

En résumé, ces premiers résultats expérimentaux soulignent bien les difficultés stratégiques de l'introduction de cette technologie qui semblait à première vue rentable et simple pour l'exploitant(e) car productive et pérenne. Cela est loin d'être le cas! Si elle s'introduit aisément dans telles exploitations avec tous les bénéfices recherchés, elle deviendrait dans telles autres une innovation inopportune (la biomasse produite n'apportant aucun intérêt particulier), une contrainte économique sur le court terme (en cas de fortes concurrences liées à un pédoclimat peu favorable), parfois une exigence trop importante en main d'oeuvre (entretien du dispositif) ou tout simplement un obstacle à la production vivrière familiale.

Mots clés: haie mixte isohypse antiérosive- *Calliandra calothyrsus, Setaria Sphacelata*- terrasse progressive- paillage- concurrences/ compétitions nutritionnelles- atterrissements.

Environnement socio-économique et démographique et crise érosive au Burundi

Par T. RISHIRUMUHIRWA
Chercheur à l'I.R.A.Z.
BP 91 GITEGA-BURUNDI

Résumé:

Dans cet article, l'auteur étudie les causes de la crise socio-politique que traverse le Burundi et ses conséquences sur l'érosion et la dégradation de l'environnement. Pour cela, il pose d'abord la problématique de l'érosion eu égard aux caractéristiques du milieu physique du pays. Il en déduit les facteurs les plus déterminants de cette érosion sont l'agressivité climatique et l'indice de pente. Par ailleurs, la couverture végétale naturelle joue un rôle éminemment protecteur et ramène les risques de pertes en terres en dessous du seuil de tolérance (12.7 T/Ha/an).

Les causes de la crise, généralement attribuées aux conflits ethniques, revêtent, néanmoins, des aspects socio-économiques et démographiques telles que le chômage en ville et un sous-emploi généralisé dans les campagnes qui débouchent sur une instabilité politique et des troubles graves entretenues par les protagonistes politiques.

La crise a conduit aux massacres de populations et aux destructions massives, d'une part, et, d'autre part, à la recrudescence des feux de brousse, à l'abandon des activités de lutte anti-érosive et à la déforestation.

L'auteur propose une série de solutions pour sortir de la crise en s'attaquant aux causes à la racine par une politique démographique claire, le dégorgement du secteur agricole dans le cadre d'une diversification de l'économie nationale et l'élaboration de nouveaux systèmes de production plus intensifs.

Summary:

This communication analyses the political crisis in Burundi, its origin and its impact on erosion and environment deterioration. The author estimates the erosion hazards consequent to the climate, soils and slopes characteristics in the different agro-ecological areas of the Country under natural vegetation and under crops.

The origin of the crisis is commonly attributed to ethnic conflicts but may have been emphasised by the high demography and the socio-economic situation of Burundi characterised by under-employment in towns and in rural areas.

This crisis led to political massacres, destructions and other spoliations but also affected the environment consequently to bush fires, deforestation and abandonment of soil erosion control practices.

The author proposes solutions based on demography control, diversification of economic activities and intensification of agriculture.

Mots clés:

Erosion, démographie, environnement, sous-emploi, feux de brousse, intensification agricole.

Introduction:

Dans un précédent article, l'auteur (1994), a montré que le Burundi, de même que le Rwanda et l'Est du Zaïre, est un pays montagneux fortement exposé à l'érosion de part ses caractéristiques climatiques et géomorphologiques. Il a mis en évidence le rôle de la pression démographique, du régime foncier et de l'habitat, des pratiques agricoles et des systèmes culturels dans la gestion de l'eau et de la fertilité des sols. Il a montré aussi, par des résultats de recherches effectuées dans les pays de la C.E.P.G.L.¹, que des solutions techniques existent et que la coordination des interventions des chercheurs, des vulgarisateurs et des décideurs politiques peut améliorer sensiblement l'efficacité des mesures de lutte anti-érosive.

D'autre part, ROOSE, E. (1994) a montré que la démographie pouvait être à l'origine d'une crise d'érosion se traduisant par une forte dégradation des sols jusqu'à ce qu'un nouveau système de production plus intensif vienne relayer le précédent. Actuellement, le Burundi semble avoir atteint une phase critique ayant débouché sur une crise politique avec des prolongements sur la dégradation de l'environnement et l'aggravation des processus érosifs.

Quelles sont les causes profondes de cette crise? Quelles sont ses conséquences sur l'érosion et l'environnement? Quelles sont les mesures à prendre pour en atténuer les effets? Telles sont les quelques points que cet article se propose de développer.

1. Les facteurs et les risques d'érosion hydrique au Burundi

D'après l'équation universelle des pertes en terres de WISCHMEIER, W.H., (1978) dont la forme est: $A=R*K*LS*C*P$, l'érosion hydrique (A) est soumise aux facteurs agressivité climatique (R), érodibilité (K), indice de pente (LS), indice cultural (C) et indice des pratiques anti-érosives (P). Au regard de ces derniers, principalement du climat et de la géomorphologie, on pourrait subdiviser le Burundi, comme le propose SIMONART, T. (1992), en 5 grandes régions érosives: l'Imbo, le Mirwa, la Crête Zaïre-Nil, le Plateau central et le Moso (bas plateaux de l'Est). Le tableau ci-après résume les principales caractéristiques de chacune de ces régions.

Tableau n°1: Caractéristiques du milieu physique et régions érosives du Burundi

| Caractéristiques du milieu physique | | | | | |
|-------------------------------------|---------------|--|--|-----------------------------|-----------------------|
| Régions | Altitude en m | Climat (class. Köppen) Précip. en mm/an | Sols (INEAC) | Pentes | Végét. naturelle |
| IMBO | 770-1100 | Aw 4-6 800-1100 | Vertisols, Solonetz, Kaolisols (ferrisols) et alluvions | > 5 % | Savane |
| MIRWA | 1100-2000 | Aw3-4 1100-1800 | Sols récents tropicaux et Kaolisols (ferrisols et feralsols) | 10 - + de 80% | Forêt |
| CRETE Z-NIL | 1700-2500 | Cw3 1300-2000 | Kaolisols humifères | 20 - + de 80% | Forêt sub-montagnarde |
| PLAT. CENTRAL | 1400-1900 | Aw3 1000-1500 | Ferralsols, lithosols | 10 - 25% / + 50% localement | Forêt |
| MOSO | 1300-1500 | Aw3-4 1000-1300 | ferrisols et feralsols, lithosols et alluvions | 0 - 25% / + 50% localement | Savane |

¹Communauté Economique des Pays des Grands Lacs Burundi-Rwanda-Zaïre

Ce tableau montre que le Burundi est soumis à une érosion hydrique liée au climat (pluvieux) et à l'importance des pentes (inclinaison et longueur). Cette érosion est très bien contrôlée par la végétation naturelle en milieu naturel non perturbé.

En affectant à chaque indice une ou des valeurs limites, on peut calculer les risques théoriques de pertes en terres sous végétation naturelle (A_{nat}) ou sous culture (A_{act}). C'est ce qui ressort du tableau ci-après.

Tableau n° 2: Estimation des risques théoriques de pertes en terres sous végétation naturelle et sous cultures pour chacune des 5 régions érosives.

| Région | R | K | LS | C_{nat} | C_{act} | P | A_{nat} en (T/Ha) | A_{act} en (T/Ha) |
|--------------|---------|-----------|-------|-----------|-----------|---|---------------------|---------------------|
| Imbo | 350 | 0.07-0.14 | 0.5-1 | 0.01 | 0.1-0.7 | 1 | 0.12 -0.49 | 1.23-34.3 |
| Mirwa | 350-600 | 0.07-0.14 | 1-50 | 0.001 | 0.1-0.7 | 1 | 0.02-4.2 | 2.45-2940 |
| Crête Z-N | 600-650 | 0.07-0.14 | 1-50 | 0.001 | 0.1-0.7 | 1 | 0.04-4.55 | 4.2-3185 |
| Plat Central | 400-500 | 0.07-0.14 | 1-5 | 0.001 | 0.1-0.7 | 1 | 0.03-0.35 | 2.8-245 |
| Moso | 350-550 | 0.07-0.14 | 1-5 | 0.01 | 0.1-0.7 | 1 | 0.25-3.85 | 2.45-269.5 |

Source:

- R: SIMONART, T. citant ISABU, (1992); RISHIRUMUHIRWA T., (1993); KARIKURUBU J. et GACIYUBWENGE E., (1992);
- K: ROOSE, E. (1977); DUCHAUFOR, H. (1992); RISHIRUMUHIRWA, T. (1993);
- LS: estimé par le nomogramme de Wischmeier (1978) pour différentes valeurs de pentes et des longueurs de parcelles variant de 20 à 40 m;
- P = 1 dans l'hypothèse où les parcelles ne portent pas d'aménagements anti-érosifs;
- C_{nat} . = indice culturale de la végétation naturelle = 0.001 sous forêt et = 0.01 sous savane d'après ROOSE, E. (1977);
- C_{act} . = indice culturale des cultures (végétation actuelle): varie de 0.1 à 0.7 (DUCHAUFOR, H. 1992);

Ce tableau montre que l'érosion sous végétation naturelle est faible quelque soit la pente et que, sous culture, elle n'est tolérable que si la pente est faible et si, en même temps, l'indice culturale est de l'ordre de 0.1 (cultures denses et pérennes comme le bananier). Inversement, les risques sont d'autant plus élevés que les pentes sont fortes et que les cultures pratiquées ont un indice élevé (cas du manioc).

Conscient de l'importance de ces risques, les pouvoirs coloniaux et les différents gouvernements d'après l'indépendance (1962), ont entrepris des travaux de lutte anti-érosive préconisant des méthodes empiriques ou recommandées par des recherches en conservation des sols. On peut citer à titre de rappel les fossés isohypses plantés de graminées (*Pennisetum purpureum*, *Setaria sphacelata*...), de légumineuses (*Calliandra calothyrsus*, *Leucaena diversifolia* ...) ou de mélanges des deux; les méthodes culturales (buttes, déchets de labour, paillis, cordons de pierres ...); l'amélioration des techniques d'élevage (paddoking, stabulation) et le contrôle des feux de brousse.

2. Les causes socio-économiques et démographiques de la crise actuelle;

Depuis environ deux ans, le Burundi connaît de profondes mutations intervenues à la faveur du processus de "démocratisation". Elles ont été marquées par une campagne électorale de toutes les passions (1er semestre 1993), des élections (juin 1993), l'assassinat du Président

élu (21 octobre 1993) et des massacres généralisés de Tutsi et opposants politiques. La crise qui s'en est suivie continue à secouer le pays et semble s'y installer pour longtemps.

On attribue généralement cette crise aux rivalités ethniques entre les Hutu (majoritaires) et les Tutsi (minoritaires). La réalité est peut-être plus subtile et les causes plus profondes, liées à l'évolution des conditions socio-économiques et à la pression démographique que connaît le Burundi. Incontestablement, la lutte pour le contrôle du pouvoir et de l'Etat en est le principal enjeu au sommet (conflits entre les élites) qui devient, à la base, l'espoir de rompre avec une pauvreté de plus en plus grande aggravée par un sentiment de fatalité.

En effet, on a assisté au cours des deux dernières décennies à une scolarisation accélérée qui amène chaque année des centaines de diplômés (universitaires et autres) sur le marché du travail déjà largement saturé. A titre indicatif, l'Université du Burundi comptait +/- 500 étudiants en 1970 et en compte aujourd'hui (1994) plus de 5000. Une forte incertitude pèse donc sur l'avenir d'un nombre de plus en plus important de ce qu'on appelle ici, souvent abusivement, "l'élite intellectuelle". Les rangs des demandeurs d'emplois en ville ne cessent de grossir créant ainsi une classe de chômeurs en proie à toutes les aventures pour s'en sortir.

Dans les campagnes, la situation n'est guère meilleure, la pression démographique pèse lourdement sur l'avenir des exploitations agricoles. La population burundaise est passée de 2 millions d'habitants en 1950 à 5,35 millions en 1990 avec un taux d'accroissement annuel de 2,62% (BIDOU, J.L., et al., 1991). En 1988, la moyenne nationale d'une exploitation agricole, (famille de 5 personnes), était estimée à 0,80 Ha (Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage, 1988). Le système d'héritage veut que la propriété familiale soit partagée entre les frères. De ce fait, la taille moyenne de l'exploitation diminue de génération en génération. C'est ce qu'on appelle ici l'atomisation des exploitations, l'émergence d'un sous-emploi généralisé au sein de la population agricole qui représente 95% de la population totale, des conflits fonciers, l'exode saisonnier interne et externe, la délinquance, etc.

C'est dans ce contexte précaire que viennent éclore les rivalités et conflits politiques dans lesquels la tribu ou l'ethnie semble un allié bien plus sûr qu'un bon programme économique. Le multipartisme et la démocratisation ont donné l'occasion aux politiciens en lutte pour le pouvoir, de récupérer cette masse de déshérités et de chômeurs par des promesses, parfois fantaisistes, de fanatiser leurs membres et de cultiver la haine entre les différents groupes ethniques les uns étant présentés comme nantis et dominateurs, les autres de déshérités et de dominés.

Si ces luttes ont toujours émaillé la vie politique du Pays depuis 1962, elles prennent aujourd'hui des proportions inquiétantes pour les raisons évoquées ci-haut. La manne de l'Etat et la terre se raréfient et les candidats au partage deviennent de plus en plus nombreux.

3. La crise et ses effets sur la dégradation de l'environnement et des terres;

Les effets les plus marquant de cette crise sont essentiellement socio-politiques avec leur cohorte d'assassinats, de massacres généralisés et de spoliations de toutes sortes (pillage et destructions). Nous nous attarderons ici sur les conséquences sur la dégradation de l'environnement par la recrudescence des feux de brousse en 1991, 1992 et surtout en 1993 et 1994, l'abandon de la lutte anti-érosive et la déforestation.

Il est connu dans le Pays que les feux de brousse sont souvent le fait des éleveurs et des opposants politiques. Ces deux groupes sont à l'origine des incendies qualifiés de criminels. Ces feux touchent essentiellement les savanes de l'Est et du Nord (Kirundo, Muyinga,

Cankuzo, Ruyigi, le Moso) ainsi que la plaine de la Ruzizi. Il est difficile de connaître annuellement les superficies touchées mais, l'INECN (Institut National pour l'Environnement et la Conservation de la Nature) fait régulièrement des estimations dans ses réserves et parcs.

D'après un rapport de cet Institut (1994), les feux de brousse observés entre le 20 juillet et le 08 août 1994 (18 jours) ont détruit 25.737 Ha dans les périmètres sous son contrôle. Ces données sont résumés dans le tableau n°3:

Tableau n°3: Situation des feux de brousses dans les réserves et parcs en juillet et août 1994.

| Lieu | Période | Superficie en Ha |
|--|----------------------|------------------|
| Parc national de la Kibira | 20 juillet - 08 août | 118,05 |
| Réserve naturelle forestière de Rumonge | 02 juin - 15 juin | 7,20 |
| Parc national de la Ruvubu | juillet | +/- 1.500,00 |
| Réserves naturelles forestières de l'Est | 09 juillet - 06 août | + de 24.000,00 |
| Monuments naturels de l'Est | 09 juillet - 06 août | 92,00. |
| TOTAL | | 25.717,25 |

Source:INECN

D'après le même rapport, ces feux sont essentiellement d'origine criminel. On peut estimer que des superficies encore plus grandes seront détruites dans le reste de l'année du fait que les données ne couvrent qu'un mois alors que les feux sont généralement observés pendant 4 mois dans l'année (de juillet à octobre). Le tableau n° 4 compare les dégâts enregistrés en 1993 et 1994 dans les mêmes périmètres (INECN, 1993 et 1994).

Tableau n°4: Situation des feux de brousse de juillet à septembre en 1993 et en 1994

| Lieu | dégâts 1993 en Ha | dégâts 1994 en Ha |
|--|-------------------|-------------------|
| Parc national de la Kibira | 325,0 | 780,2 |
| Réserve naturelle forestière de Rumonge/Vyanda | 907,0 | 227,0 |
| Parc national de la Ruzizi | 507,5 | |
| Réserves naturelles forestières de l'Est (Ruyigi) | 4748,0 | 319,5 |
| Réserves naturelles forestières de l'Est (Nyabitsinda) | 255,0 | - |
| Réserves naturelles forestières de l'Est (Kinyinya) | 658,0 | 191,5 |
| Réserves naturelles forestières de l'Est (Gisuru) | 12696,0 | 37785,0 |
| Réserves naturelles forestières de l'Est (Butezi) | 151,0 | - |
| Réserves naturelles forestières de l'Est (Butazanzwa) | 1154,5 | - |
| Réserves naturelles forestières de l'Est (Bweru) | 533,5 | - |
| Réserves naturelles forestières de l'Est (Cankuzo) | - | 344,0 |
| TOTAL | 21935,5 | 39647,2 |

Source: INECN

Les données fournies dans ce tableau ne concernent que les parcs, les réserves et les aires protégées. Les méthodes d'estimation des superficies peuvent avoir sous-estimé ou surestimé les dégâts. On peut considérer qu'elles sont incomplètes dans la mesure où elles

couvrent une partie seulement de la saison des feux de brousse. Pour l'année 1993, le mois d'octobre (+ début novembre) a été particulièrement touché à la suite des troubles politiques, des communes entières en Provinces Ruyigi, Cankuzo, Karuzi, Muyinga, Rutana et Gitega, soit 6 des 15 provinces que compte le Pays, ont été dévastées par le feu. Elles ne sont pas prises en compte dans le tableau n°4. Par ailleurs, les périmètres non contrôlés par l'INECN sont généralement plus touchés; les superficies en cause sont plus importantes et il y a absence de structures de prévention et de lutte contre les feux comme c'est le cas dans les réserves et parcs.

L'effet de ces feux sur l'érosion et la dégradation de l'environnement est d'autant plus important qu'ils sont répétés chaque année au même endroit. Ce qui est généralement le cas.

D'après BALLAIS, J.L. (1992), citant le cas de la montagne Sainte-Victoire (Méditerranée en Aix-en-Provence), il faut attendre au moins 4 à 5 ans pour que le milieu retrouve son équilibre initial après un incendie de forêt. Dans le cas des feux répétés, se traduisant par la destruction des repousses successives, les atteintes à l'environnement sont cumulatives et conduisent à une crise érosive durable nécessitant une action de mise en défens de longue durée pour en corriger les effets.

En plus des feux de brousse, on a constaté que les travaux de mise en place de nouvelles structures de lutte anti-érosive et l'entretien des anciennes ont été interrompus, Ces structures ont même été détruites par endroit. L'encadrement agricole a été abandonnée, les agents des services de vulgarisation ayant fui ou ne pouvant se rendre dans leurs périmètres d'action en raison de l'insécurité persistante dans les campagnes. L'absence notoire de l'autorité à la base et l'anarchie régnant en milieu rural ont favorisé l'occupation incontrôlée de terres marginales appartenant à l'Etat et des terres abandonnées par les réfugiés intérieurs et extérieurs. On assiste également à un déboisement accéléré par les déplacés (réfugiés intérieurs +/- 250.000) et les réfugiés Rwandais (+/- 150.000) pour couvrir leurs besoins en bois de chauffage estimés à +/- 600.000 stères à raison de 1,5 stère/personne/an. Les cultures industrielles, en particulier le café, n'ont pas échappé à la folie destructrice et des plantations entières ont été brûlées. Tout ceci contribue à rompre un équilibre déjà précaire, à accélérer la dégradation de l'environnement et à reléguer aux oubliettes la lutte anti-érosive.

4. Approche de solutions.

Comme on vient de le voir, les causes de la crise sont complexes. Elles tiennent à la fois de l'aggravation de la pression démographique sur les terres agricoles et du chômage en milieu urbain avec, comme ingrédients, les rivalités pour l'accès au travail et à la propriété foncière, sur fond de lutte pour le pouvoir et le contrôle de l'Etat. Ces conflits sont cristallisés autour de la question ethnique. Les solutions sont complexes et incombent au premier chef à la classe politique. Cette dernière devrait déployer toute son énergie à concevoir et à mettre en oeuvre de bons programmes de développement afin d'ouvrir de meilleures perspectives tant aux "scolarisés" qu'aux agriculteurs.

Plus concrètement, la scolarisation devrait être orientée vers des écoles techniques et des métiers pour favoriser l'émergence de l'artisanat, des métiers et de la petite industrie. Le contrôle de la démographie est également une voie incontournable et implique des campagnes de sensibilisation et d'éducation des masses paysannes en matière de limitation des naissances.

La politique de l'emploi devrait être repensée et accorder la priorité à la diversification de l'économie pour dégorger l'agriculture par l'artisanat, les services et la petite

industrialisation. Elles devrait, en outre, favoriser la mise en chantier de grands travaux consommatrices de matériaux locaux et de forte main d'oeuvre afin de résorber le chômage dans les campagnes et accroître les revenus extra-agricoles. A ce titre, pourquoi ne pas accorder la priorité, par exemple, à la construction de routes en pavés au lieu de routes asphaltées?

Dans le domaine de l'agriculture, la gestion des exploitations devrait s'orienter vers une plus forte intensification. Comme le propose ROOSE, E (1994), il est peut être temps d'accroître la part des cultures à haut rendement par unité de surface (tubercules) et d'associer le labour au fumier, au chaulage et aux engrais N-P-K. Un choix judicieux du type d'élevage est également à faire (porc en stabulation, pisciculture). On devra recourir, en outre, aux associations cultures-arbres fruitières et autres, et évoluer progressivement vers des jardins multi-étagés tels que rencontrés en Asie du Sud-Est.

Tout ceci ne sera possible que si la classe politique prend conscience de ses véritables missions et acquiert un sens patriotique élevé, mettant en avant le bien commun. Elle comprendra alors que pour justifier et mériter le pouvoir, un bon programme de développement économique vaut bien mieux qu'un parapluie ethnique. C'est à ce prix qu'elle pourra sauver le Pays de la faillite et de la destruction totale.

BIBLIOGRAPHIE

- BALLAIS, J.L., 1993. - L'érosion consécutive à l'incendie d'août 1989 sur la montagne Sainte-Victoire: 3 ans d'observations - (1989-1992). Réseau Erosion Bull. n° 13, p 165-179.
- BIDOU, J.E., & Al., 1991. - Géographie du Burundi -. Hatier, Paris, octobre 1991. 288 p.
- DUCHAUFOUR, H., 1992. - Rapport annuel ISABU 1991-1991. Partie Erosion -. ISABU, Bujumbura.
- Institut National pour l'Environnement et la Conservation de la Nature, 1993. - Rapports sur les feux de brousse -.
- Institut National pour l'Environnement et la Conservation de la Nature, 1993. - Fiches de feux de brousse -.
- Institut National pour l'Environnement et la Conservation de la Nature, 1994. - Rapports sur les feux de brousse -.
- Institut National pour l'Environnement et la Conservation de la Nature, 1994. - Fiches de feux de brousse -.
- Ministère de L'Agriculture et de l'Elevage, 1988. - Annexe du cinquième Plan Quinquennal de Développement Economique et Social 1988-1992 -. République du Burundi. p 100-102.
- RISHIRUMUHIRWA, T., 1993. - Contribution des résidus du bananier en conservation de l'eau et du sol -. Réseau Erosion Bull. n° 13, p63-70.
- RISHIRUMUHIRWA, T., 1994. - Facteurs anthropiques de l'érosion dans les montagnes et hauts plateaux au Burundi - Rwanda - Zaïre -. Les cahiers d'Outre-Mer, Revue de Géographie de Bordeaux, Tome XLVII, Talence, janvier-mars 1994. p 23-33.
- ROOSE, E., 1994. - Une méthode traditionnelle de restauration des sols - le zaï au Pays Mossi (Burkina Faso) -. Réseau Erosion Bull. n° 14, p 21-29.
- ROOSE, E., 1977. - Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt ans de mesures en petites parcelles expérimentales -. ORSTOM, Paris, 107 p.
- SIMONART, T., 1992. - La conservation des sols en milieu paysan burundais -. Mémoire de fin d'études: UCL, version revue et augmentée, octobre 1992. 141 p + annexes.
- WISCHMEIER, W.H. et SMITH, D.D., 1978. - Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning -. Washington: U.S. Department of Agriculture. (Agriculture Handbook, n°537).

L'INFLUENCE DE LA COMPLEXITE DU SYSTEME FONCIER ET DE LA MECONNAISSANCE DU FONCTIONNEMENT DES EXPLOITATIONS AGRICOLES SUR LA LUTTE ANTI-EROSIVE AU BURUNDI

Par Vincent NGARAMBE, Ir Agronome, Doctorant à l'EPFL, IATE-Pédologie, 1015 Lausanne . Suisse

RESUME

Au BURUNDI et au RWANDA comme partout ailleurs en Afrique, dès la période coloniale jusqu'à nos jours, un accent particulier a été mis sur les travaux de LAE. Mais force est de constater que le taux d'adoption des technologies de gestion et conservation des sols par les agriculteurs reste relativement bas malgré les moyens importants consentis par les projets pour les expérimenter et les diffuser.

L'analyse des échecs du passé a suscité et continue de susciter plusieurs questions telles que: la maîtrise des techniques par les agriculteurs, le niveau d'efficacité des nouvelles technologies, la valorisation et l'amélioration des pratiques traditionnelles de G.C.E.S., la perception paysanne des problèmes dûs à l'érosion et leur point de vue sur les techniques proposées, le fonctionnement des structures institutionnelles chargées de la vulgarisation, l'identification correcte des conditions du milieu, l'adaptabilité des techniques et l'existence d'une législation environnementale.

La conservation des sols a été perçue pendant longtemps comme un problème de lutte anti-érosive où la solution préconisée a été la mise en place des structures linéaires alors qu'elles ne sont efficaces que quand elles sont systématiquement appliquées sur un ensemble d'exploitations, sur tout un versant, une colline ou un bassin versant; même bien appliqués, les dispositifs de LAE ne jouent pas significativement sur la fertilité du sol et n'ont pas d'effet immédiat sur la production.

Par ailleurs les pratiques culturales de G.C.E.S. ont été laissées de côté alors qu'elles peuvent contribuer au maintien voire à l'amélioration de la fertilité du sol.

Les structures de LAE n'ont pas été adoptées par beaucoup d'agriculteurs; là où elles l'ont été, elles sont tombées rapidement en ruine parce que soit elles étaient imposées, soit elles ne répondaient pas aux attentes des paysans alors que leur mise en place et leur entretien exigeait une importante somme de travail. En plus de cela trois faits expliquent pourquoi peu d'agriculteurs ont adhéré aux travaux de LAE :

- la complexité du système foncier et le fonctionnement des exploitations agricoles n'ont jamais été étudiés avant l'introduction des nouvelles techniques.

- les agriculteurs ont été considérés souvent comme un ensemble homogène à qui il fallait proposer des solutions "passe partout" alors que réellement il existe plusieurs catégories dont les intérêts, les moyens, les stratégies et les comportements face aux innovations diffèrent,
- il n'existe pas de support juridique des actions de LAE.

Dans cet article nous allons essayer d'analyser les contraintes liées à la complexité du système foncier et à la méconnaissance du fonctionnement des exploitations agricoles qui freinent l'adoption des techniques de LAE. Ensuite nous proposerons une approche d'intervention pour organiser un aménagement d'une colline.

Mots-clés : Système foncier; Fonctionnement des exploitations; Lutte anti-érosive; Fertilité du sol; Adaptabilité; Efficacité; Maîtrise.

- * Gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols.

INTRODUCTION

Le Burundi est un pays montagneux à relief très accidenté et densément peuplé. Les cultures s'étendent sur des pentes de plus en plus fortes (40%). Les techniques de LAE et de maintien de la fertilité actuellement pratiquées ont une efficacité très limitée. Dès lors, les problèmes d'érosion et de fertilité se posent avec acuité. Ceux-ci deviennent plus graves dans la région du MUMIRWA et particulièrement dans sa partie centrale.

Dans certaines zones, on atteint des seuils critiques d'où la nécessité de faire une intervention d'urgence. Ceci justifie la priorité accordée à la LAE par la plupart des projets agricoles dans cette région.

- Pour mettre en place un plan d'action; il faut :
- évaluer l'efficacité des techniques de LAE,
 - inventorier et étudier les pratiques culturales et leur effet sur la limitation ou le développement de l'érosion
 - identifier et analyser les contraintes qui freinent l'adoption des techniques diffusées,
 - enfin proposer des alternatives de solution: d'une part en sélectionnant les techniques à améliorer et celles à abandonner; d'autre part en déterminant de nouvelles techniques de gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols (G.C.E.S.) qu'il convient soit de vulgariser directement, soit de tester au niveau de la recherche-développement avant leur diffusion.

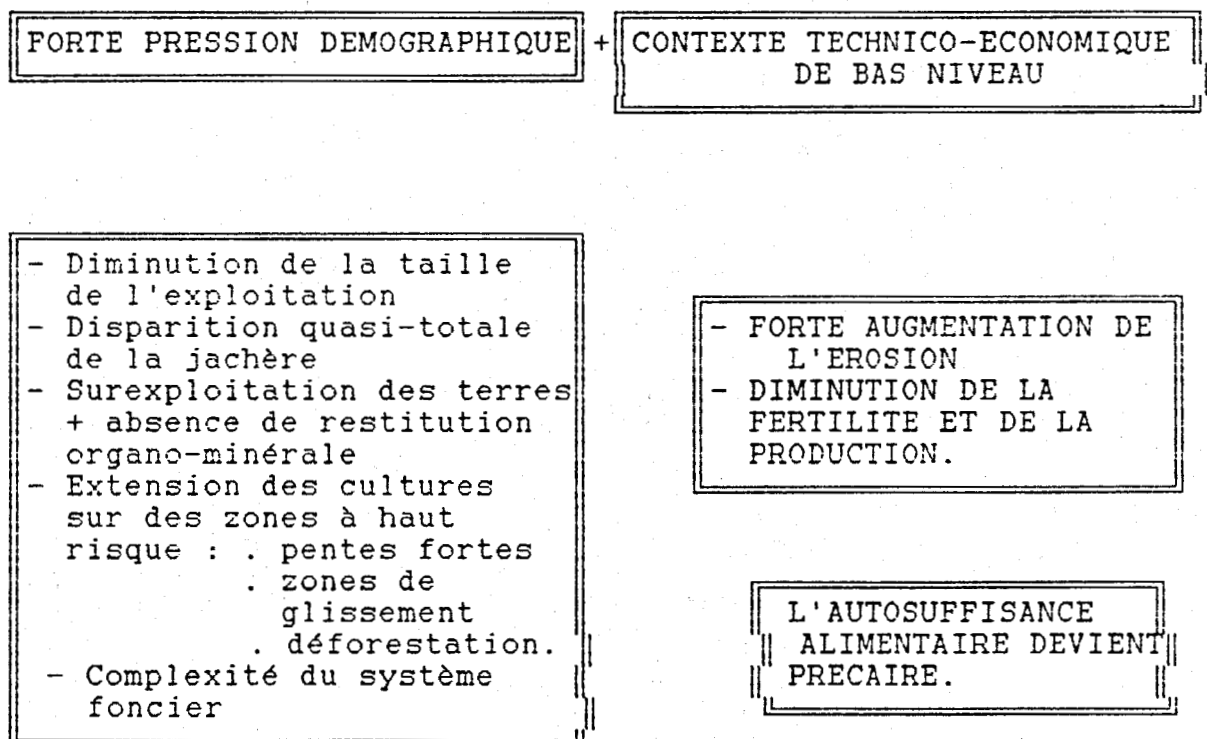
Au cours des étapes successives d'identification des problèmes, de définition et de démonstration des techniques et de discussion sur la démarche de mise en application, il est indispensable d'associer les agriculteurs.

Quant au choix des techniques, il est recommandé de privilégier celles visant le maintien ou l'amélioration de la fertilité et de la production par une meilleure gestion de la biomasse et de l'eau. Toutefois nous pensons que la non adoption ou la précarité des options technologiques considérées comme potentiellement rentables s'expliquent par la méconnaissance du fonctionnement des exploitations et la complexité du système foncier.

1. LA PROBLEMATIQUE DE LA G.C.E.S.

Suite à la forte pression démographique, on assiste à une diminution rapide de la taille de l'exploitation agricole; aussi l'érosion hydrique due à la mise sous culture des terres à pentes excessivement élevées sans techniques de LAE et de G.C.E.S., leur surexploitation et la manque de restitution organo-minérale font que les sols du Mumirwa central sont sujets à une dégradation continuelle; leur fertilité se détériore rapidement de façon que certaines zones atteignent un seuil critique qui risque d'aboutir à une situation de non retour si aucune mesure n'est prise.

On peut illustrer cette situation par le schéma suivant :



On peut donc dire que cette problématique s'articule sur trois principaux points :

- la pression démographique
- l'autosuffisance alimentaire
- l'aménagement du territoire

En d'autres termes; face à une pression démographique de plus en plus grande, comment assurer l'autosuffisance alimentaire ? Il faut par l'intensification soutenue tout en maintenant la

fertilité des sols ? Le noeud du problème est là et il devient plus complexe au Burundi et plus particulièrement dans le Mumirwa vu ses caractéristiques actuelles :

- La densité moyenne de la population est de l'ordre de 350 habitants/Km² et dépasse les 1000 hab/Km² sur certaines collines.
- La taille moyenne de l'exploitation est de 0,6 ha
- Les cultures occupent des pentes allant jusqu'à plus de 80%; les zones les plus marginales de par leur forte pente ou leur faible fertilité sont occupés généralement par le manioc.
- Même si plus de 50% pratiquent au moins un type d'élevage, le fumier reste très insuffisant parce que d'une part l'effectif moyen par agriculteur est souvent faible et d'autre part ^{voilà} sont les éleveurs qui pratiquent la stabulation permanente.
- Les engrais minéraux sont peu utilisés.
- Les semences sélectionnées touchent moins de 10% d'exploitations.
- Les produits phytosanitaires ne sont généralement utilisés que sur les cultures maraîchères (principalement la tomate) et le café; ceci est à l'origine de la fréquence des maladies des cultures vivrières qui affectent sérieusement la production agricole.
- Les sols sont potentiellement fertiles (ferralsol humique, ferrisol limoneux, regosol) dans le Mumirwa mais sur les fortes pentes, ils sont fortement dégradés par l'érosion à cause de leur grande sensibilité.
- Certains versants, généralement occupés par le manioc, sont si dégradés qu'aucune production acceptable ne peut être envisagée sans une action de restauration de la fertilité.
- L'agroforesterie est très peu développée ce qui probablement explique le manque de bois de chauffe et entraîne l'utilisation des résidus de culture à de fins ménagères.
- Des actions de LAE sont en cours, mais restent insuffisantes : elles sont peu diversifiées et ne sont ni maîtrisées ni étendues à toutes les zones à protéger.
- L'érosion sous toutes ses formes sévit un peu partout et pose de grands problèmes tant au niveau des pertes en terre qu'à celui de la réserve en eau du sol.
- La présentation de la LAE ne suscite pas un grand intérêt chez l'agriculteur qui reste résigné devant la dégradation accélérée des sols. La LAE n'est pas encore perçue comme un des paramètres d'intensification de la production.

Dans ces conditions on comprend que les techniques de LAE, elles seules ne suffisent pas à contribuer de façon rentable à intensifier la production agricole. Faut-il encore qu'elles soient efficaces, adaptées par les agriculteurs. Pour cela, il faut compléter ces dernières par d'autres techniques d'intensification agricole en proposant une série de modes de

gestion de l'exploitation dans laquelle l'agriculteur peut opérer son choix en fonction de sa capacité et des différentes contraintes techniques et socio-économiques.

Il est donc indispensable d'avoir une approche systématique, de faire une meilleure typologie des exploitations et de saisir au mieux leur fonctionnement.

Ainsi, on limite le risque de proposer des solutions simples qu'on a souvent eu tendance à considérer comme des recettes universelles à des problèmes complexes.

Compte tenu de cette complexité de problèmes découlant en grande partie de la pression démographique, pour parvenir à garantir la sécurité alimentaire dans les 25 ans à venir, il faut recourir :

- au niveau local (Projet), à l'aménagement du territoire en accordant une importance particulière à la G.C.E.S..
Pour éviter les erreurs du passé, il faut faire un diagnostic complet qui permet de comprendre le fonctionnement des exploitations agricoles et d'identifier la plupart des contraintes qu'il faudrait lever avant et pendant le lancement de toute action de développement agricole. Pour cela il est indispensable d'associer l'agriculteur à toute investigation concernant son exploitation.
- au niveau national, au planning familial et au développement des secteurs IIaires et IIIaires parce que quelque soit ses progrès, l'agriculture à elle seule ne pourra ou ne peut occuper et nourrir 90% de la population.

2. HISTORIQUE DE LA LAE AU BURUNDI

C'est autour des années 1920 que les autorités coloniales ont pris conscience du fait que l'intensification de l'agriculture sur les collines du Burundi ne pouvait être envisagée sans recourir à l'utilisation des techniques de lutte anti-érosive (LAE). Dès lors, les fossés aveugles et les haies graminéennes ont été les mesures utilisées et leur application ne s'inspirait d'aucune recherche préliminaire.

En 1933, un support législatif qui conférait à la LAE une force de loi fut élaboré. Pour donner encore plus d'importance à la LAE, l'autorité coloniale créa en 1945 un organisme spécialisé : "MISSION ANTI-EROSIVE" qui était chargée de vulgariser de façon obligatoire les fossés isohypses renforcés ou pas par des bandes enherbées plantées sur les talus. C'est ainsi que durant les années 1950 la LAE battait son plein.

Après l'indépendance, bien que la LAE reste obligatoire, la pression devient moins forte que sous la colonie de façon que la mise en place de nouvelles structures de LAE se raréfie et les anciennes tombent en ruine suite au manque d'entretien.

En 1976, les autorités administratives reprirent conscience de la nécessité d'une intervention en LAE mais les techniques et l'approche ne différaient en rien de ce qu'était préconisé avant 1962 parce que le caractère dirigiste dans la vulgarisation des fossés demeurait en vigueur.

En 1979, un grand financement fut octroyé au ministère de l'Agriculture et de l'Elevage pour payer une main d'oeuvre chargée de creuser les fossés anti-érosifs dans les zones à haut risque d'érosion. Suite au manque de responsabilisation collective et surtout individuelle, ces fossés n'ont jamais été entretenus et ne subsistent dans le paysage que sous formes de vestiges.

Ce n'est qu'en 1986 que lors d'un séminaire national de conservation des eaux et du sol (CES), après l'analyse des contraintes liées au creusement des fossés ajoutée à la comparaison de l'efficacité des différentes techniques de C.E.S., il s'avérait que la systématisation des fossés ne se justifiait pas. En effet, les fossés anti-érosifs exigent une grande somme de travail lors du creusement et de l'entretien; ils occupent une surface cultivable de l'ordre de 5 à plus de 10%; enfin ils ne sont pas indiqués pour des terrains sur forte pente, sur les sols peu perméables ou très légers parce que suite au débordement ou à la rupture du talus, ils peuvent causer beaucoup de dégâts en aval (NGARAMBE V., 1985). C'est ainsi que les bandes d'herbes fixatrices et les haies vives furent préconisées à la place des fossés à cause des avantages suivants : facilité d'installation; production de fourrage de paillis, de tuteurs, de bois de chauffe; pas d'entretien contraignant.

Malgré la plantation des herbes fixatrices sur les courbes de niveau et l'amélioration de l'efficacité anti-érosive, on n'a pas observé d'accroissement des rendements. Ceci s'explique par :

- le faible niveau de fertilité des sols qu'on doit protéger,
- le fait que la vulgarisation des structures de L.A.E. ne s'accompagne pas de la diffusion d'autres techniques d'intensification agricole; par ailleurs la L.A.E. n'est pas présentée à l'agriculteur comme un des facteurs d'intensification de la production mais comme un but en soi.

La conservation des sols a été toujours perçue comme un problème de L.A.E. où la solution préconisée a été la mise en place des structures de L.A.E. dont l'efficacité n'est suffisante que quand elles sont appliquées correctement et systématiquement sur un ensemble d'exploitations contiguës, sur une colline, un versant ou un bassin versant. Or, cet aménagement global a été rendu difficile par les facteurs suivants :

- le morcellement excessif des exploitations d'un seul tenant ou de plusieurs tenants avec des éloignements variables,
- la coexistence des grands et petits exploitants d'une part, de résidents et non résidents d'autre part ayant des priorités différentes,
- la diversité de types de contrats d'utilisation foncière,
- l'approche de vulgarisation souvent dirigiste,
- le peu d'intérêt que suscitent les structures de L.A.E. vu qu'elles n'ont pas d'effet immédiat sur la fertilité et l'augmentation de la productivité des sols.

Ainsi l'érosion n'a pas été du tout maîtrisée par les structures de L.A.E. peu adoptées et des fois peu adaptées; ceci a été aggravé par le fait que les pratiques culturales améliorées de G.S.E.S. n'ont pas fait, pendant longtemps, l'objet d'une vulgarisation alors qu'elles étaient facilement diffusables dans un système foncier complexe.

3. LE SYSTEME FONCIER

La question du système foncier semble malheureusement constituer un tabou pour les agronomes. Rares sont ceux qui l'étudient parce que soit ils la considèrent comme dépassant leur capacité scientifique, soit parce qu'à priori ils pensent qu'elle n'entrave pas l'adoption des techniques nouvelles. Or en analysant de près le comportement des agriculteurs, on constate qu'ils adaptent leurs stratégies aux différents types de contrats d'exploitation foncière auxquels ils sont soumis.

Le paysan est sensible aux problèmes d'érosion et à la qualité des terres; c'est pourquoi lors des héritages successifs, le partage des parcelles se fait parallèlement à la pente pour que chaque héritier puisse avoir des parcelles le long de la topo-séquence.

L'héritier est libre d'acheter, de vendre, de louer, de prêter, de donner une parcelle de son exploitation ou de la soumettre à tout autre arrangement. C'est pourquoi rares sont les exploitations dont les parcelles sont groupés au même endroit. Avec la croissance démographique et le développement des activités non agricoles meilleures génératrices de revenus monétaires, ce processus de morcellement des exploitations devient très fréquent et peut aboutir à deux situations extrêmes:

- d'une part de grands exploitants qui ont investi dans l'accumulation des terres et qui sont obligés de confier l'exploitation de certaines de leurs parcelles aux tiers selon l'un ou l'autre contrat;
- d'autre part des paysans sans terre ou ayant de très petites exploitations et qui doivent louer ou emprunter des parcelles ou travailler pour autrui.

Pour cela au moment d'introduire une nouvelle technique de G.C.E.S. dans un milieu, il faudrait bien savoir si l'agriculteur interlocuteur décide de la gestion des terres à long terme ou s'il s'agit d'un simple usufruitier. Entre les deux extrêmes, en fonction des rapports socio-économiques liant les agriculteurs, il existe d'autres arrangements qui rendent le système foncier encore plus complexe (ex : l'échange temporel de parcelles selon les spéculations respectives envisagées ou à cause de la proximité).

Dans ces conditions, l'importance d'un investissement consenti pour maintenir ou améliorer la fertilité du sol dépend de la nature des contrats fonciers qui lient les utilisateurs aux propriétaires. De même, en plus de l'efficacité potentielle des techniques de G.C.E.S., le temps mis pour avoir un effet et la durée de l'efficacité (arrière effet) vont conditionner le choix de l'exploitant : un simple usufruitier aura tendance à opter pour les techniques à effet immédiat et peu coûteux.

L'emplacement de la parcelle par rapport au Rugo (enclos où sont groupées les maisons d'habitations d'une famille) joue également sur le choix des techniques et le niveau d'efforts consentis pour mieux gérer le sol.

En général plus une parcelle est éloignée du Rugo moins elle bénéficiera d'intrants tel que le fumier à cause des moyens de transport qui restent faibles et d'autres contraintes qui peuvent affecter les parcelles les plus éloignées telles que le vol, le manque d'entretien des cultures et des structures de LAE.

Avec la croissance démographique la terre a subi tellement de pressions que le système foncier des années 1950 a éclaté et donné naissance à un morcellement excessif des exploitations et à une diversité des contrats formels ou informels entre exploitants qui rendent complexe le système foncier. Cette complexité est aggravée par l'existence des espaces collectifs ou appartenant à la commune ou à l'Etat et dont l'agriculteur ne se soucie pas : dès lors il faut distinguer le bien individuel et le bien collectif. Pour le premier l'agriculteur peut intervenir par plusieurs techniques au niveau de la parcelle ou à celui de l'exploitation; mais pour le second, soit la motivation des paysans est très faible (ex. aménagement des chemins ou des limites d'exploitations; la gestion des boisements communaux.), soit l'intervention nécessite une capacité dépassant celle de l'agriculteur (ex. aménagement des ravines).

4. FONCTIONNEMENT DES EXPLOITATIONS

Beaucoup de projets ont été conçus et formulés sans tenir compte des réalités concrètes qui caractérisent l'environnement socio-économique. L'échec provient du fait que l'on ne se donne toujours pas la peine de connaître les besoins et les problèmes des agriculteurs dès la conception des opérations.

Une analyse-diagnostic fondée sur des enquêtes formelles qui appréhendent au mieux les ressources disponibles (terre, capital, m.o) aboutit certes à une typologie des exploitations mais elle ne permet pas de comprendre le fonctionnement des exploitations parce qu'elle ne prend en compte l'environnement socio-économique. En conséquence, à partir de telles typologies d'exploitation qui ne reflètent aucune dynamique des systèmes d'exploitation influencée par des facteurs exogènes et endogènes variables, on ne peut pas comprendre les stratégies développées par l'agriculteur. Or pour agir sur un système il faut d'abord comprendre son fonctionnement et identifier ses atouts et ses contraintes. Pour cela il est recommandé d'avoir une vue d'ensemble de l'exploitation et de se mettre réellement à l'écoute de l'agriculteur qui pourra nous expliquer ses stratégies fondées sur une certaine logique et sur un savoir faire indéniable.

En bref pour mieux comprendre le fonctionnement des exploitations il faut :

- faire une description qualitative des systèmes de production :
 - * identifier les différents sous-systèmes ou composantes de l'exploitation agricole,
 - * évaluer leur niveau d'intensification et les technologies mises en oeuvre,
 - * appréhender l'importance respective des différentes composantes de l'exploitation.
- comprendre comment l'exploitant combine ses ressources pour atteindre ses objectifs fondamentaux en fonction des caractéristiques de son exploitation et de sa situation personnelle. (Qu'est-ce qui motive ses décisions ou son choix)
- essayer de reconstituer la trajectoire de l'exploitation (faire l'historique) pour appréhender la dynamique des systèmes d'exploitations sous l'influence de la variabilité dans le temps des facteurs endogènes et exogènes
- bien identifier les facteurs de blocage et les goulots d'étranglement des systèmes d'exploitations.

Cela ne peut se faire qu'au travers d'une approche informelle et globale des systèmes d'exploitation visant plus la compréhension des mécanismes mis en oeuvre par l'exploitant agricole pour satisfaire ses besoins que la quantification des ressources de l'exploitation.

5. QUELLE APPROCHE D'INTERVENTION

5.1. Identification du site

Les agents des projets proposent souvent des thèmes techniques aux agriculteurs d'un versant sans avoir identifié au préalable les conditions et les contraintes qui peuvent jouer sur le choix des agriculteurs. Nous proposons de relever d'abord les paramètres suivants avant de proposer une quelconque technologie nouvelle de LAE :

- les classes de pente et leur importance relative
- les composantes de la couverture végétale, leur emplacement et leur importance
- la configuration spatiale générale des parcelles
- les zones de concentration des eaux
- les types de sol
- les types d'érosion

En plus de cela il faut ajouter :

- le nombre d'exploitations en explicitant les propriétaires résidant sur la colline les propriétaires non résidents les exploitants non propriétaires (locataires, fermiers, métayers autre arrangement temporel)
- autres problèmes posés par les agriculteurs du site; souvent l'érosion ne vient pas en tête des contraintes agricoles posés, pour cela en plus des techniques de G.C.E.S. proposées. Il faut des mesures d'accompagnement qui résolvent d'autres problèmes et permettent de rentabiliser la G.C.E.S. (captage de sources, pistes de désenclavement).

5.2. Unités d'intervention

Le travail de G.C.E.S. peut être fait ou bien avec les paysans individuels ou bien effectué à grande échelle sans que ce soit une unité sociale particulière; s'il est relativement aisé au chef de ménage de gérer la force de travail des membres de sa famille, par contre il est très difficile de rentabiliser le travail d'un groupement (surtout informel). Or s'il s'agit de la mise en place des structures anti-érosives, leur efficacité ne sera grande que si elles sont appliquées systématiquement sur un ensemble d'exploitations ou sur un versant. Par ailleurs quand il s'agit des pratiques culturales de G.C.E.S., les agriculteurs peuvent les appliquer chacun chez lui mais le succès dépendra de la limitation de l'érosion et du ruissellement par les structures de LAE sur l'ensemble du versant. Nous pensons que l'aménagement des principales voies d'écoulement des eaux nécessite une action collective ou étatique quand les agriculteurs concernés ne sont pas capables de réaliser cet aménagement. Par ailleurs, selon les conditions du versant à aménager, pour les structures de LAE il faut opter soit pour une action collective quand la cohésion du groupe est suffisante, soit pour une intervention individuelle mais en veillant à ce que l'action soit coordonnée entre les unités fonctionnant de façon indépendante.

Trois questions peuvent aider à orienter le choix de l'unité d'intervention :

- qui contrôle les ressources naturelles (notamment la terre) et prend les décisions sur leur gestion ?
- qui sera affecté par ces décisions ?
- qui bénéficiera de l'effet de l'investissement à plus ou moins long terme ?

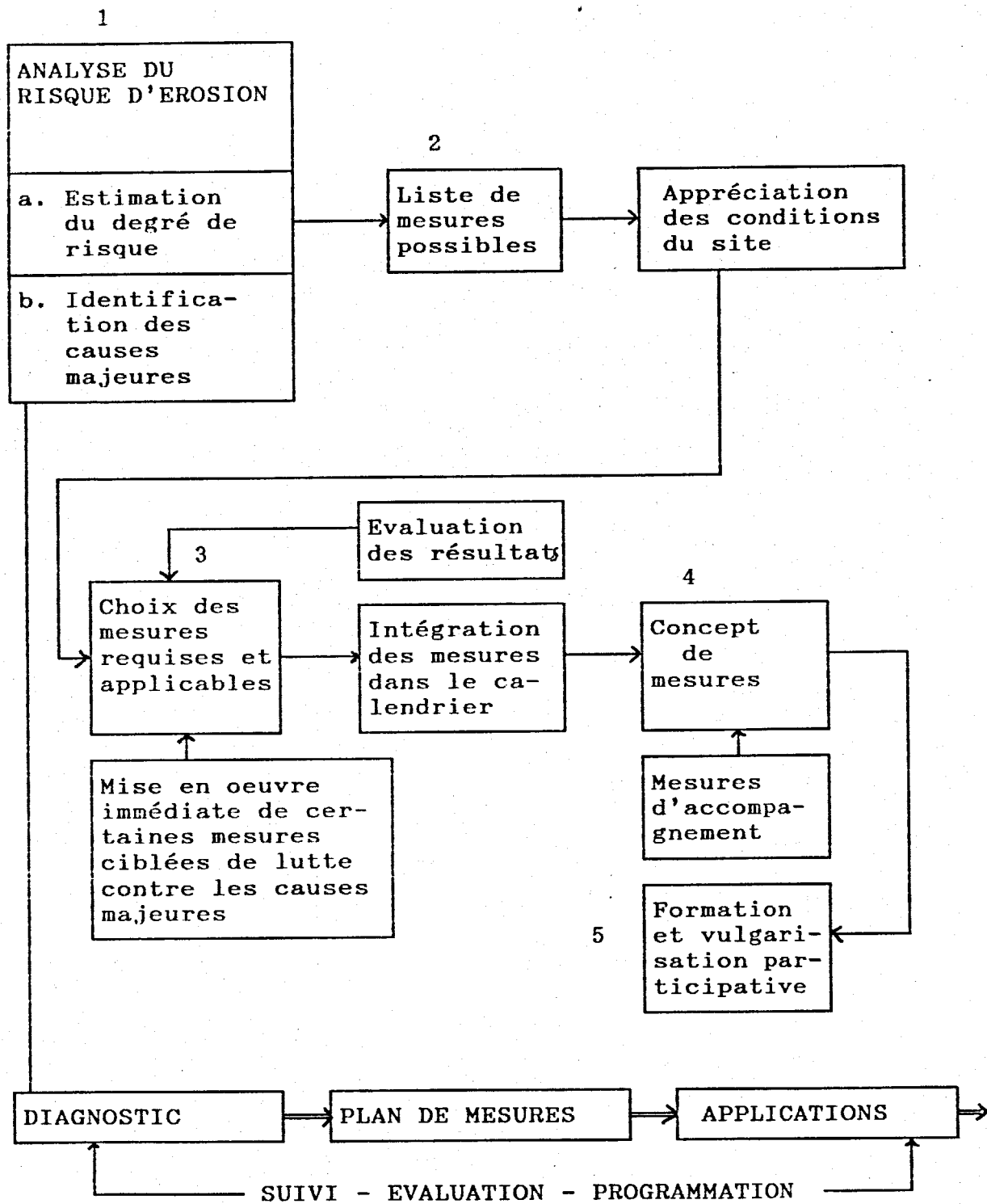
5.3. Choix des techniques

Il faudrait éviter de proposer une ou deux techniques à tout le monde . Il faut mettre à disposition des agriculteurs un ensemble de techniques dans lequel ils peuvent opérer leur choix en fonction de leur efficacité mais aussi de la capacité de chacun à supporter les coûts (en travail, en capital, en terre).

Au préalable il est nécessaire de bien faire un diagnostic du risque d'érosion. Le schéma suivant montre les étapes qui précèdent le choix des mesures à entreprendre et celles qui contribuent à pérenniser leur efficacité.

BIBLIOGRAPHIE

- Drion A : Approche globale et systémique des exploitations agricoles par une méthode informelle : La Méthode de visite d'exploitation agricole, "DU RUGO AU MARAIS" cas du Buyenzi Bujumbura 1993
- Dufumier M : Typologie des exploitations agricoles dans l'analyse-diagnostic des réalités agraires Fascicule de cours INAPG, PARIS 1992
- FAO : LA Conservation et la restauration des terres en Afrique ARC/90/4 Rome 1990
- Monssimann T et al : Lutte contre l'érosion des sols cultivés, Liebefeld-Berne 1991
- Ngarambe V : Influence des pratiques culturales sur le développement de l'érosion hydrique en zone de culture intensive du Mumirwa, Université du Burundi Bujumbura 1985
- Sperling L et Steiner K.G : Paysans et Agriculture durable: Considérations socio-économiques dans le développement des pratiques nouvelles de gestion des sols gtz et I.S.A.R. Rwanda, Rubona 1992.



CONCLUSION : Une meilleure analyse -diagnostic avant la mise en place de projet de lutte anti-érosive

La LAE qui est un aspect du plan de développement agricole devrait être considéré comme un des paramètres de l'intensification agricole et non comme un but en soi. Elle se heurte soit aux contraintes socio-économiques qui sont souvent négligées par les agronomes alors que l'environnement humain est largement dépendant de ces dernières. Une analyse-diagnostic qui permet d'appréhender au mieux les conditions socio-économiques de l'exploitation et de comprendre son fonctionnement devrait être un préalable à toute introduction de technologies nouvelles.

Nous reconnaissons que la prise en compte de l'environnement socio-économique pour établir la typologie des exploitations s'avère souvent très compliquée, toutefois il faudrait éviter une simplification de la classification des exploitations basée essentiellement sur un relevé des ressources disponibles.

Une approche systémique des exploitations valorisée par une participation réelle de l'agriculteur permet d'identifier au mieux :

- les mécanismes qui régissent le fonctionnement de l'exploitation,
- les facteurs qui guident le choix des techniques d'exploitation par l'utilisateur des terres
- le véritable décideur de la gestion des terres
- les contraintes auxquelles se heurte l'exploitant.

Cette approche permet notamment de mettre en exergue, en plus des problèmes purement techniques, les contraintes majeures auxquelles les paysans doivent faire face telles que :

- les problèmes liés à la complexité du système foncier
- les aléas multiples qui obligent le paysan à limiter sa capacité de production et à se préoccuper d'assurer sa sécurité en minimisant les risques.

Dans une même région l'hétérogénéité des catégories d'agriculteurs et la variabilité des problèmes auxquels ils doivent faire face sont tels qu'il serait prétentieux de proposer des solutions adaptées à toutes les situations. C'est pourquoi il est préférable de mettre à la disposition un ensemble de mesures de G.C.E.S. parmi lesquels les vulgarisateurs et paysans choisiront, en fonction de leurs moyens celles qui s'adaptent mieux à leurs conditions.

La G C E S

Proposition d'une nouvelle approche de la lutte antiérosive pour Madagascar

par
Eric ROOSE,

Directeur de recherche en Pédologie au LCSC du Centre ORSTOM de Montpellier,
BP.5045, F34032 Montpellier, France

Conférence organisée le 12-5-1995 au CITE par le Département des Forêts de l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, , BP. 3044, Antananarivo, Madagascar.

RESUME

Madagascar connaît depuis plus d'un siècle des phénomènes d'érosion très actifs en relation avec une croissance démographique très rapide. La culture itinérante fait régresser la forêt et les feux de brousse, nécessaires pour valoriser les pâturages sur sols acides, empêchent la restauration de la végétation arborée (y compris l'agroforesterie). Les sommets des collines sont décapés jusqu'à la roche et donnent naissance à des ruissellements destructeurs. Les "lavaka", ravines complexes, déchirent les collines et déversent des masses de sable dans les rizières. Les cyclones (300 à 600 mm en 3 jours) provoquent régulièrement de nombreux glissements de terrain et l'inondation des rizières.

Ces processus ont fait l'objet de nombreuses études depuis 40 ans à Madagascar, mais les méthodes de lutte antiérosive préconisées sont rarement appliquées par les paysans/éleveurs. L'auteur en conclut qu'il faut trouver une nouvelle approche qui tient mieux compte des problèmes du monde paysan. De l'analyse historique des stratégies de LAE, l'auteur tire un certain nombre de leçons et propose une nouvelle orientation.

Les stratégies traditionnelles de gestion de l'eau et de la fertilité des sols perdent leur efficacité dans la mesure où l'on a changé les conditions socio-économiques. Les stratégies modernes d'équipement rural (RTM, DRS, CES) développées par le Pouvoir Central en réponse à des situations de crise coûtent cher et n'améliorent guère la productivité des terres si bien que les paysans ne les entretiennent pas, ni ne les diffusent .

Devant leur échec, l'auteur propose une approche participative (logique paysanne) visant la valorisation des terres et du travail et l'amélioration de l'environnement rural, en s'appuyant à la fois sur la gestion des eaux superficielles, de la biomasse et des nutriments du sol. L'échelle d'intervention évolue de la parcelle au versant exploité par un groupe de paysans, du terroir à la région ou au bassin versant. La gestion de l'eau s'appuie sur des structures antiérosives et des techniques culturales en accord avec le bilan hydrique. La matière organique du sol étant une des clés de sa fertilité, une réflexion doit être faite pour améliorer la gestion de la biomasse à l'échelle du terroir. L'agroforesterie peut aider à réduire les pertes en nutriments des agrosystèmes, mais elle ne suffit pas à améliorer la productivité des terres. Des compléments minéraux sont indispensables si on veut relever le défi du siècle : nourrir la population qui double en 20 ans, tout en stabilisant l'environnement.

Mots clés : stratégies de lutte antiérosive, stratégies traditionnelles, logique aval d'équipement rural (RTM, DRS, CES), logique amont/participation paysanne, GCES, Madagascar.

1 - INTRODUCTION

- Le mot "érosion" vient du latin "erodere" qui signifie griffer, ronger : on pense tout de suite à une maladie qui ronge la chair de la terre pour ne laisser qu'un squelette. En réalité, l'érosion comprend 3 processus : l'arrachement de particules relativement petites, leur transport et leur sédimentation. La dégradation des sols est antérieure à l'érosion et se fait sur place : ses causes sont multiples (déséquilibre du bilan organique ou minéral, salinisation, surpâturage, tassement par la motorisation). L'érosion n'est pas la cause de la dégradation mais un signe d'un profond déséquilibre entre le milieu et son mode de gestion : cependant une fois déclenchée, l'érosion accélère la dégradation du sol soumis à l'énergie cumulée des gouttes de pluie, du ruissellement et de la gravité.

- L'érosion n'est pas un problème nouveau. Il y a plus de 7000 ans que l'homme a laissé des traces de sa lutte contre l'érosion : la plupart des civilisations ont développé des stratégies qui leur sont propres pour réduire les inconvénients liés à l'érosion et à la pression démographique. On pourrait donc croire qu'il n'y a plus rien de neuf à découvrir dans le domaine de l'érosion. Au tableau 1, sont rapportées la diversité des phénomènes d'érosion et la discontinuité des processus dans l'espace et dans le temps. Dans la réalité du terrain, il est difficile de répéter expérimentalement ces ruptures d'équilibre qui entraînent des transports considérables de matières à des intervalles de temps difficile à prévoir. Non seulement on constate aujourd'hui notre incapacité de convaincre les paysans de l'intérêt d'investir dans la conservation des sols conventionnelle, mais on doute de leur efficacité et on découvre encore de nouveaux processus (par exemple le transport de terre par les outils de travail du sol) et l'extrême complexité des transports solides dans un champ cultivé.

- A Madagascar, tous les processus d'érosion sont très actifs :

- * le feu fait régresser la forêt et dévore la savane,
- * le sommet des collines est rongé jusqu'à la roche, les sols sont épuisés,
- * les "lavaka" (ravines complexes) ouvrent des plaies béantes dans leurs flancs et répandent des masses de sable dans les rizières,
- * les cyclones provoquent des inondations catastrophiques : le dernier en date (Hutelle, 1 à 3/03/93) a provoqué 2496 glissements de terrain dans la zone de Beforana sur 50 km² (Projet Terre-Tany, 1993),
- * les rizières sont rouges, comme si la force vive de la Grande Ile s'échappait inexorablement vers la mer.

- Tout ceci n'est pas nouveau : la recherche a décrit et mesuré ces processus depuis 40 ans. Elle a montré que les sols sont relativement résistants mais que les pluies sont très agressives. La destruction du couvert végétal et des matières organiques entraînent la dégradation de la structure et de la vitalité des sols et par conséquent, augmente les risques de ruissellement et d'érosion. Avec la formidable pression démographique actuelle (plus de 3,5 % de croissance par an) les risques augmentent, l'érosion s'étend et s'accélère.

- Peut-on inverser cette tendance ? Mes collègues du FOFIFA et du CIRAD sont mieux placés que moi pour faire la synthèse des résultats de 40 années de recherche à Madagascar.

En ce qui nous concerne, nous allons présenter les nouvelles orientations des recherches sur la lutte antiérosive dans le monde. Il sera question :

- * de l'évolution historique des stratégies de LAE,
- * des méthodes de gestion des eaux de surface,
- * de la gestion de la biomasse disponible,
- * et de la gestion simultanée de la fertilité des sols.

Table. 1 DISCONTINUITÉ DES PROBLÈMES D'ÉROSION DANS LE TEMPS

L'érosion trouve son origine dans deux types de problèmes :

- DES PROBLÈMES GÉOLOGIQUES

Lutte entre :

- Altération des couches superficielles des roches par l'eau et la biosphère

PEDOGENESE

- Erosion qui cisèle la surface de la terre

MORPHOGENESE

- *ÉROSION GÉOLOGIQUE NORMALE* = 0.1 t/ha/an
Ruissellement = + 1 %

- DES PROBLÈMES SOCIO-ECONOMIQUES

croissance de la population et des besoins

EXTENSION des surfaces défrichées,
pâturées,
cultivées

DIMINUTION de la durée des jachères

- *ÉROSION ACCÉLÉRÉE* = 10 à 700 t/ha/an
Ruissellement = 20 à 80 %

DECAPER 1 mètre de terre prend 100.000 ans

100 ans

- *ÉROSION CATASTROPHIQUE* : 1 mètre en quelques heures !

- RAVINEMENT : 100 à 300 t/ha/JOUR

- GLISSEMENT EN MASSE : 1000 à 10.000 t/ha/HEURE

Exemple : Nîmes, l'orage du 3/10/1988

a donné 420 mm de pluie en 6 heures
a causé 4 milliards de dégâts
la mort de 11 personnes

CONCLUSIONS :

Les manifestations de l'érosion sont très discontinues dans le temps.

La Presse et le Pouvoir ne s'intéressent qu'aux catastrophes.

La GCES est d'avantage concernée par l'érosion accélérée, durant la phase initiale :

l'érosion en nappe et rigoles, qui dégrade les bonnes terres des paysans

la restauration de la productivité des sols profonds

la gestion de la fertilité des terres d'avenir

la valorisation des ravines aménagées et des eaux de surface.

Nous concluons sur la nécessité d'un changement radical des mentalités et des techniques si on veut restituer au monde rural sa capacité d'adaptation aux conditions socio-économiques et sa responsabilité face à l'avenir de l'environnement rural.

2 - EVOLUTION HISTORIQUE DES STRATEGIES DE LUTTE ANTIEROSIVE

2.1. Problématique : l'érosion, un problème de société en croissance

- Face à la pression démographique locale, les sociétés ont réagi de façon bien connue :
 - * émigration des populations des villages vers les agglomérations,
 - * extension du réseau routier et des villes, milieux imperméables,
 - * extension des surfaces cultivées dans les campagnes à des milieux de + en + fragiles,
 - * intensification des cultures autour des villes (couronnes de terres dégradées).

- Pour faire face à l'augmentation des risques de ruissellement, d'érosion, et de pollution, les hommes ont développé au cours des siècles diverses stratégies de gestion de l'eau et de la fertilité des sols.

2.2. Les stratégies traditionnelles : leur efficacité est liée au milieu socio-économique

- Il est intéressant de noter que l'on retrouve sur tous les continents (et dans La Grande Ile) toute une série de stratégies de lutte antiérosive (LAE) adaptées aux conditions socio-économiques des sociétés rurales.

- Ainsi, la **culture sur brûlis** peut être une approche équilibrée de la gestion de la biomasse et des nutriments au cas où la population est très dispersée (moins de 20 à 40 habitants/Km²), la pluie et les terres sont abondantes (il faut 10 à 20 fois plus de terre que celle qu'on cultive) et où la société vit dans le cadre d'une économie d'autosubsistance.

- A l'opposé lorsqu'on dispose de peu de terres planes, d'une abondante main d'oeuvre peu coûteuse et d'un marché pour valoriser la production, on voit apparaître diverses formes de **terrasses en gradins** plus ou moins équipées de systèmes d'irrigation. Ces méthodes exigeantes en main d'oeuvre (500 à 1200 hommes. jours pour aménager un hectare) sont très efficaces pour lutter contre l'érosion, mais elles sont finalement abandonnées si le travail (nécessaire à l'entretien des gradins) est mieux rémunéré en ville (ex. Bassin Méditerranéen).

- Un dernier exemple nous permet d'espérer trouver des solutions intermédiaires. Il s'agit des **bocages**, paysages développés à partir de systèmes agro-sylvo-pastoraux intensifs associant des bosquets dans les zones fragiles (risques de glissement), des haies vives entourant les champs et les pâturage ± artificiels.

Dans l'Ouest du Cameroun, le "bocage bamileke" permet une densité de population de plus de 250 hab/km² en milieu granitique et de plus de 500 hab/km² en milieu basaltique où les sols plus riches.

- A Madagascar, milieu très contrasté (Pluie = 400 à 2000 mm), il existe de nombreuses stratégies traditionnelles de gestion de l'eau, du feu, de la fertilité et de la terre.

Trois exemples. Le brûlis des collines herbeuses entraîne l'augmentation du ruissellement lors des premiers orages et la migration de la fertilité (cendres) qui alimente précocement les rizières des vallées. Mais à la longue, ces feux répétés pour régénérer l'herbe pour les troupeaux, dégradent la végétation arborée et les sols acides des collines.

Autre exemple. Les paysans malgaches excellent dans la transformation des petits bas-fonds en rizières irriguées, à l'aide de murettes en mottes d'herbes. Mais pour étendre au

maximum leur surface, ils mordent sur les zones colluviales et provoquent parfois la formation de ravines remontantes qu'ils maîtrisent mal. Enfin, là où la pression démographique se fait sentir (près des villes), les rizières ne suffisent plus à nourrir la population.

Les paysans plantent alors le bas des versants (zone un peu moins pauvre) de diverses cultures pluviales bien adaptées aux sols acides (manioc, ananas, patates douces, parfois riz pluvial après amélioration) : à chaque labour des "tanetty" les talus se creusent et le champ évolue en terrasse progressive.

Certains paysages sont ainsi profondément modifiés, mais actuellement en l'absence d'engrais minéral, avec l'augmentation de la population pauvre et l'insécurité, on peut constater une forte immigration autour des villes et la dégradation des paysages.

Les cultures pluviales montent à l'assaut des collines en ordre dispersé, le bétail manque pour tirer la charrue, les vieux arbres sont ébranchés ou dessouchés : les besoins en nourriture et en bois sont prioritaires et l'on manque de moyens pour assurer l'avenir.

2.3. Des stratégies modernes d'équipement rural en réponse à des situations de crise

- Devant l'inefficacité des stratégies traditionnelles à faire face aux problèmes d'environnement en temps de crise, le pouvoir central et ses ingénieurs ont développé des méthodes modernes de LAE basées essentiellement sur le terrassement des pentes et la canalisation des eaux de ruissellement hors des surfaces fragilisées par la culture vers des exutoires aménagés. Nous en citerons trois pour bien comprendre la philosophie qui se cache derrière des termes bien connus, mais souvent mal utilisés.

1850 : la RTM : Restauration des Terrains de Montagne en France

A cette époque, les populations pauvres des montagnes ne survivaient que grâce au pâturage des terres communales. Il s'en est suivi une dégradation des alpages, une augmentation des pointes de ruissellement et de gros dégâts aux voies de communication et aux aménagements des vallées. Pour le bien public, l'Etat s'est approprié les terres dégradées et ses forestiers ont replanté les hautes vallées et corrigé les torrents et grosses ravines (Lilin, 1986). Ces interventions très efficaces coûtent cher à la mise en place (environ 500 FF/m³ de gabion dans les Alpes) et à l'entretien (actuellement 150 millions FF/an en France) et n'ont résolu les problèmes de surpopulation que grâce à une forte demande de main d'oeuvre par l'industrie naissante.

1930 : la CES : la Conservation de l'Eau et des Sols aux USA

Une grande crise économique aux USA coïncide avec une forte crise d'environnement. la culture mécanisée des grandes prairies semi-arides a déclenché une énorme érosion éolienne : les nuages étaient si chargés de limons et d'humus qu'on n'y voyait plus en plein midi (dust bowl). L'Etat a chargé un corps d'agronomes de distribuer aux paysans volontaires de chaque canton une aide technique et financière pour conserver la productivité des sols et la qualité des eaux. Bennet a développé le système des terrasses de diversion et des exutoires aménagés.

1940 : la DRS : Défense et Restauration des Sols autour de la Méditerranée

Suite à diverses pressions (colonisations, migrations, croissance démographique) les cultivateurs et les éleveurs ont été repoussés dans les montagnes, milieu fragile dès lors qu'il est dénudé. Pour lutter contre la dégradation des terres, l'augmentation du ruissellement, des inondations et l'envasement des barrages, on a marié la RTM sur les hautes vallées et la CES, banquettes de diversion sur les versants cultivés.

La deuxième guerre mondiale n'a guère donné l'occasion de vérifier l'efficacité de l'application en zone tropicale des techniques mises au point par BENNET sur les sols limoneux de la Grande Plaine Américaine.

En 1980, l'échec des techniques d'équipement rural est reconnu par les chercheurs :

- > elles n'arrêtent pas l'érosion en nappe et la dégradation des terres,
- > elles n'ont pas ralenti l'envasement des barrages,
- > elles n'ont jamais été acceptées par les paysans.

Aux USA malgré 50 ans de CES, 25 % des terres cultivables perdent encore plus que l'érosion tolérable (max. 15 t/ha/an). En Afrique, les paysans refusent d'entretenir les aménagements réalisés par l'Etat et à plus forte raison d'étendre ces aménagements. "Pourquoi investir beaucoup de travail dans l'aménagement de ces terres dégradées si c'est pour conserver des rendements de misère ?". Pire, la plantation d'arbres par l'Etat fait craindre aux paysans une tentative d'appropriation de leurs terres (ex. : en Tunisie).

En 1987, le Séminaire de Puerto Rico a permis à une centaine de chercheurs et développeurs d'analyser les causes des échecs des projets et les caractéristiques des rares réussites (Moldenhauer et Hudson, 1988).

2.4. Des stratégies participatives visant le développement rural : ex. GCES.

- Il est maintenant évident que l'échec des programmes de conservation des sols provient soit d'erreurs techniques (transplantation sans vérification de méthodes d'un milieu physique ou sociologique à un autre), soit de financements mal adaptés (trop rigide, trop court, mal ciblé), soit surtout de l'absence d'adoption par les principaux intéressés, les paysans et les éleveurs (non entretien, ni diffusion des aménagements).

- Pour obtenir la participation paysanne dès la définition du programme, il est nécessaire de répondre d'abord à leurs problèmes immédiats (comment survivre quand la population double tous les 20 ans) et de s'adapter à la mentalité paysanne pour laquelle tout effort doit être payé tout de suite, soit par une augmentation substantielle des rendements, soit par l'augmentation de la sécurité (marché diversifié, résistance à la sécheresse) soit par une réduction du travail ou des autres intrants.

- **L'objectif majeur n'est donc plus la conservation de la masse du sol, mais la valorisation de la terre et du travail, tout en améliorant l'environnement rural (développement durable).**

- **Les moyens sont nouveaux.** Il s'agit de gérer à la fois les eaux de surface, les matières organiques et les nutriments : augmenter la production de biomasse pour mieux couvrir les sols et réduire les risques de fuite et les déséquilibres du bilan des nutriments organiques et minéraux.

- Ce programme exige du temps et un changement profond des mentalités : il peut se réaliser en quatre étapes.

1. Phase de sensibilisation de la communauté paysanne aux problèmes d'érosion à l'occasion de 2 enquêtes l'une sur les risques observés et leur perception par les paysans et l'autre sur les facteurs et les circonstances entraînant leurs manifestations.

2. Phase d'expérimentation, de démonstration sur les terres des paysans pour quantifier les risques et tester l'efficacité des méthodes de lutte préconisées.

3. Phase d'évaluation par les paysans et par les experts de la faisabilité, de l'efficacité et de la rentabilité des différentes méthodes proposées.

4. Phase de généralisation : de la parcelle au versant, du terroir à la région ou au grand bassin versant.

En conclusion, la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et des éléments nutritifs du sol est une approche participative récente (ROOSE, 1987, 1994), testée en France, au Burkina, en Algérie, au Rwanda et au Cap-Vert. Elle a donné des résultats encourageants à l'échelle du terroir, mais n'a pas encore eu l'occasion de faire ses preuves à l'échelle régionale.

- Elle est basée sur le diagnostic et l'**expérimentation en milieu paysan.**

- Elle exige du temps (5 à 10 ans), un financement souple et entraîne un profond changement des mentalités des techniciens et des paysans, auxquels on restitue la capacité d'innovation.

- Cette approche **modifie l'ordre de priorité des chantiers.**

L'approche conventionnelle cherche à définir les zones les plus dégradées d'où provient la majorité des sédiments dans les rivières : c'est là qu'on commence les travaux et qu'on concentre les chantiers (ex. reboisement des badlands et correction torrentielle).

Par contre, les paysans choisissent d'investir d'abord dans les bonnes terres avant qu'elles ne soient trop épuisées plutôt que dans les terres ravинées, totalement dégradées.

2.5. Deux logiques pour la LAE

- Ces deux logiques peuvent se comprendre si on analyse les effets de l'érosion cumulée (t/ha) au fil des années sur la capacité de production des sols (fig. 1).

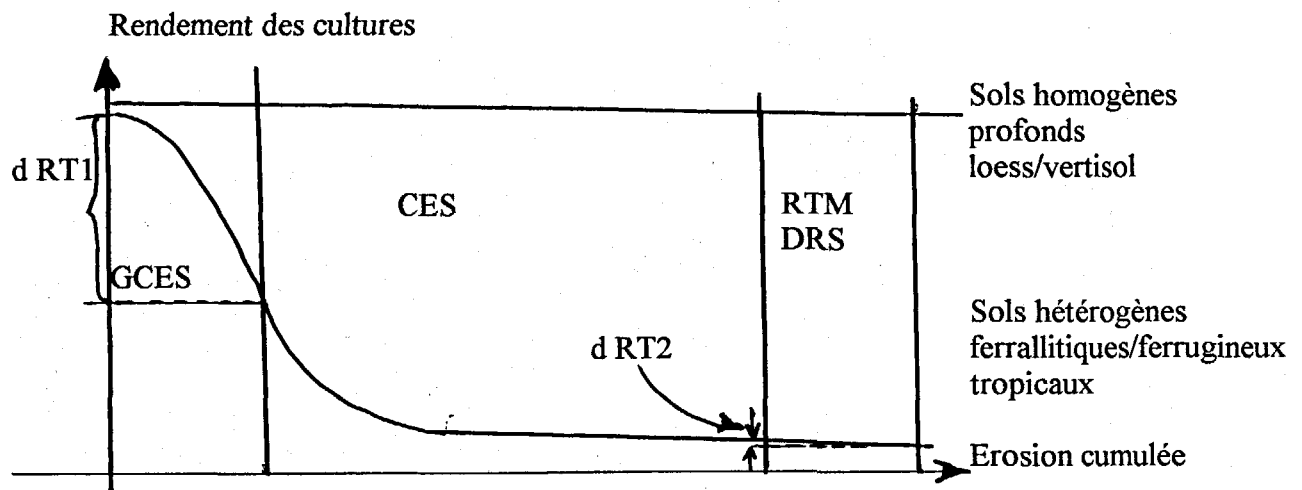


Fig. 1. Effet de l'érosion cumulée sur la capacité de production de sols homogènes profonds et de sols à fertilité réduite à l'horizon humifère superficiel.

- On peut observer en figure 1 que sur des sols homogènes fertiles et profonds l'érosion d'une dizaine de centimètres (1300 t/ha) n'a guère d'influence sur leur productivité : ceci a été vérifié sur les sols bruns sur loess profonds des USA.

- Par contre sur les vieux sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux, l'essentiel de la fertilité est concentré dans l'horizon humifère superficiel (5 à 15 cm de profondeur). Au Cameroun, Boli et al. (1994) ont observé expérimentalement sur un sol ferrugineux que le décapage des 15 premiers centimètres entraîne une perte de 50 % des rendements (malgré

l'apport des engrais nécessaires). Ensuite, la productivité est faible mais stable jusqu'à l'approche de la cuirasse ou d'un horizon graveleux.

- On peut alors investir dans la LAE selon deux logiques :

a) la **logique aval** applique les stratégies de DRS ou RTM qui consistent à concentrer les chantiers sur les sols dégradés d'où partent la majorité des transports solides des rivières. Les obstacles mécaniques dans ces zones réduisent fortement les transports solides et améliorent la qualité des eaux (MES ↓) des rivières, ce qui intéresse l'Etat, les industries et les citoyens, gros consommateurs d'eau ;

b) la **logique amont** (logique paysanne) conformément à la GCES tente de rééquilibrer les bilans organiques et minéraux des terres productives en voie de dégradation. En restaurant la productivité de la terre, on augmente la couverture végétale et la production de biomasse et on valorise le travail des paysans.

2.6. La restauration des sols

- A partir du moment où l'on défriche pour cultiver des terres, on réduit l'apport de litière à la terre tandis que la vitesse de minéralisation de l'humus du sol n'est guère réduite. On aboutit donc tôt ou tard à la dégradation des sols d'autant plus rapide en milieu tropical que le pédoclimat est chaud et humide, favorable à l'activité de la microflore du sol.

- Une fois les réserves minérales facilement assimilables épuisées et les réserves organiques bien entamées, les adventices et les nuisibles prennent généralement possession du terrain que l'agriculteur abandonne alors à la jachère. Il lui faut 10 à 15 ans en milieu forestier humide, 30 à 50 ans sous savane semi-humide et plus encore en zone sahélienne pour récupérer à la fois des propriétés physiques et le niveau de fertilité chimique initial. C'est la restauration écologique du milieu.

- Avec la pression démographique, il n'est plus possible de geler tant de terre pour restaurer leur fertilité ; la réduction de la durée de la jachère aboutit alors à l'accélération de la dégradation des couvertures végétales et pédologiques.

- Il est cependant possible de restaurer en quelques années la productivité des sols en **respectant les 6 règles suivantes** :

1. maîtrise du ruissellement, de l'érosion et de la lixiviation pour réduire les fuites de nutriments du système sol/plante ;
2. régénérer la macroporosité et l'enracinement par un travail profond ;
3. stabiliser la structure du sol par l'enfouissement de résidus de culture ou de chaux ou par une culture à fort enracinement ;
4. revitaliser le sol par apport de fumier composté ;
5. corriger l'acidité jusqu'au seuil $\text{pH} > 5$ pour supprimer la toxicité aluminique ;
6. corriger les carences du sol ou plus exactement nourrir la plante cultivée aux moments où elle en a le plus besoin (montaison, floraison, épiaison).

Tous les sols ne sont donc pas des ressources naturelles non renouvelables. La restauration des sols profonds et même leur **bonification** est possible, mais elle a un coût pour rétablir les équilibres organiques et minéraux. La stratégie GCES applique la règle selon laquelle " mieux vaut prévenir que guérir ". Comment donc définir les choix de gestion de l'eau, de la biomasse et des nutriments à Madagascar ?

3 - LA GESTION DE L'EAU PAR DES STRUCTURES ET DES TECHNIQUES CULTURALES APPROPRIÉES

En fonction du bilan hydrique régional, il existe 4 modes de gestion des eaux auxquels correspondent des structures antiérosives et des techniques culturales adaptées (voir tableau 2).

| 4 modes de gestion des eaux | des structures | des techniques culturales |
|--|--|--|
| Capture des eaux de surface | impluvium + citerne ou + cultures localisées | labour grossier, billons, cultures en cuvette/sillons |
| Absorption totale | terrasse en gradins, fossé d'absorption totale | billonnage cloisonné, paillage |
| Diversion des eaux en excès | bourrelets, fossés, diguettes, terrasses de diversion | billons obliques, planches, grosses buttes |
| Dissipation de l'énergie des eaux de ruissellement | microbarrages perméables, haies vives, cordons de pierres, lignes de paille / d'herbe / cailloux | labour grossier à plat, paillage, semis direct dans la litière |

3.1. Quelles structures antiérosives pour Madagascar ?

Le choix régional doit se faire en tenant compte du bilan hydrique des versants, de la capacité d'infiltration des terres, des risques de glissement en masse et de lixiviation des nutriments si on infiltre toute l'eau, mais aussi de la disponibilité en main d'oeuvre et en compétence.

1. Dans les zones semi-arides (ou tropicales avec une saison sèche), on peut chercher à capter les eaux de ruissellement sur les toit, le long des pentes et des pistes, au pied des versants rocheux ou tassés par le surpâturage.

Ces eaux plus ou moins enrichies en nutriments, en particules fines ou en sable peuvent être collectées dans de petites citernes creusées près des maisons (carrière à briques), dans des mares en amont des bonnes terres pour créer de petits jardins fruitiers/potagers où on concentre l'eau et les éléments fertiles dont on dispose.

2. Dans les zones semi-arides ou à sol très perméable, on peut tenter de tout absorber :
 - dans des gradins avec des terrasses d'absorption totale ou,
 - dans des fossés cloisonnés en courbe de niveau (à proscrire s'il y a des risques de glissement sur les pentes > 30 %).

3. Dans les zones humides, on peut drainer les excès hors des champs vers des exutoires aménagés.

Il s'agit de fossés, diguettes ou banquettes de diversion mis au point par BENNET (1939) pour les sols argilo-limoneux des régions tempérées des USA, ou encore des terrasses en gradin avec déversoir latéral dans les zones tropicales humides montagneuses indonésiennes.

4. Dans la méthode de dissipation de l'énergie du ruissellement, décrite récemment (Roose, 1994), il s'agit d'étaler les eaux en nappe sur la rugosité du sol et les structures

antiérosives perméables (ex cordons de pierres, bandes enherbées...) pour éviter qu'elles deviennent agressives et dépassent le seuil de 25 cm/sec, vitesse au-delà de laquelle les eaux seraient capables de creuser des rigoles et ravines (fig. 2 Hjulström). Cette approche aboutit à la formation de terrasses progressives : le simple travail du sol en courbe de niveau surélève le talus vers l'amont et creuse à l'aval de celui-ci, de telle sorte qu'il atteint facilement 1 mètre en 5 ans. Il faut alors restaurer la fertilité des sols à l'aval des talus.

3.2. Quelles techniques culturales pour Madagascar ?

Chaque technique a ses avantages et ses inconvénients de telle sorte que le choix des paysans doit être raisonné en fonction de la pente (qui réduit l'effet de la rugosité du sol sur le stockage de l'eau), du bilan hydrique et de la répartition des pluies, de la culture et de la disponibilité en travail et en intrants (matériel, traction animale, herbicides).

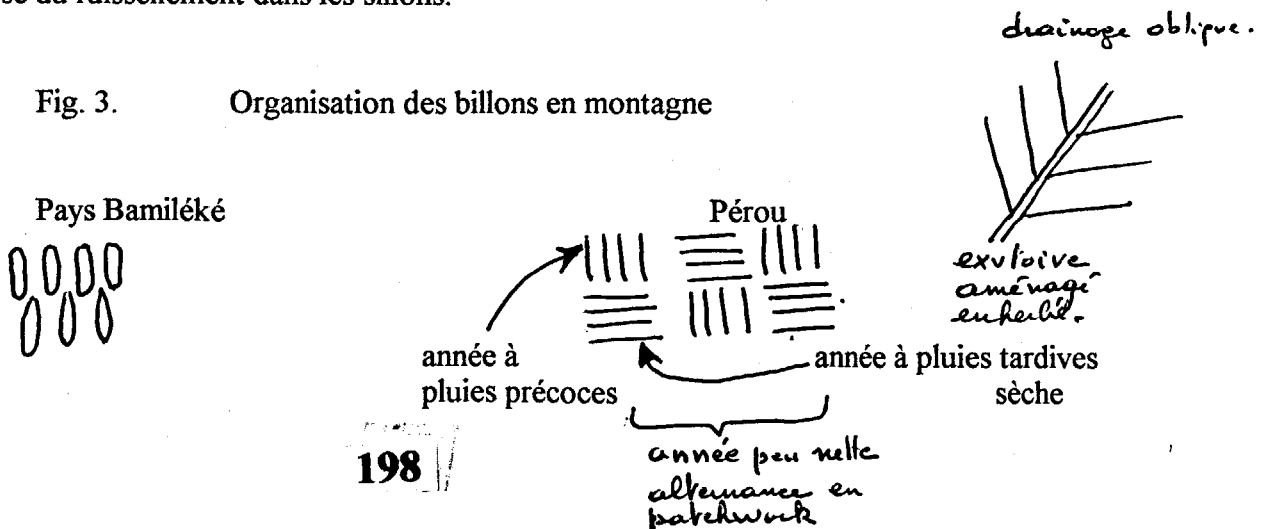
Le labour est utile pour décompacter le sol, favoriser l'enracinement, maîtriser les adventices et augmenter temporairement l'infiltration (de 40 à 260 premiers millimètres de pluie en fonction de la stabilité de la structure du sol). Effectué en courbe de niveau, il peut réduire les pertes en terre de 50 % sur les pentes moyennes (8 %) mais n'a plus guère d'effet au-delà de 25 % de pente. Dans les sols à bonne réserve hydrique, le labour peut augmenter les rendements de 30 à 50 % en zone semi-aride (Charreau et Nicou, 1971 ; Nicou et al., 1987).

Le labour a aussi des inconvénients. En augmentant l'aération du sol, il augmente la vitesse de minéralisation des matières organiques et accélère la dégradation de la structure. En réduisant la cohésion du matériau, il augmente son érodibilité et cause un réel danger de décapage sur fortes pentes. En retournant le sol, le labour expose aux pluies des horizons moins humifères, donc plus sensibles à l'érosion. Enfin, la charrue et les disques poussent le sol vers le bas de la pente, créant ainsi une lente érosion mécanique en masse (de l'ordre de 10 t/ha/labour) longtemps confondue avec l'érosion en nappe.

Le travail aux dents (chisel) soulève le sol et le fragmente sans le retourner. Moins efficace pour la maîtrise des adventices, il permet de conserver en surface la mince couche humifère et une litière de résidus de culture qui réduisent les risques d'érosion en nappe et d'érosion mécanique en masse.

Le billonnage en courbe de niveau accumule de la terre humifère bien drainée pour les cultures de plantes à racines et réduit les risques d'érosion de moitié par rapport au labour pour des pentes <8 %. Sur forte pente les avis sont partagés.

Le billonnage isohypse est certainement plus favorable lors des pluies faibles et moyennes. Mais dans les zones à cyclones (pluie de 300 à 600 mm en 3 jours) ou lors des gros orages de fréquence rare, les billons isohypses vont forcément déborder, créant un risque majeur de ravinement ou de glissement de terrain que le paysan ne peut maîtriser. Il est alors préférable de créer comme en pays Bamiléké ou au Pérou, une série de gros billons courts dans le sens de la pente, bien couverts par des cultures associées et organisées de façon à casser la vitesse du ruissellement dans les sillons.



Le travail du sol réduit à la ligne de plantation. En montagne où les risques sont trop graves et là où la macroporosité du sol est correcte, il vaut mieux réduire le travail du sol, mais alors il est nécessaire de trouver un autre moyen pour gérer les adventices qui risquent d'étouffer les jeunes plants cultivés. Cela peut comporter la mise en place d'un paillis épais, l'utilisation d'herbicides ou l'implantation de légumineuses couvrantes lors du premier sarclage du maïs (méthode brésilienne au Calopogonium).

Le travail du sol et la fertilisation peuvent être réduits à la ligne de plantation laissant entre les lignes les résidus de culture et les adventices mortes en guise de litière : on réduit alors considérablement les risques de ruissellement et d'érosion (voir au Cameroun les travaux de Vallée, 1994, BOLI, ROOSE et al., 1994). Pour maintenir le niveau de production, il faut alors réviser la technique de fumure (risque de lixiviation des nutriments et d'engorgement temporaire).

4 - GERER LA BIOMASSE ET LES MATIERES ORGANIQUES DU SOL

4.1. La matière organique : l'une des clés de la santé des sols

- Sous forêt, les arbres puisent les nutriments en profondeur et déposent 8 à 15 t/ha/an de litière à la surface du sol. La mésofaune (vers, termites, etc...) intervient alors pour creuser des galeries, recycler et redistribuer les matières organiques et minérales.

- Si on brûle la forêt et qu'on cultive la terre, on supprime la litière et comme la minéralisation des MO du sol continue, on observe une baisse rapide (50 % en 4 ans) des matières humifiées du sol.

Il s'en suit une réduction de l'activité de la mésofaune et de l'infiltration et par la suite une augmentation des risques de ruissellement et d'érosion. Si la végétation et les sols se dégradent vite sous les tropiques, c'est parce que, sans matière organique, les sols à kaolinite sont incapables de stocker l'eau et les nutriments en quantité suffisante sous forme assimilable par les cultures.

- Pourtant chaque champ produit une grande quantité de biomasse.

* 8 à 15 t/ha/an de litière sous forêt,

* 2 à 10 t/ha/an d'herbes sous savane mais le feu ne laisse que les racines (1 à 2 t/ha/an),

* 2 à 7 t/ha/an sous céréales... mais tous les résidus sont pâturés, exportés ou brûlés avant le labour !

* 0,5 à 3 t/ha/an sous arachide, coton, tabac mais tout est exporté.

En définitive, sans apport de MO, les sols cultivés se dégradent avant même que se déclenche l'érosion : mais celle-ci accélère sérieusement la dégradation.

4.2. Comment gérer au mieux cette biomasse ?

a) **L'élevage** est la voie la plus classique et probablement la plus rentable de la valorisation des résidus de culture. L'élevage produit de la viande et du fumier... mais le rendement fumier produit/biomasse ingérée ne dépasse guère 30-50 % de restitution pour le sol. Un gros effort reste à faire pour améliorer la quantité et la qualité du fumier en particulier des boeufs d'attelage (boeufs élevés dans une fosse fumière).

b) **Le compost est le "fumier du pauvre"**. Il donne un rendement aussi faible (35 %) mais pas de viande. Il exige beaucoup de travail, le fractionnement de la biomasse, un double transport des résidus, l'arrosage en saison sèche, le retournement, la protection contre le soleil et les pluies directes. L'expérience montre l'intérêt d'une "fosse compostière-fumière-poubelle" à l'ombre des arbres, où l'on accumule tous les déchets disponibles dans l'exploitation et dans l'habitation en veillant à accélérer le recyclage des nutriments (Turnover).

c) **L'enfouissement des résidus des cultures**. Il exige l'énergie d'un tracteur et un apport complémentaire d'azote pour éviter "la faim d'azote", immobilisation de l'azote disponible pour la digestion du carbone par les microbes du sol à la reprise des pluies.

Dans la nature, les paysans nettoient leurs champs et brûlent tous les résidus avant de préparer le lit de semence "par peur des maladies et des insectes cachés dans les résidus". A long terme, cette pratique est probablement déplorable mais à court terme, le paysan ne peut prendre aucun risque qui mettrait en péril sa maigre récolte annuelle.

d) **Le paillage léger** est une technique très efficace contre l'érosion, même si la surface n'est que partiellement couverte : un paillage couvrant 30 % du sol réduit de 50 % les risques d'érosion.

Mais les risques phytosanitaires sont réels (pourriture, limaces et sautériaux cachés sous les débris végétaux difficile à atteindre avec les produits phytosanitaires).

Le problème majeur est de trouver le volume de biomasse nécessaire (4 à 6 t/ha/an).

e) **Les légumineuses de couverture**. On s'oriente actuellement vers le semis retardé de légumineuses de couverture (ex Calopogonium) sous le maïs lors du premier sarclage (Klein, 1993) ou vers la constitution d'un couvert d'adventices que l'on grille aux herbicides au bout d'un mois lorsqu'il a atteint 20 cm de haut (Boli et al, 1994).

f) **La gestion des adventices** à la surface du sol doit aussi faire l'objet d'une réflexion : les griller aux herbicides ou les arracher et les étaler en surface réduit significativement les risques de perte en terre (Boli, Roose, Bep et al., 1994). Tolérer 10 % de couvert dû aux adventices en période très humide peut aussi réduire les risques de lixiviation des nutriments solubles dans les eaux de drainage.

4.3. L'agroforesterie

- Il s'agit de cultiver des arbres à objectifs multiples dans les meilleures terres cultivées. L'enracinement puissant des arbres les rend capables de prélever dans les horizons profonds du sol les nutriments entraînés par les eaux de drainage au-delà des racines des cultures ou les cations issus de l'altération des roches.

- La productivité (en bois, feuilles, fourrages) étant bien meilleure que sur les terres pauvres d'ordinaire réservées aux forêts et la terre étant sarclée pour les cultures, on peut maintenir une faible densité d'arbres (200 à 300 tiges/ha de tous âges) : tout l'art consiste à doser l'association "arbres-cultures" et de gérer la taille des branches et des racines superficielles.

- Pour une fois, ceux qui cultivent la terre, ceux qui plantent les arbres et ceux qui les exploitent sont les mêmes paysans, ce qui améliore leur sentiment de possession de la terre. Mais sur les terres louées ou s'il existe des droits de parcours du bétail, il peut être très difficile d'introduire l'agroforesterie sans soulever de graves problèmes fonciers.(Tassin, 1992)

- L'agroforesterie pourrait modifier les paysages malgaches (au moins des hautes terres) en bocages qui permettent de nourrir 250 à 500 habitants par km² sur les collines granitiques et jusqu'à 700 hab/km² sur les terres basaltiques (voir Cameroun et Rwanda).

Au Rwanda, KONIG (1993) et NDAYIZIGIYE (1994) ont montré qu'un réseau de haies vives de Calliandra ou Leucaena (2 légumineuses arbustives), plantées tous les 8 à 10 mètres, produit 4 à 10 t/ha/an de fourrage riche en protéines et 2 à 3 t/ha/an de bois de feu ; les remontées biologiques atteignent 100 kg/ha/an d'azote, 10 kg de phosphore et 40 kg de K + Ca + Mg sur des sols ferrallitiques très acides (pH \cong 4).

Toute cette biomasse forestière mérite un meilleur sort que le feu. Elle peut servir de fourrage en saison sèche et d'engrais vert/paillage pour protéger temporairement le lit de semence. Mais cela exige de changer les habitudes séculaires des éleveurs (TASSIN, 1992).

- La culture en couloir entre les haies (5 à 10 mètres de distance) permet de réduire l'érosion, de maîtriser le ruissellement et d'arrêter la dégradation des sols. Mais ce système de production ne suffit pas lorsque la population double tous les 20 ans. Pour relever le terrible défi, il faut combiner la gestion de l'eau, de la biomasse et des compléments minéraux indispensables.

5 - LA GESTION DES NUTRIMENTS

5.1. Le défi : doubler la production tous les 20 ans

- Conserver la masse du sol ne suffit pas pour augmenter leur productivité, surtout que la plupart d'entre eux sont déjà pauvres, acides, lessivés. " Pourquoi investir dans le travail de terrassement et entretenir les structures antiérosives si la production ne s'améliore guère ? "

- Dans " l'approche GCES ", on vise l'augmentation de la production de biomasse : or celle-ci ne se nourrit pas de MO, ni de sol mais des solutions nutritives NPK, Ca, Mg et divers oligo-éléments. Même si la plupart de ces nutriments sont présents en abondance dans le sol, ils sont souvent peu mobiles (P) ou peu assimilables par les plantes.

- Pour valoriser la terre et le travail, il faut donc apporter, **outre les MO, un complément minéral.**

- Mais les sols tropicaux stockent mal les nutriments. Le phosphore est vite rétrogradé par le fer libre, les éléments solubles sont emportés par le ruissellement et le drainage tandis que l'abus d'engrais composés d'acides forts acidifient les horizons superficiels. Ce n'est donc pas facile d'entretenir ou de restaurer la fertilité des sols à argile kaolinitique !

5.2. Corriger les carences du sol ou nourrir la plante cultivée ?

- Dès le congrès de Tananarive de 1967, il était clair que sous les tropiques humides, les risques de lixiviation des nutriments par le drainage sont si importants qu'il n'est pas rentable de corriger les carences du sol. (Roose, Godefroy, 1967)

- Il faut donc nourrir les cultures par petites doses, tout près de la plante, à mesure qu'elles en ont besoin lorsqu'elles atteignent certains stades physiologiques (montaison, floraison, épiaison).

- Dans les sols ferrallitiques, les compléments minéraux sont indispensables :

* pour relever le pH au dessus de 5 et éviter la toxicité aluminique,

* pour apporter le phosphore qui manque depuis la roche et les plantes jusqu'aux animaux,

* l'azote peut être apporté par des légumineuses, si on a levé la carence en phosphore.

Ces minéraux délicats à apporter (P, Ca, K, Mg, oligo-éléments), il faut les cacher dans les apports organiques (fumier/compost) : leur interaction avec les acides humiques augmente leur efficacité.

- Sans subvention des engrais minéraux, les paysans de la brousse ne pourront jamais valoriser leur travail ! Les rendements resteront minables même en absence d'érosion.

6 - CONCLUSION

6.1. Depuis 20 ans, la recherche a fait d'énormes progrès

- La DRS n'intervenait qu'une fois les sols dégradés. Le forestier "gendarme" chassait l'agriculteur/éleveur fautif pour planter des arbres "restaurateurs des sols".

- La CES s'intéresse déjà à conserver la productivité des terres et la pureté des eaux de surface.

- La GCES allie la gestion de l'eau, des MO et des nutriments pour améliorer durablement la productivité des terres et valoriser le travail des paysans.

Cette approche participative intéresse plus les paysans car elle s'applique à résoudre leurs problèmes d'intensification de la production, en même temps que de l'amélioration de leur environnement.

6.2. Cette approche participative est encore récente (1987)

- Formulée à divers congrès depuis 1987, cette approche s'enracine dans des sites expérimentaux en divers milieux paysans : France, Algérie, Cap-Vert, Burkina, Cameroun, Rwanda et bien d'autres pays anglophones (British Association for Better Land Husbandry du Kenya).

- Reste à définir ses limites : comme il s'agit de changer des mentalités et de faire évoluer des systèmes de production, cela prend du temps et contrarie la programmation des bailleurs de fond. L'une des conséquences les plus positives de cette approche c'est de restituer aux paysans leur rôle de chercheurs des solutions les mieux adaptées à leur condition de vie.

6.3. Une ère nouvelle et passionnante s'ouvre à la conservation des sols. Il s'agit d'inventer de nouveaux systèmes de production mieux adaptés à la diversité des milieux tropicaux fragiles. L'état de crise de la société est propice aux changements. Mais sans un effort sérieux pour maîtriser la croissance de la population, on n'arrivera pas à relever le défi car la population continuera à s'appauvrir et la révolte sociale à gronder !

L'exemple du Rwanda est un terrible avertissement.

BIBLIOGRAPHIE

BOLI (Z.), BEP (B.), ROOSE (E.), 1994 - Erosion impact on crop productivity on sandy soils of Northern Cameroon. Comm. ISCO 8 , Delhi, India, 4 - 8/12/1994, 13 p.

BOLI (Z.), ROOSE (E.), BEP (B.), SANON (K.), WAECHTER (O.), 1994.-Effets des techniques culturales sur le ruissellement, l'érosion et les rendements d'une culture intensive coton/maïs, sur un sol ferrugineux tropical sableux du Nord Cameroun. (Mbissiri, 1991 - 1992) Cah. ORSTOM Pédol., 28, 2 : sous presse.

BRAND (J.), RABEVOHITRA (H.), RAJAONARIVO (S.), CLOUTIER (B.), 1993.-Terroirs et ressources. Projet TERRE-TANY, 72 p.

CHARREAU (CL.), NICOU (R.), 1971.-L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux de la zone tropicale sèche africaine et les incidences agronomiques. Agron. Tropicale 26 , 9 : 903-978 et 26 , 11 : 1183-1247;

KLEIN (H.D.), 1994.-Introduction de légumineuses dans un système coton/céréales au Nord-Cameroun. Cirad-EMVT. Maison Alfort, Bull. Réseau Erosion, 14 : 393-398.

KONIG (D.), 1992 - L'agriculture écologique agro-forestière : une stratégie intégrée de conservation des sols au Rwanda. Bull. Réseau Erosion n° 12 : 130-139.

LILIN (Ch.), 1986 - Histoire de la restauration des terrains en montagne au 19ème siècle. Cah. ORSTOM Pédol., 22, 2 : 139 - 147.

MOLDENHAUER (W.C.), HUDSON (N. W.), 1988.-Conservation farming on steep lands. Soil and water conservation Society, World Association of Soil and Water Conservation, Ankeny, Iowa, USA, 289 p.

NDAYIZIGIYE (Fr.), 1994 - Effets des haies arbustives sur l'érosion et la productivité des terres sur les fortes pentes des montagnes tropicales du Rwanda. Bull. Réseau Erosion n° 14 : 243-248.

NICOU (R.), OUATTARA (B.), SOME (L.), 1987.-Effets des techniques d'économie de l'eau à la parcelle sur les cultures céréalières du Burkina-Faso. INERA OUAGADOUGOU, 77 p.

ROOSE (E.), GODEFROY (J.), 1967.-lessivage des éléments fertilisants sous bananeraie en Basse Côte d'Ivoire. Comm. Colloque International sur la fertilisation des sols tropicaux, Antananarivo, Madagascar : communication n° 114 : 1405 - 1409.

ROOSE (E.), 1987 - La GCES dans les paysages soudano-sahéliens d'Afrique occidentale. Séminaire ICRISAT/INRAN, Niamey (Niger) in " Soil, crop, water management systems for rainfed agriculture in the soudano-sahelian zone ". Proceedings ICRISAT PATANCHERU, India : 55-72.

ROOSE (E.), 1994 - Introduction à la GCES. Bull. Pédol. FAO n° 70 : Rome, 420 p.

TASSIN (J.), 1992 - Agroforesterie, conservation des sols et réalités paysannes. Bull. Réseau Erosion 12 : 191-193.

VALLEE (G.), ESSANG (T.), 1990.-Projet d'expérimentation sur la gestion de la fertilité des sols dans les systèmes de production en milieu paysan : zone Nord Est Bénoué, Cameroun. Garoua, doc. IRA, 11p.

IMPACT DE L'EROSION SUR LA PRODUCTIVITE VEGETALE SUR SOLS SABLEUX EN ZONE SOUDANIENNE DU NORD CAMEROUN.

Par Z.Boli Baboulé* ; B.Bep a Ziem** ; E.Roose***.

RESUME: L'expression de l'érosion par les seules pertes en terre, sans relation directe avec la productivité des cultures n'est pas suffisante pour susciter une plus grande conscience pour la conservation du sol et de sa productivité. La quantification de l'impact de l'érosion sur le rendement peut mieux aider à satisfaire cet objectif de sensibilisation, tout en servant de base pour la prédiction des récoltes. Cette étude décrit la relation Erosion-Productivité à partir des résultats d'enquêtes réalisées en champs paysans et d'expérimentations en parcelles d'érosion et de décapage de sol. Elle est conduite dans la partie soudanienne de la zone cotonnière du Cameroun sur un sol ferrugineux sableux. Elle montre que l'effet de l'érosion sur le rendement comporte deux composantes majeures : la soustraction des facteurs de fertilité et la diminution de la population des plants à la récolte. La réduction d'un facteur de fertilité dépend de la nature et de la répartition verticale de celui-ci dans l'horizon cultural. Le décapage des 5 premiers cm. du sol entraîne une réduction de rendement de 30% contre 4% seulement pour la tranche sous-jacente de même épaisseur. La composante effet sur la population des plants à la récolte apparait quand la dégradation du sol est avancée et en présence de facteurs de champ favorables telle la longueur de pente. Elle a été évaluée en champ à 10 %.

Mots clés : Erosion ; Productivité ; Sols sableux ; Nord Cameroun.

SUMARY : Expressing erosion hazards only by soil losses, without any reference to its effects on crops productivity is not enough to raise higher consciousness for soil and its productivity conservation. Quantifying the impact of erosion on crop yield may better help to attain this objective, while it gives also a base for crop yield prediction under erosion hazards. This paper describes the framework within which the relationship between erosion and crop productivity should be evaluated. The study is based on observations and data from farmers' fields survey, runoff and desurfacing plots carried out on sandy alfisols under intensive cotton /maize rotation in the sudanese savannah of the Northern Cameroon.

It shows that there are two main effects of erosion on the crop yield. The effect by depletion of one or many fertility factors taken away with runoff or eroded sediment, and the effect of reducing plants population at harvesting. The first effect through depletion of a fertility factor can vary with its nature and its vertical distribution within the cultivated layer.

* Boli, Agro-pédologue, IRA, BP 163, Foumbot, Cameroun.

Fax : C/UCCAO(237)44.11.01

* Bep a Ziem, Agronome, IRA, BP 33 Maroua, Cameroun.

Fax. : (237)29.29.76

***Roose, Pédologue, ORSTOM, BP 5045, 34032 Montpellier, France

Fax.(33)67.54.78.00

Soil removal of the 5 topmost centimeters led to 30 % of yield reduction while this is only by 4 % on the 5 following centimeters. When the plots received goat manure, a variation of erosion of 1 mm. led to a drop in yield of 30 to 40 %. The erosion impact on plants population at harvesting occurs when the soil has gone a severe degradation and it is associated to field factors such as slope length. Average yield reduction of 10 % was evaluated for this component in the farmers' fields.

INTRODUCTION :

En raison du caractère insidieux de l'érosion hydrique, nombreux paysans, vulgarisateurs et chercheurs, sont encore peu sensibilisés sur la sévérité du risque érosif en Afrique intertropicale, malgré de nombreux travaux et mises en garde sur le sujet (HARROY, 1944 ; HUDSON, 1961; ROOSE, 1973 ; LAL, 1976 ; CHARRIERE, 1984 ;PIERI,1989). Cette attitude peut partiellement s'expliquer par le fait que l'érosion, mesurée en pertes de terres exprimées en tonnes /ha.an ou en mm./an d'épaisseur de sol perdu, ne montre pas forcément de relation directe avec le rendement qui les intéresse. En effet, peu de travaux sont publiés sur la quantification de l'impact de l'érosion sur le rendement des cultures. Les résultats disponibles sur ce sujet se rapportent surtout aux essais de décapage centimétrique de l'horizon superficiel du sol sur des petites parcelles (ALFONSO et DUMAS, 1976 ;HART et HEALY, 1980 ;DE KIMPE, 1981;ROSS, 1982 ;EL SWAIFY, 1983 ; MBAGWU, 1984. MBAGWU et al, 1984 ;JESSOP, 1985 ;ROGOWSKI, 1985). Ces travaux font état de pertes de rendement dues à l'érosion de 10 % à 80 % en fonction du cultivar, du type de sol, de la pluviosité, etc...A cette échelle, les rigoles n'apparaissent pas et il n'y a pas arrachement de plants. Cette approche de l'érosion par le décapage présente en outre 3 insuffisances :

1-seule est prise en compte la perte en nutriments, argile et matière organique dans l'inter-rigole ;on ne tient pas compte de l'érosion linéaire;

2-dans la réalité des champs, le sol n'est pas uniformément décapé ;

3-le facteur temps n'est pas intégré :on ne tient pas compte de la dégradation progressive du milieu.

Par ailleurs, les modèles mathématiques mis au point pour calculer l'impact de l'érosion sur la productivité rencontrent de nombreuses difficultés d'adaptation et de généralisation. L'une des raisons de ces difficultés est la variation de la redistribution en fonction du système de culture.

Il nous est donc apparu utile de développer une recherche sur les relations qui existent entre l'érosion et la productivité afin de pouvoir répondre aux besoins de sensibilisation des opérateurs agricoles et de prédiction des récoltes.

Notre objectif est de décrire localement cette relation et de suggérer une démarche en vue de la quantification de la baisse de rendement due à l'érosion au champ.

1-MILIEU

L'étude est conduite sur des sols ferrugineux sableux, en savane soudanienne du Nord Cameroun. Ces sols supportent la majorité de l'agriculture de la région qui reste essentiellement pluviale. La rotation cotonnier-cultures vivrières, notamment le maïs et l'arachide y est encouragée.

1.1.Pluviosité :

Hauteur moyenne annuelle :1250 mm.(1000 - 1500)

Saison pluvieuse :Avril/Mai à Octobre.

Forte fréquence de grosses averses (\geq 60 mm.)et des séries d'averses.

1.2.Lithologie :

La lithologie est très variée :granites, grès, schistes, micaschistes, etc...Le site expérimental est sur un grès ferrugineux.

1.3.Pédologie :

Tableau 1:Quelques resultats d'analyse de l'horizon humifère non perturbé (0 -10 cm) des sols du site

| Paramètres | Savane brûlée et pâturée | jeune défriche (3ans) | | Vieille défriche (33 ans) |
|----------------|-----------------------------|-----------------------|--------|---------------------------|
| | | bloc A | bloc B | bloc D |
| pH eau | 6.2 | 6.0 | 5.6 | 5.0 |
| Carbone % | 0.65 | 0.27 | 0.34 | 0.25 |
| Sables gros. % | 66.1 | 65.4 | 71.5 | 57.3 |
| Sables fins % | 14.4 | 14.8 | 13.4 | 21.8 |
| Limons % | 13.8 | 15.4 | 13.0 | 15.0 |
| Argile % | 5.4 | 5.1 | 3.5 | 5.6 |

1.4. Système de culture :

-blocs de culture carrés, d'unité 1/4 ha.(50 m x50 m).

-rotation cotonniers/vivriers (maïs, sorgho, arachide)

-intensification par : labour à la charrue, engrais minéraux, protection végétale, variétés améliorées);

-labour :75 % des surfaces cultivées sont labourées à la charrue à soc en traction bovine, le reste en travail manuel ou en motorisation (SODECOTON 1990)

-engrais :un complexe NPKSB (15.20.15.6.1.) et l'urée (45 % de N) sont utilisés :

coton en semis précoce : 200 kg/ha NPKSB + 50kg/ha.Urée au semis, puis 50kg/ha.urée au buttage, 30 -45 jours après semis

coton en semis tardif entre le 20juin et 10 juillet :

100 kg/ha.NPKSB + 50 kg/ha.Urée au semis et 50 kg/ha.Urée au buttage (30-45 jours après semis).

Maïs :100 à 200 kg/ha.NPKSB + 50 à 75 kg/ha.Urée au semis et 50 à75 kg/ha Urée au buttage (30-45 j.) selon le niveau d'intensification.

2-METHODE :

L'étude s'appuie sur trois approches :

.une enquête en champs paysans ;

.des mesures de ruissellement, de pertes en terre et de production végétale en parcelles d'érosion ;

.un essai de décapage du sol sur des épaisseurs variables.

2.1.L'enquête : Au cours de l'enquête (octobre 89 -septembre 90),(BOLI et al, 1991), tous les blocs de culture (5 à 30 ha.chacun) de sept villages de l'arrondissement de Tcholliré ont été visités. Les manifestations de l'érosion ont été relevées ;les surfaces marquées sevérement par celle-ci ont été évaluées ;le terrain (sol, pente, surface,etc...), les pratiques culturales et les plantes ont été observés.

2.2.Les parcelles d'érosion : Trois blocs de parcelles d'érosion A,B,et D, de pentes respectives 1.0, 2.0 et 2.5 %, contiennent chacun une parcelle de 100m² recevant du fumier de chèvre à 3 % d'azote. Chaque parcelle reçoit l'équivalent de 3t/ha. an de ce fumier en plus d'une fumure minérale uniforme. Le fumier est épandu à la main avant le labour à la charrue à soc. Les 3 blocs représentent 3 niveaux de sensibilité à l'érosion déterminés par l'âge de la défriche, le degré de pente et une légère variation texturale.

2.3.L'essai décapage : Après un test d'homogénéité en 1992, le décapage a été réalisé en 1993 avec des pelles manuelles. Le dispositif expérimental est un bloc de Fisher randomisé à six traitements (0 ;5.0 ; 7.5 ;10.0 ;12.5 et 15.0 cm.d'épaisseur de sol décapé) et trois répétitions. Après le décapage, les parcelles ont été labourées à la charrue à soc en traction bovine. Une fertilisation minérale uniforme a été appliquée sur toutes les parcelles :100 kg/ha N15.P20.K15.S6.B1.+ 50kg/ha d'Urée à 45 % N, au semis, puis 50 kg/ha d'Urée 45 jours après semis. La variété de Maïs CMS8507 a servi de plant test à la densité de 50000 poquets à l'hectare. Les comptages de plants ont été faits à la levée et à la récolte. Les observations générales ont été faites sur la végétation. Les grains et les pailles ont été pesés après séchage à l'air.

3-RESULTATS :

3.1.Enquête :

-Sur jeune défriche (1-5 ans) et en traction bovine, l'érosion reste faible, localisée, apparemment sans effet visible sur le rendement du cotonnier ou du maïs.

-sur vieille défriche, plus de 10 années de culture continue,l'érosion est importante, parfois spectaculaire. On peut distinguer trois zones où la culture est affectée visuellement par l'érosion en rigole :

.le centre de la rigole où les plants ont été arrachés ;

.le voisinage de la rigole où les plants ont été déchaussés ;

.le cône d'atterrissement où les plants sont enterrés où recouverts par les sédiments au-delà du collet.

Les aires ainsi affectées, représentent sur vieilles défriches, environ 10 % de la superficie du champ.

3.2.Parcelles d'érosion :

Les réponses du maïs et du cotonnier au fumier de chèvre à trois niveaux de sensibilité du sol à l'érosion hydrique sont données dans le tableau 2.

Tableau 2 : Comparaison de l'érosion (t/ha/an) aux rendements (qt/ha) grain et résidus de maïs et de coton sur les parcelles fumées des blocs A, B et D.

| Année (culture) | Bloc | Erosion t/ha/an | Rdt grain q/ha | Rdt résidus q/ha |
|-----------------|------|-----------------|----------------|------------------|
| 1992 Maïs | A | 6.3 | 96.0 | 54.0 |
| | B | 21.1 | 58.0 | 41.0 |
| | D | 31.4 | 53.0 | 52.5 |
| 1993 Coton | A | 3,2 | 29,5 | 82.5 |
| | B | 6.2 | 27.0 | 72.0 |
| | D | 15.6 | 20.7 | 51.0 |

Dans chacun des trois blocs, le rendement de la parcelle au fumier a été supérieur à ceux des autres parcelles de même itinéraire technique hormis l'apport de fumier. Des pluies battantes ont affecté la densité de la population dès la levée, en fonction de la sensibilité de chaque bloc à l'érosion en 1993 (tableau 3).

Tableau 3 :Comparaison du nombre de plants de cotonniers récoltés aux rendements et aux érosions du traitement fumier des blocs A, B et D (1993).

| Culture (année) | Bloc | Nbre plants récoltés/100m2 | Rdt grain q /ha | Erosion t/ha/an |
|-----------------|------|----------------------------|-----------------|-----------------|
| Coton (1993) | A | 321 | 29.5 | 3.2 |
| | B | 306 | 27.0 | 6.2 |
| | D | 244 | 20.7 | 15.6 |

3.3.Essai décapage :

Le tableau 4 donne les rendements de maïs (grain sec et paille) en fonction de l'épaisseur de sol décapé.

Tableau 4: Effet de l'épaisseur de décapage du sol (cm.) sur le rendement de maïs (qt/ha) en grain et en paille.

| Décapage(cm) | 0.0 | 5.0 | 7.5 | 10.0 | 12.5 | 15.0 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|
| Rdt grain (q/ha) | 21.6 | 15.0 | 15.4 | 14.2 | 13.0 | 9.5 |
| Rdt paille (q/ha) | 55.7 | 52.7 | 48.6 | 51.2 | 44.1 | 45.6 |

Les décolorations du limbe des feuilles caractéristiques de la carence en zinc, ont été observées sur toutes les parcelles décapées (même de 5 cm.seulement) dès le stade 3 feuilles.

Tableau 5 :Effet de l'épaisseur de décapage (cm.)sur le % de poquets levés, de poquets récoltés par rapport aux levés et d'épis vides.

| Décapage (cm) | Poquets levés % | Poquets récoltés % | Epis vides % |
|---------------|-----------------|--------------------|--------------|
| 0.0 | 94.3 | 99.8 | 5.6 |
| 5.0 | 96.4 | 100 | 12.5 |
| 7.5 | 95.6 | 99.1 | 9.3 |
| 10.0 | 96.5 | 99.5 | 13.7 |
| 12.5 | 96.5 | 99.7 | 10.6 |
| 15.0 | 96.5 | 99.7 | 11.5 |

4 DISCUSSIONS :

L'observation directe permet de saisir deux modes d'action de l'érosion hydrique contribuant à la baisse des rendements :

1°-action sur la population des plants (comptage à la récolte) ;

2°-spoliation du sol de ses facteurs de fertilité:éléments fertilisants, argile, matière organique.

L'effet sur la population des plants est quantifiable au champ (enquête).Il provient :

.de manquants à la levée suite à une pluie battante intervenant après le semis sur sol peu stable ; les graines sont alors emportées ou mises à nu.

.de l'arrachement des plants dans les rigoles ;

.des plants enfouis ou à collets enterrés dans les aires d'atterrissement des sédiments.

Les plantes qui se trouvent au voisinage des rigoles ne peuvent pas compenser par leur développement les vides créés par l'érosion. Ces plantes sont les plus affectées par le déchaussement et la disparition des éléments fertilisants. Les vides laissés par l'érosion constituent donc un paramètre de réduction absolue de la productivité.

Généralement cette forme d'action n'apparaît que lorsque le sol a atteint un degré de dégradation notable, caractérisé par une forte instabilité à l'eau. Elle commence après quelques années de culture et augmente avec le temps de la même manière que le facteur de l'érodibilité K de Wischmeier (Roose et Sarraih, 1989).

La spoliation du sol de ses facteurs de fertilité est certainement l'une des formes les plus insidieuses de l'érosion. Le décapage entraîne une baisse régulière du rendement de maïs (grain et paille), malgré l'apport d'une fumure minérale NPKSB. Il n'a pas affecté la levée ni le nombre de plants à la récolte. Par contre le nombre moyen d'épis vides dans les traitements décapés est le double de celui du témoin non décapé (tab. 5) Par ailleurs l'amplitude maximale de la baisse de rendement grain (56 %) est supérieure à celle du rendement paille (21 %).

Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que certaines carences minérales tels les oligo-éléments (Zn) et d'autres propriétés du sol (baisse de capacité de rétention en eau) induites par le décapage affectent plus la formation des grains que la production de la biomasse verte. Le décapage des 5 premiers centimètres entraîne une réduction de rendement de 30 % contre 4 % pour les 5 centimètres suivants. Cette différence est attribuée à la distribution de la matière organique, principal facteur de fertilité dans cet horizon. Le décapage des 15 premiers centimètres fait apparaître après labour, une remontée de gravillons. La teneur en terre fine, autre facteur de fertilité du sol, s'en trouve affectée, d'où une réduction de rendement de 27 % par rapport à celui de la tranche sus-jacente (décapage de 12.5 cm).

Par ailleurs, sur les parcelles d'érosion voisines, on observe une diminution du rendement avec l'augmentation de l'érosion des parcelles fumées. A côté de probables améliorations physiques du sol, le fumier de chèvre apporte 90 kg/ha.d'azote libérés progressivement. Il est évident que si l'érosion emporte la fumure (fumier,Urée,NPK...) elle n'aura pas d'effet sur la productivité. L'effet de l'érosion sur les rendements est bien plus fort s'il s'agit d'érosion en nappe sélective vis-à-vis des particules fines et des nutriments que s'il s'agit d'un simple décapage (tab.6). A ce niveau, la notion d'érosion tolérable devient très relative et ne saurait être généralisée.

Tableau 6 :Variations de rendements (dt.Rdt) comparées aux variations d'érosion (dt.Er.) en nappe dans les parcelles fumées. (da # 1.5).

| | Variations érosion: t/ha/an (mm/an) | Variations rendements qtx/ha (%) |
|-------|--|---------------------------------------|
| Maïs | 10.3 (0.66) | 5.0 (8.6) |
| | 14.8 (0.98) | 38.0 (39.5) |
| | 25.1 (1.67) | 43.0 (44.8) |
| Coton | 3.0 (0.25) | 2.5 (8.5) |
| | 9.4 (0.62) | 6.3 (23.3) |
| | 12.4 (0.82) | 8.8 (30.0) |

On note des baisses de rendement importantes pour de très faibles pertes en terres par rapport à l'essai décapage.

On observe en plus que les taux de variation des rendements maïs sont plus élevés que ceux du coton pour les parcelles les plus sensibles à l'érosion. Si on fait la relation $dt.Rdt. = f(dt.Rr)$, on obtient une courbe en S, qui signifie qu'une fois que le facteur de productivité est épuisé par le ruissellement et le drainage, les pertes en terre complémentaires ont moins d'effet sur les rendements.

5-CONCLUSION :

Cette étude tend à démontrer sur un sol ferrugineux sableux du Nord Cameroun, que l'érosion a un impact négatif sur les rendements des cultures à travers la densité de la population des cultures et les pertes en facteurs de fertilité (nutriments, matière organique et argile).

IL semble évident que pour assurer à long terme une bonne production, il faut stabiliser les terres et éviter que le ruissellement emporte les graines, les plants, les fertilisants et les particules fines.

Le cadre de l'évaluation de cette relation entre l'érosion et la productivité d'un sol a été déterminé par la combinaison de 3 méthodes :

- l'enquête sur les champs des paysans, pour l'effet sur la densité des plants à la récolte ;
- les parcelles d'érosion, et
- les parcelles décapées,

pour les effets de spoliation du sol de ses facteurs de fertilité.

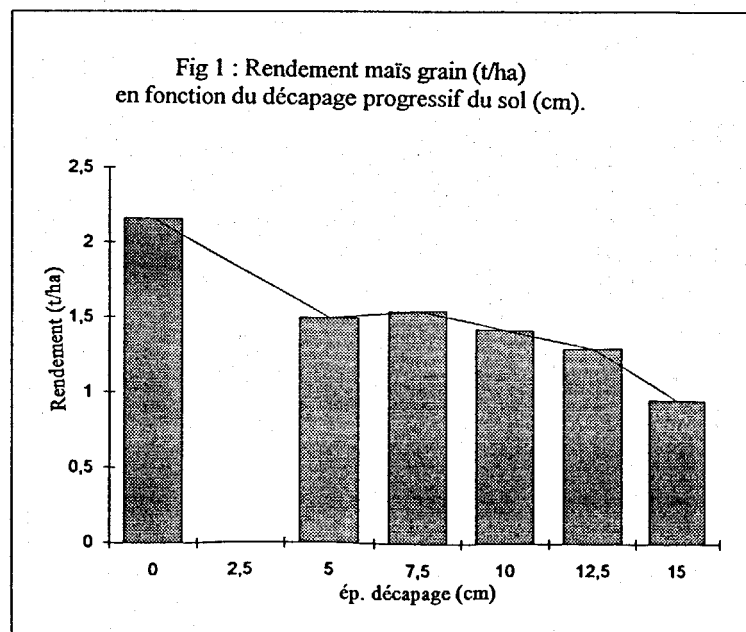
Dans le cas étudié, cette relation n'est pas linéaire :l'érosion des premiers centimètres a un impact très fort sur les pertes de productivité.

L'apport d'engrais minéraux n'a pas compensé les pertes de facteurs de productivité par l'érosion.

Les pertes en terre (en mm/an) par l'érosion en nappe sélective sont beaucoup plus dangereuses que par simple décapage..La notion d'érosion tolérable (1 à 12 t/ha/an) est donc relative en fonction de la répartition des facteurs de fertilité dans le profil cultural et peut-être du type de plante.

BIBLIOGRAPHIE

- BOLI(Z.),BEP a ZIEM,ROOSE (E.),1991 - Enquête sur l'érosion pluviale sous rotation coton/céréales dans la région de Tcholliré (Sud-Est-Bénoué) Nord Cameroun. Bull. Rés. Erosion n°11,127-138.
- CHARRIERE(G.),1984 - La culture attelée :un progrès dangereux. Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum., vol. XX, n°3-4, 1984:647-656.
- DE KIMPE(C.R.),LAVERDIERE(M.R.),ZIZKA(J.),1981 - Effet du modelage des champs sur l'hétérogénéité des sols et les rendements en maïs graino. Can. J. Soil Sci. 61 :225-236.
- EL SWAIFI(S.A.),DANGLER(E.W.)and ARMSTRONG(C.L.),1982 - "Soil erosion by water in the Tropics". Edit HITAH, Univ. Hawai, 173p.
- HART(P.B.S.),HEALY(N.B.)1980 - Topsoil removal and the restoration of pasture and soil productivity. Int. Rep., Soil Bureau, Dept. of Scientific and Industrial Research, New-Zeland.
- HARROY(J.P.),19446 - Afrique, terre qui meurt. Bruxelles, Edit. Marcel Hayez, 558p.
- HUDSON(N.W.),1961 - An introduction to the mechanics of soil erosion under tropical rainfall. Proc. of Rhodesian Scientific Assoc.:XLIX, 1:15-25.
- JESSOP(R.S.),et al.,1985 - The effect of landforming on crop production on a red-brown earth. Aust. J. Soil Res. 23:85-93.
- LAL(R.),1976 - Soil erosion problems on an alfisol in western Nigeria and their control. IITA Monograph n°1,208p.
- MBAGWU(J.S.C.),LAL(R.),SCOTT(T.W.),1984 - Effects of artificial desurfacing on alfisols and ultisols in Southern Nigeria :I. Crop performance. Soil Sci. Soc. Am. J., vol. 48.
- MBAGWU(J.S.C.),LAL(R.),SCOTT(T.W.),1984 - Effects of artificial desurfacing on alfisols and ultisols in Southern Nigeria :II. Changes in soil physical properties. Soil Sc. Soc. Am. J., vol. 48.
- PIERI(C.),1989 - Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Paris, Min. Coopération, CIRAD, 444p.
- ROGOWSKY(A.S.),1985 - Evaluation of potential topsoil productivity. Environmental geochemistry and health 7,3:87-97.
- ROOSE(E.),SARRAILH(J.M.)1989-90 - Erodibilité de quelques sols tropicaux. Vingt années de mesures en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXV, n°1-2:7-30.
- ROOSE(E.),1994 - Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols :G.C.E.S. Nouvelle stratégie de lutte antiérosive. Bulletin des sols de la F.A.O.,ROME, n°70, 420p.
- ROSS(D.J.),et al. 1982 - Restoration of pasture after topsoil removal: effects on soil carbon and nitrogen mineralization. Soil Biol. Biochem. Vol. 14:578-581.
- STALLING(J.H.),1953 - Continuous plant cover: the key to soil and water conservation. J. Soil and Water Conservation 8:63-68
- WISCHMEIER(W.H.),SMITH(D.D.),and UHLAND(D.R.),1958 - Evaluation of factors in the soil loss equation. Agric. Eng., 39:458-462, 474





**Photo A : Rigole et épandage de sable dans un champs de cotonnier :
Bocklé, Garoua, Nord-Cameroun, 1989.**



**Photo B : Parcelles d'érosion après labour :
Bloc C , Mbissiri, Tcholliré, Nord-Cameroun, 1994.**

Fig 2 : Rendements de maïs et de coton (q/ha) en fonction de l'érosion (t/ha/an) des parcelles avec fumier de chèvre (MBOISSIRI, 1992 et 1993).

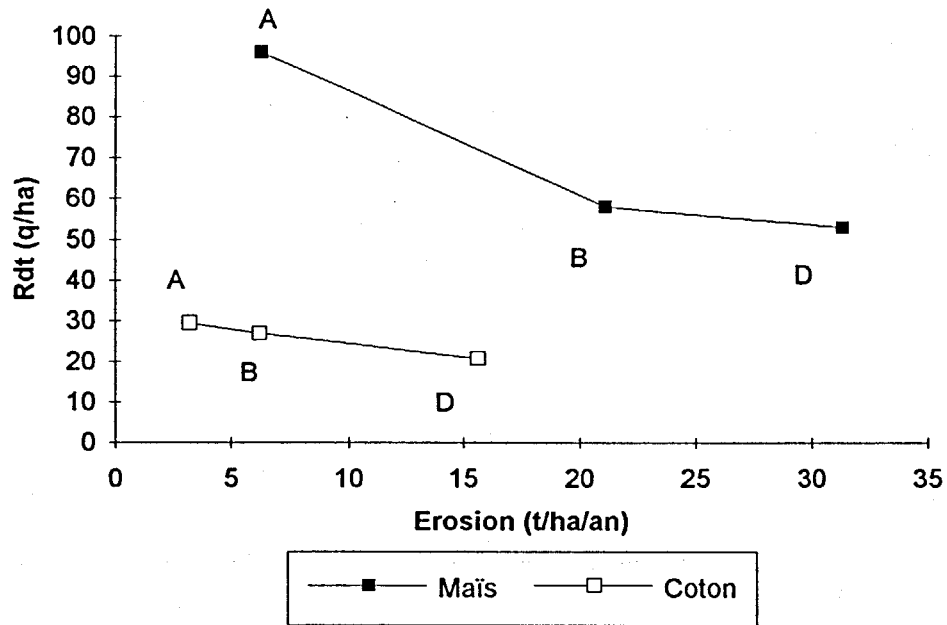
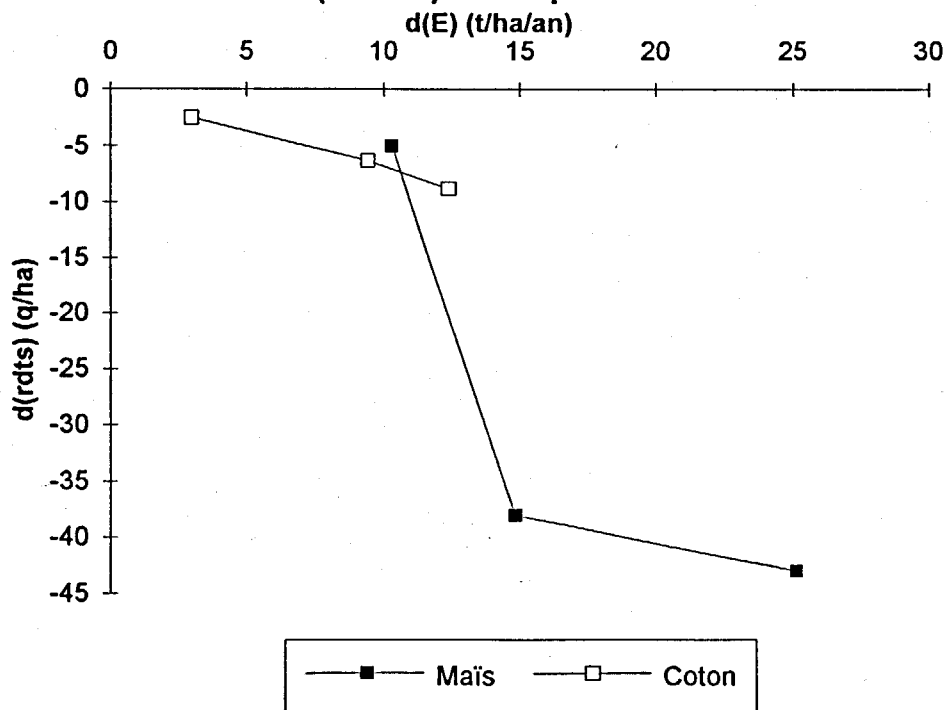


Fig 3 : Différences de rendements (q/ha) de maïs et coton, comparées aux différences d'érosion (t/ha/an) correspondantes.



**CRISE SOCIO-ECONOMIQUE ET EROSION ACCELEREE À
YAOUNDE : UNE CONTRIBUTION À LA GESTION DE
L'ENVIRONNEMENT URBAIN EN MILIEU TROPICAL HUMIDE**

par Michel TCHOTSOUA*
Jacques BONVALLOT**

RÉSUMÉ : Le site de Yaoundé (Cameroun) subit actuellement une grave crise morphogénique. Cette morphogenèse accélérée dont les conséquences sont bien perceptibles sur l'Environnement humain est, en grande, partie liée aux conditions socio-économiques du moment. L'étude de la dynamique de l'espace urbain, des principaux processus érosifs en cours, des perceptions populaires en matière de Gestion Conservatrice de l'Environnement urbain et de l'érosion accélérée permet de proposer quelques solutions pratiques pour freiner, voire arrêter la dégradation de l'Environnement urbain.

MOTS-CLES : Aménagement, Environnement, érosion urbaine, milieu tropical humide, ruissellement, Yaoundé.

SUMMARY : The site of Yaoundé (the capital of Cameroon) is actually facing a morphogenic crisis. This situation which involves an accelerated erosion with consequences on human environment results essentially from the socio-economic crisis. The study of the urban growth, of the main erosional processes and of the popular perceptions of the amangement of the urban environment and of the acelerated erosion permit to propose some practical solutions in order to reduce or furthermore to stop the actual environmental degradation.

KEY-WORDS : Amenagement, Environment, runoff, tropical humid milieu, urban erosion, Yaoundé.

** Assistant , Département de Géographie, Université de Ngaoundéré
B.P.454 Ngaoundéré-CAMEROUN-*

***Directeur de Recherche, Mission ORSTOM, B.P. 1857 Yaoundé-
CAMEROUN-*

INTRODUCTION

Situé entre 3°47' et 3°56' de latitude nord, 11°10' et 11°45' de longitude est, le site de la ville de Yaoundé est "tout en collines et en larges vallées marécageuses" (FRANQUEVILLE, 1984). Il est parsemé au nord-ouest et à l'ouest, de mornes rocheux dont les altitudes varient entre 900 et 1300 m. Ces hauteurs font partie du massif de Yaoundé (KUETE, 1977) qui domine, à l'est, un plateau de 750 m d'altitude environ. La rivière Mfoundi et ses affluents ont façonné ce plateau en interfluves orientés NE-SW et NO-SE aux versants généralement convexes. Yaoundé n'est pas, à proprement parler, en montagne. Mais, l'allure convexe des versants et la vigueur des pentes généralement fortes (> 15 %), donnent une impression d'encaissement vigoureux de vallées. De prime abord, il s'agit là d'un site difficilement aménageable.

Le substratum, principalement gneissique, a été affecté par une tectonique cassante de grande ampleur. L'altération a favorisé la formation de sols ferrallitiques profonds aux dépens desquels s'exerce une érosion intense.

Le climat est de type équatorial à 2 saisons pluvieuses et à 2 saisons sèches avec un total pluviométrique annuel de 1 600 mm. Les saisons pluvieuses, d'inégales longueurs sont caractérisées par des pluies de forte intensités (TCHOTSOUA, 1993).

La ville de Yaoundé est située en région de forêt semi-décidue à Sterculiacées et à Ulmacées (LETOUZEY, 1968) profondément dégradée par l'Homme.

I.- LES PHASES DE LA CROISSANCE SPATIALE DE YAOUNDE

Comme pour la plupart des villes du Tiers monde, la croissance démographique de Yaoundé est rapide. De 58 000 habitants en 1958, la population yaoundéenne est passée à 313 000 en 1976 puis à 560 785 en 1987. Plus des 3/5 de cette population sont "entassés" dans des quartiers spontanés.

D'après le Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (SDAU), la ville qui ne couvrait que 1 500 ha en 1957, occupe 5 250 ha en 1979. En 1987, elle s'étend sur environ 6 400 ha ; soit une densité de 86 habitants à l'hectare (8600 habitants au km²). Mais, cette densité moyenne, obtenue d'ailleurs à partir des données peu fiables cache des écarts considérables, pouvant varier du simple au quadruple.

Les quartiers les plus densément peuplés (plus de 30 000 habitants au km²) sont tous d'occupation spontanée ; les principaux étant : *Messa, Madagascar, Mokolo, Elig-Effa, Djoungolo, Mvog-Ada, Essos, Ekounou, Melen. et Briqueterie* (fig.1 et photo 1). L'érosion hydrique accélérée est une des conséquences majeures du développement anarchique de ces quartiers sur des pentes parfois supérieures à 30 %.

Fig. 1.- LES PRINCIPAUX QUARTIERS DE LA VILLE DE YAOUNDE

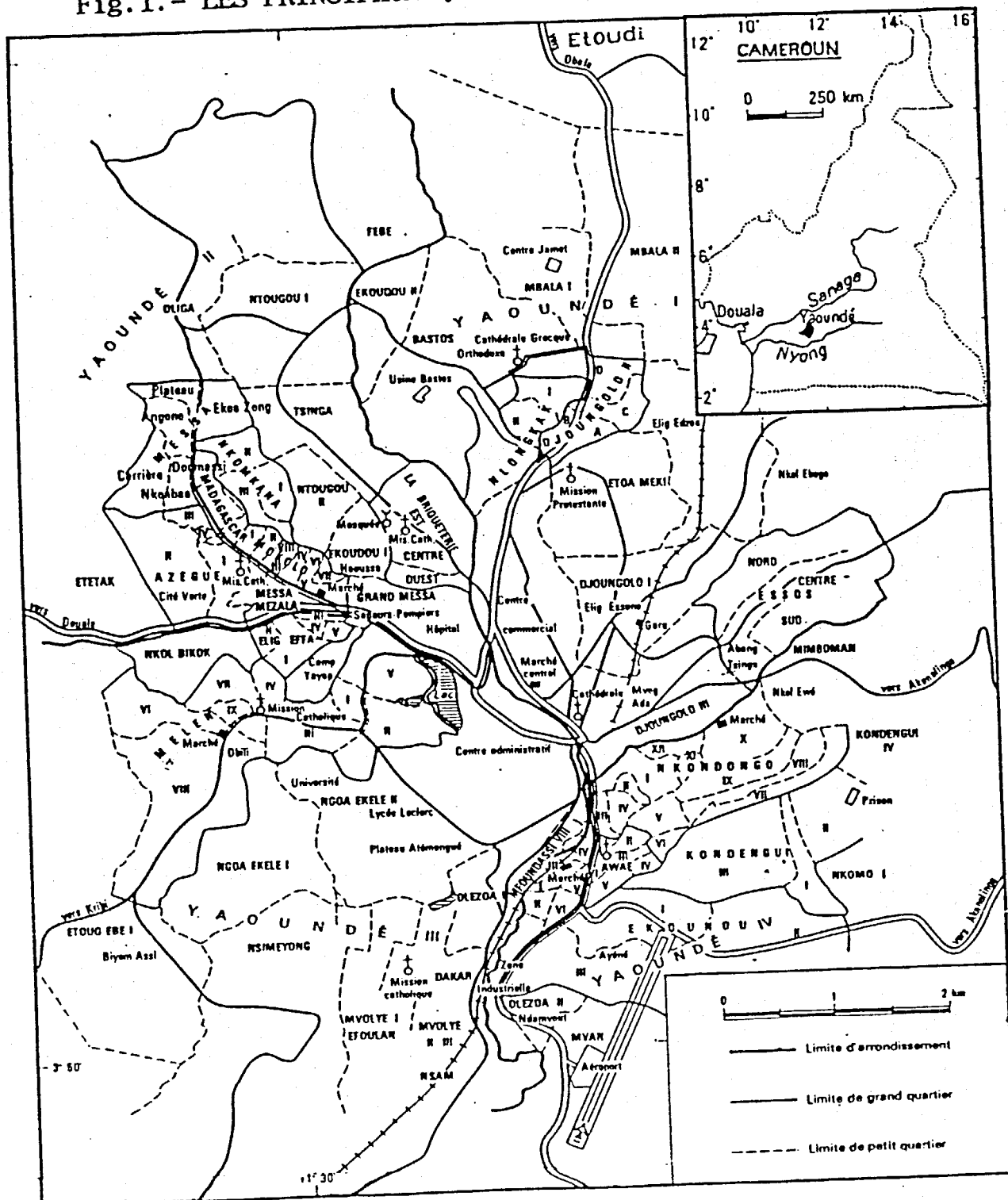




Photo 3.- Conséquences du sous-dimensionnement d'un caniveau au quartier *Ekounou-Aéroport*. Cliché M. TCHOTSOUA, 22 septembre 1990.



Photo 4.- Conséquences du glissement de terrain au quartier *Nkolbikok*. Cliché M. TCHOTSOUA, 12 mars 1991.

III.- LES CAUSES SOCIO-ECONOMIQUES DE L'EROSION ACCELEREE A YAOUNDE

A.- Origine ethnique et installation de la population à Yaoundé

En 1888, les explorateurs allemands, venant de la côte, vont parcourir plus de 250 km pour établir l'un de leurs postes militaires appelé "Yaunde Station" au confluent des ruisseaux Mingoa et Abiergue.

II.- LA CRISE ET LES DANGERS DE L'EROSION À YAOUNDE

Les photographies aériennes, complétées par des observations de terrain, montrent que depuis une trentaine d'années, le couvert végétal de la région de Yaoundé s'est dégradé rapidement du fait de l'urbanisation et de la concentration de plus en plus forte des habitations. Cette dégradation ainsi que l'accroissement des surfaces ruisselantes est suivie par le ravinement et par les mouvements de terrain.

Le ravinement creuse de profondes échancrures dont l'évolution latérale "déchausse" les maisons (photo 2). Elles servent de dépotoirs notamment dans les quartiers de *Mballa IV* et d'*Ekounou* (photo 3). Ces ravines s'approfondissent rapidement (plus de 2 m en 2 ans pour certaines) et créent de nombreux obstacles aux déplacements des habitants. Le ravinement entraîne également le colmatage rapide des caniveaux et des vallées comme dans les quartiers *Mvog-Ada*, *Melen*, *Briqueterie*, *Essos*, *Ngoa-Ekélé* et parfois des inondations catastrophiques. Celles d'août 1986, d'octobre 1989 et de septembre 1990 sont restées mémorables.

Au cours des orages et des averses, les eaux de ruissellement très actives affouillent le soubassement des maisons et provoquent des écroulements parfois mortels¹.

Parallèlement, les écroulements de masses de terre le long des talus des rues, les chutes des blocs rocheux comme à *Oyomabang* et à *Mbankolo* et les glissements de terrains comme à *Nkolbikok* deviennent très fréquents.

Le glissement de *Nkolbikok* est le plus important de la ville. Il a débuté en 1983. En 1985, il a évolué rapidement. Cette évolution rapide s'est soldée par un décrochement de 2 m au niveau de la couronne et par la destruction de 24 maisons dont celle de la photo 4. Jusqu'à présent, le front de ce glissement ne cesse d'enfler. Ce qui présume d'une descente brutale future dès que les forces actuelles de freinage auront cédé. L'épisode rapide de 1985 a provoqué le départ d'un bon nombre d'habitants de ce site à haut risque. Mais, du fait de la stabilisation apparente, ils sont revenus et ont construit leurs maisons sans que les autorités de la Communauté urbaine ne réagissent. 200 personnes sont actuellement menacées par ce glissement (TCHOTSOUA, 1993).

La presse mentionne ces phénomènes, de plus en plus fréquents et les titres des journaux sont très significatifs : "Yaoundé, le centre-ville dans l'eau : que nous réserve demain ?"² ; "Eboulement du mont Mbankolo (Yaoundé) :

¹. - Cameroon Tribune n° 3656 du mercredi 27 août 1986.

². - Cameroon Tribune n° 3680 du jeudi 25 septembre 1986.

la terre n'a pas tremblé" ; "Mont Mbankolo : gare à la troisième pierre"³ ; "Violence inhabituelle des pluies à Yaoundé : tristes images d'un triste événement" ; "Eboulement à Oyomabang (Yaoundé) ; bilan : 5 morts"⁴.

Ces accidents résulteraient d'une mauvaise évaluation des risques naturels lors de l'élaboration des plans d'urbanisme qui tiennent peu compte des manifestations érosives souvent imprévisibles à court terme. Au niveau social, l'occupation spontanée des sols faite de volonté clairement affichée n'est ni réglementée, ni contrôlée. Le site de la ville de Yaoundé est pourtant livré à une érosion accélérée.



Photo 1.- Vue partielle du quartier Briqueterie-ouest. L'on notera surtout la densité de l'habitat. Cliché M. TCHOTSOUA, 02 mai 1990.

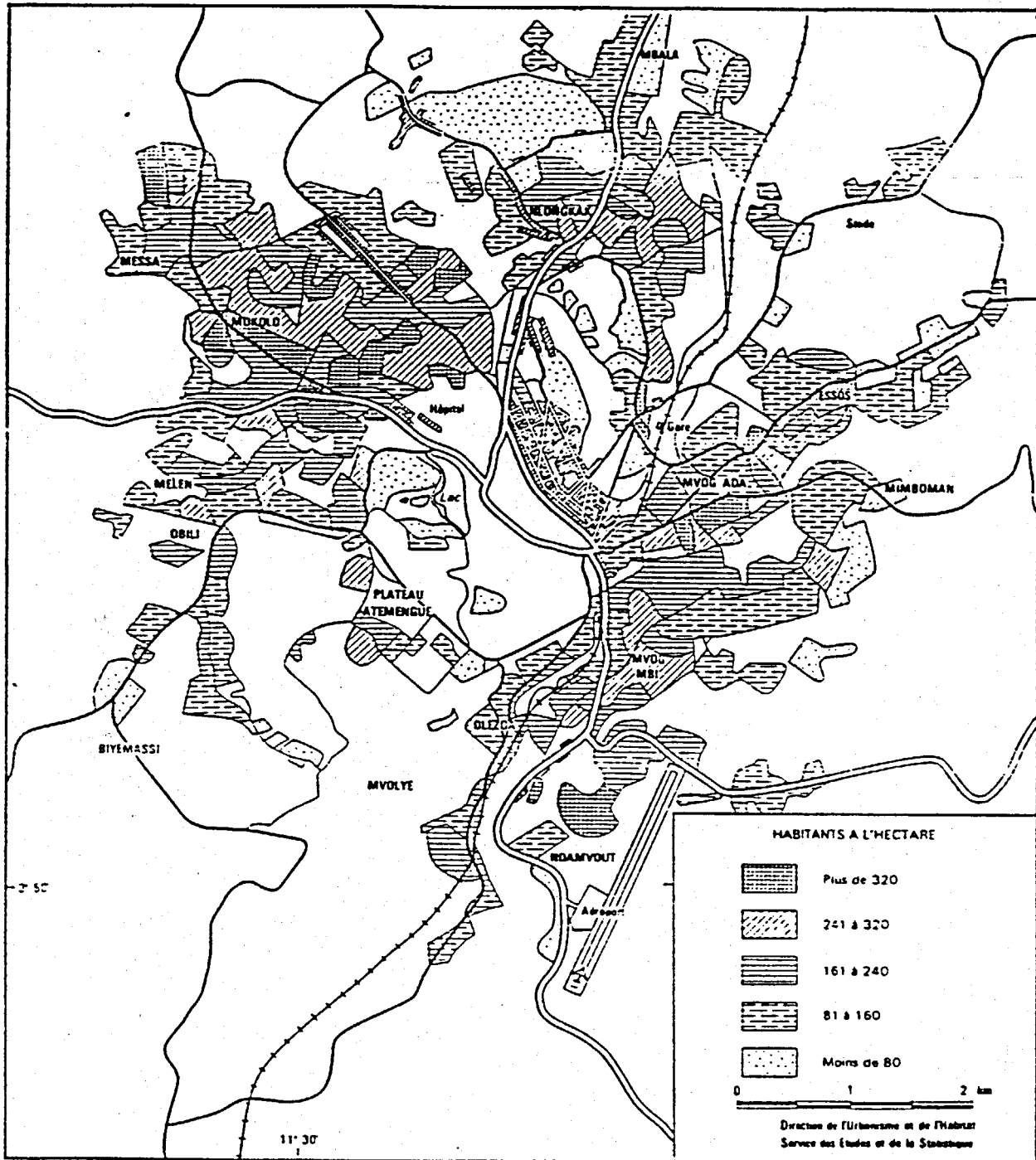


Photo 2.- Une maison "déchaussée" par une ravine au quartier *Briqueterie-ouest*. Cette entaille sert, également de dépotoir. Cliché B. DOUANLA, 07 novembre 1990.

3. - Cameroon Tribune n° 4496 du mardi 17 octobre 1989.

4. - Cameroon Tribune n° 4730 du jeudi 27 septembre 1990.

2.- DENSITE PAR QUARTIER DE LA POPULATION DE YAOUNDE



A l'époque précoloniale, les villages, de la région n'étaient en fait que des hameaux abritant les membres d'une même famille et "établis de préférence sur les hauteurs" (ZENKER, 1885). Ainsi, les collines seront-elles désignées par les noms de clans ou de chefs de clans : *Mvog-Ada*, *Mvog-Mbi*, *Kol-Dongo*. Les uns sont d'origine *Bané* et les autres *Ewondo*. C'est tout naturellement que les migrants en provenance des diverses régions du Cameroun se dirigeront vers les villages de leurs "frères" devenus urbains. Ainsi se peuplent les quartiers *Mvog-Mbi* et *Mvog-Ada* le long de la route d'Akonlinga. *Elig-Belibi* reçoit les cheminots *Bassa*. *Ekounou* reçoit les *Bané* accueillis par leurs "frères" de *Mvog-Belinga*. Les *Eton* venant d'Obala et les Manguissa de *Saa* vont créer les quartiers *Kol-Eton* et *Kol-Manguissa* vers *Nlongkak* actuel. Les migrants venant d'Okala et de Monatéle s'installent à proximité de Mokolo où ils vont créer les quartiers *Nkolbikok* et *Elig-Effa*. Les premiers "étrangers" venus d'ailleurs que de la forêt, après les colons, sont les commerçants *Haoussa*. Ils vont s'installer sur le site de l'actuel Marché Central. Puis, suivront les *Bamoun* et les *Bamiléké*.

Vers 1915, la restructuration autoritaire du Centre-Ville oblige ces groupes ethniques à se déplacer vers la périphérie. C'est ainsi que naît une série de sous-quartiers portant, chacun, le nom de l'ethnie qui l'habite : *Yambassa*, *Bamiléké*, *Bamoun*, *Bassa*, ... Ces regroupements par origine ethnique sont d'ailleurs encouragés par l'administration coloniale car, ils rendent les contrôles plus faciles. Jusqu'à présent, c'est toujours sur cette base ethnique que s'effectue la croissance spatiale de la ville de Yaoundé. C'est le cas des quartiers *Bénoué*, *Mvog-Ebanda* et *Baba* situés sur le front d'urbanisation nord-est de la ville.

En dehors des employés de l'administration qui vivent dans les cités, chacun préfère construire sa maison dans le quartier de son clan même s'il doit faire face aux conditions naturelles difficiles. Cette préférence est si forte que certaines personnes investissent 2 à 4 fois plus qu'il ne faudrait pour construire leur maison, car il faut lutter contre l'érosion ou les inondations. De telles considérations favorisent la spéculation foncière.'

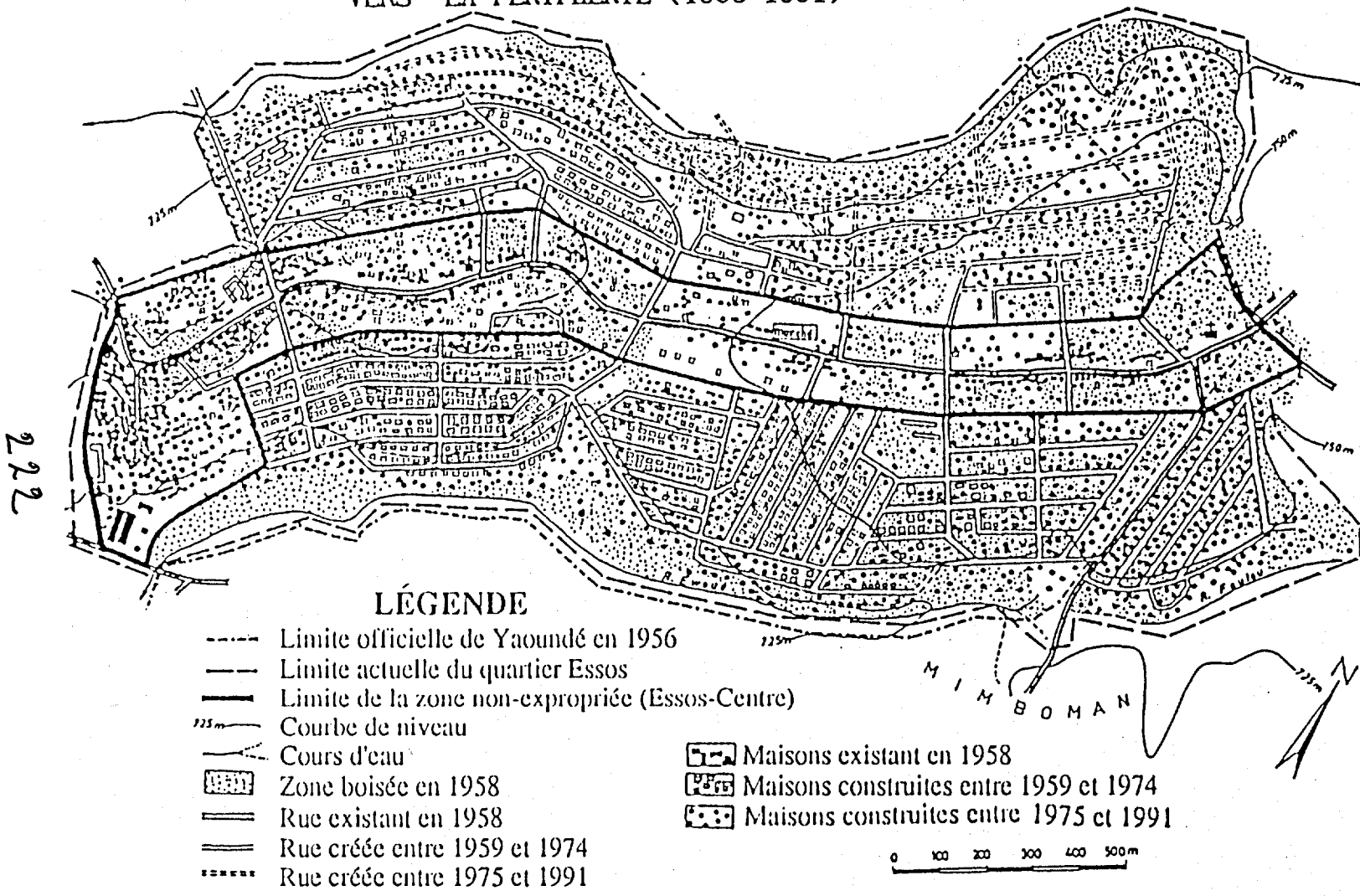
B.- La spéculation et l'absence de la sécurité foncières

Dans tous les quartiers spontanés de Yaoundé, les secteurs à faibles risques naturels sont paradoxalement moins occupés, tandis que les fonds de vallées marécageuses, les pentes fortes, les amphithéâtres de têtes de vallées sont densément construits. Cet état de faits est liée à la spéculation foncière.

En effet, comme dans la plupart des pays africains, le problème foncier n'est pas encore résolu à Yaoundé ; la Communauté urbaine, les chefs traditionnels et les autochtones se disputent encore le droit à la propriété de la terre. Dans le régime coutumier avant la colonisation, une colline est la propriété de la famille du premier occupant. La vente d'une parcelle de cette colline est proscrite.

Avec la colonisation et la croissance urbaine, la propriété individuelle se développe Ainsi, malgré l'intervention de l'Etat pour retirer certains terrains jugés à hauts risques (vallée marécageuse, versants pentus) de l'autorité des chefs

Fig.3 .- ESSOS : EXEMPLE DE TRANSFERT DE L'HABITAT SPONTANE
VERS LA PERIPHERIE (1958-1991)



LÉGENDE

- Limite officielle de Yaoundé en 1956
- Limite actuelle du quartier Essos
- ===== Limite de la zone non-expropriée (Essos-Centre)
- 225m --- Courbe de niveau
- ~~~~~ Cours d'eau
- ▨ Zone boisée en 1958
- ==== Rue existant en 1958
- ==== Rue créée entre 1959 et 1974
- Rue créée entre 1975 et 1991
- ▣ Maisons existant en 1958
- ▤ Maisons construites entre 1959 et 1974
- ▥ Maisons construites entre 1975 et 1991

traditionnels, ceux-ci ne veulent pas les céder. Au contraire, avec la complicité de certains individus proches des centres de pouvoir, ils en établissent des titres fonciers. MOUGOÛE (1985) dénonce la pratique qui consiste à lotir les sites inconstructibles où les "acheteurs se hâtent de construire en dehors de toute réglementation". Ce phénomène est, en partie, lié au coût du terrain qui varie d'un lot à l'autre en fonction de la superficie et surtout, en fonction des facilités de viabilisation. En effet, plus le terrain est difficilement viabilisable et donc dangereux, moins il est coûteux. Comme la majorité des citoyens ont de très faibles revenus (moins de 100 000 f cfa par an), ils achètent des "lots" à hauts risques, quitte à mettre 3 à 4 ans pour les rendre constructibles.

Dans les quartiers spontanés, l'imbricatio du découpage foncier et la superposition des droits fonciers induisent une insécurité foncière qui dissuade les particuliers et même les aménageurs publics. Il en résulte deux situations qui concourent au développement anarchique de la ville et donc à l'érosion accélérée :

- les acheteurs de terrains illégaux n'ont qu'un droit d'occupation qui ne leur permet pas d'obtenir de titre foncier ni d'introduire de demande de permis de bâtir, ni *a fortiori* de demander un crédit foncier ;

- la plupart de propriétaires craignent ou prétextent le risque de démolition générale du quartier ; d'autres n'ont ni de fonds, ni l'expérience nécessaires pour réaliser un lotissement qui respecte les règlements d'urbanisme.

Au total, la situation foncière actuelle à Yaoundé rend impossible la gestion efficace des terrains urbains ; l'absence de la sécurité foncière limite sérieusement les investissements privés en matière d'équipements et d'habitat ainsi que l'accès des crédits hypothécaires. De plus, les domaines appartenant à l'Etat ou à la Municipalité ne sont pas clairement délimités sur le terrain.

C.- Une occupation des lots de recasement guidée par l'appât du gain

Dans un contexte de crise urbaine, il n'est pas question de loger correctement les migrants avant de reloger les habitants de Yaoundé qui paient régulièrement leurs impôts (ETOUNDI ONAMBELE, 1981 *in* BOPDA 1985). Les pouvoirs publics doivent donc assumer la responsabilité de la politique d'éviction qu'ils ont choisie d'appliquer dans les quartiers indigènes de la ville coloniale. C'est dans cette logique de contrainte sociale d'aménagement qu'apparaît le système de recasement communal.

Entre 1969 et 1974, près de 689 ha de terrain sont distribués aux populations après une viabilisation sommaire. Les lots attribués doivent être construits suivant des normes qui ne sont généralement, pas respectées.

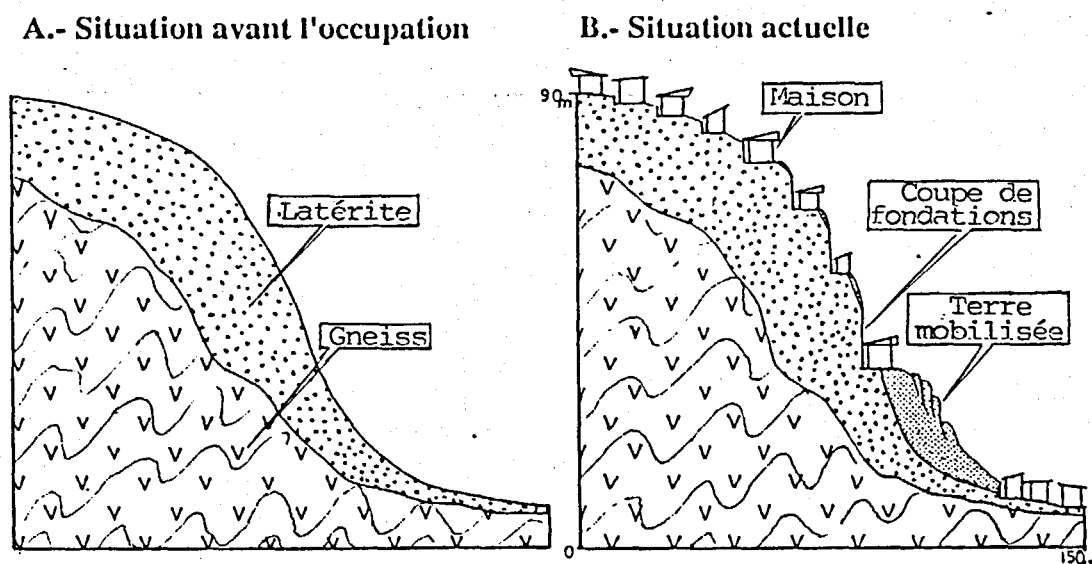
Alors que les premières maisons construites respectent les normes prescrites par les services officiels et disposent de quelques mètres carrés d'espaces verts ; quelques temps après, ces espaces sont occupés par une seconde vague de maisons illégalement construites.

Ce processus d'occupation anarchique montre les limites d'une extension périphérique dirigée par les pouvoirs publics qui n'est en fin de compte qu'un transfert de l'habitat du plus grand nombre du centre-ville vers la périphérie, avec ses problèmes. L'exemple le plus frappant de ce type de transfert est le quartier *Essos*, qui a reçu quelques habitants de la partie nord de *Nlongkak* (fig.2) rasé en 1972. Ici les infrastructures sont rudimentaires ; le drainage des eaux est assuré dans 95 % de cas par des rigoles non aménagées ; presque toutes les maisons construites entre 1974 et 1991 ne respectent pas les normes prescrites.

D.- Un système de construction qui ne respecte pas les conditions du milieu

Tenus par la nécessité de se loger par tous les moyens, les habitants démunis (malheureusement, la forte majorité de la population urbaine) construisent n'importe comment sur les pentes fortes et dans les bas-fonds.

Fig.4.- EROSION ANTHROPIQUE : OCCUPATION DU VERSANT NORD DE LA COLLINE D'ETOA-MEKI



Coups schématiques ; M. TCHOTSOUA, 1991

Avant de construire sur les pentes fortes (25 %), les citadins excavent les flancs de collines, manuellement ou au bulldozer, pour des paliers destinés à établir les fondations. Ils déblaient d'importantes quantités de terre construisant ainsi des talus, parfois hauts de 8 à 15 m (fig.3).

Pour une superficie de 3 hectares sur une pente moyenne de 35 % au quartier *Etoa-Meki*, nous avons évalué à 378 000 m³ (491 400 tonnes) la quantité de terre déblayée avant la construction de 180 maisons.

Généralement, ces déblais sont effectués sans aucune précaution, la terre ainsi ameublie étant laissée à la merci du ruissellement. D'importantes rigoles qui impriment aux talus de dépôt l'aspect des roubines se forment. Souvent, ces talus cèdent et s'écroulent sur les maisons situées en contre-bas, faisant parfois des victimes comme à *Essos*, le 25 septembre 1990 (5).

Dans les vallées, les citadins construisent des remblais sommaires pour se mettre à l'abri des inondations. Ils prélèvent d'importantes quantités de terre au pied des versants et contribuent à les destabiliser. L'occupation de la vallée par les remblais contraint les petites rivières à serpenter entre eux, ce qui accentue la sédimentation, crée des barrages artificiels qui font monter le niveau durant les crues bien au dessus du supportable. La problématique de l'occupation des parcelles à Yaoundé revêt donc 4 aspects (sociaux, juridiques, techniques et financier) qui sont étroitement imbriqués. Ce qui témoigne de l'enjeu politique de la gestion conservatrice du territoire urbain.

E.- Les populations, les pouvoirs publics et la lutte antiérosive

Nous venons de voir qu'à Yaoundé, les populations sont victimes du ruissellement qui "déchausse" les maisons construites sur les versants et ensevelit celles qui sont dans les vallées. Mais elles ne disposent d'aucune stratégie de lutte collective. Sur 500 personnes enquêtées dans tout le département du Mfoundi, 419 ne savent pas ce qu'on entend par stratégie commune de lutte contre l'érosion et n'ont pas conscience des actions à mener pour préserver leur maigre patrimoine.

De même dans les cultures vivrières sur les pentes fortes, aucun traitement antiérosif n'est réalisé. On le comprend d'ailleurs aisément puisqu'il s'agit de cultures d'appoint qui permettent à des citadins d'obtenir quelques ressources complémentaires à des salaires qui ne sont pas toujours servis avec la régularité souhaitée.

En milieu urbanisé, les gens qui ont des maisons sur les hauts de versants ne se soucient pas des dégâts causés sur les bas de versants par les eaux issues de leur toit ; ceci étant une conséquence de l'acculturation générale de la population urbaine qui se traduit par l'abandon des solidarités traditionnelles et donc par un désintérêt total pour ce qui peut arriver au voisin lorsqu'un épisode particulièrement catastrophique se produit. Seuls ceux dont les constructions sont sérieusement menacées par le ravinement tentent quelques aménagements individuels à l'aide de tôles ou de parpaings. Mais ces tentatives ne font que déplacer le danger des ravines d'une rive à l'autre ou d'un coude à l'autre. Dans les vallées, les populations impuissantes face aux crues et aux apports qui en résultent finissent souvent par abandonner leurs maisons après avoir subi de multiples désagréments. Quand la maison est au tiers ou à moitié ensevelie par la boue et les ordures, le propriétaire démonte la toiture et rehausse les murs à l'aide

5. - Cameroon Tribune n° 4730 du 27 septembre 1990.

de matériaux beaucoup plus léger et donne à l'intérieur de la maison l'aspect d'une case à étage.

La majorité des citadins se déclarent, en fait, impuissants face à l'érosion. comme le montrent ces propos d'un habitant de *Mvog-Ada* : *"L'érosion , c'est quelque chose de naturel ; prétendre empêcher les eaux de creuser, c'est prétendre empêcher le soleil de se lever. Le jour où elles vont emporter toute la maison, je vais rentrer au village avec ma famille"* (sic) .

Cependant, les pouvoirs publics ont entrepris des aménagements antiérosifs ponctuels. On peut citer l'empierrement de quelques talus de déblai (Rond point Nlongkak, montée du collège Montesquieu et Carrefour Régi) et la construction de dalots et de caniveaux particulièrement au centre-ville, aux quartiers *Bastos, Biyem-Assi et Mendong* ainsi que le long des grandes artères de la ville. Les dalots du centre-ville, du fait de leur sous-dimensionnement, ont plutôt aggravé les problèmes liés aux inondations.

Dans les quartiers populaires, loin du centre ville, les réseaux de caniveaux construits sont pour la plupart inachevés. À partir de mi-versant, où ils n'existent plus, les eaux collectées deviennent plus agressives avant de se jeter dans le ruisseau. De plus, ils ont une efficacité limitée du fait de leur sous-dimensionnement et de l'absence de curetage.

Dans les vallées, quelques aménagements ont été faits à l'occasion des grands travaux. C'est le cas de la construction de la ligne de chemin de fer du nord qui a permis de canaliser, tant bien que mal, à ciel ouvert, certaines sections du Mfoundi et du Ntem. Ces actions sont arrêtées du fait de l'effondrement de l'économie. La Municipalité n'a plus des moyens pour ne serait ce que ramasser les ordures. Les rues de la capitale sont transformées en hypodermose et en gigantesques tas d'ordures.

Après la catastrophe du 25 septembre 1990 à Oyomabang où 5 personnes ont été ensevelies dans leur maison par une coulée boueuse, la municipalité avait décidé de raser tous les sites construits illégalement. Cette mesure circonstancielle qui, en soi, n'était pas mauvaise, n'a jamais été appliquée. Les aspects sociaux et financiers auraient prévalu . Le problème du recasement des populations ainsi déplacées allait se poser inévitablement. Et c'est justement ce que la municipalité n'avait pas prévu dans son projet.

Au total, les regroupements ethniques, une mauvaise gestion du foncier sur un terrain difficilement aménageable de par son relief, l'ignorance en matière de Gestion Conservatoire des Terrains Urbains, l'absence d'une technologie adaptée au contexte local et l'appât du gain expliquent la morphogenèse accélérée que connaît actuellement la ville de Yaoundé. On comprend donc qu'il faille restituer et analyser le concept traditionnel de la ville dans les réalités économiques, politiques, sociales, culturelles et spatiales locales en intégrant les contraintes et les risques d'exploitation et surtout en cherchant à agir à l'échelle nationale. S'il paraît difficile de faire déguerpir les citadins de toutes les zones à risques, il serait, en revanche, possible d'effectuer un certain nombre d'opérations

concrètes avec eux.

III.- POUR UNE STRATEGIE ADAPTEE DE LUTTE CONTRE L'EROSION A YAOUNDE

Les techniques de lutte contre l'érosion urbaine connues (VAN D. CAILLIE, 1989, TCHOTSOUA, 1993) constituent des éléments de la mise en valeur organisée. Mais il n'y a pas de technique miracle. On ne doit pas oublier que seule une stratégie collective de lutte contre l'érosion dans la région de Yaoundé peut aboutir à un succès. Il faudra donc agir suivant la logique d'équipement du territoire urbain .

En plus, la planification devra désormais être simple, économique, rapide à concevoir et à réviser et largement compréhensible. Une telle conception de la planification implique une réorientation des pratiques professionnelles et administratives. .

A.- Le rôle des pouvoirs publics dans la stratégie d'ensemble de lutte contre l'érosion.

Dans beaucoup de pays africains (Burundi, Rwanda, Tunisie, Algérie...), la gestion conservatrice des eaux et des sols est devenue une priorité nationale et fait l'objet de beaucoup d'efforts (ROOSE, 1990, 1991). Mais au Cameroun, cette priorité reste presque inconnue et pourtant, l'érosion, témoin et conséquence de la dégradation de l'Environnement, en général, s'accroît tant en milieu rural (NGOUFO, 1988 ; TCHAWA, 1991) qu'en milieu urbain (FRANQUEVILLE, 1984 ; TCHOTSOUA, 1989, 1993).

Il s'avère urgent de mettre sur pied une stratégie nationale de lutte contre l'érosion. Celle-ci peut être organisée en 2 modules.

- La Gestion Conservatrice des Eaux et des Sols en Milieu Rural.
- La Gestion Conservatrice des Eaux et des Terrains Urbains.

La première associée à une diversification des productions, permettra d'entretenir et de développer en milieu rural des ressources suffisantes pour y maintenir la population afin de réduire l'exode rural. La seconde permettra de restaurer et de conserver le patrimoine urbain.

Toutefois, ces stratégies ne peuvent se réaliser sans la compréhension et l'adhésion de la population. C'est pourquoi il est absolument nécessaire que le Gouvernement lance, stimule, appuie et accélère les actions de sensibilisation à tous les niveaux de la société par le biais des affiches, des médias, des réunions et d'actions de formation et de démonstration. Dans les quartiers spontanés où l'individualisme est poussé jusqu'à son comble, le dialogue s'avère très difficile. Mais, si le moniteur y pénètre avec sagesse, simplicité et patience, il devient facile d'y agir. Le moniteur est celui qui travaille pour et avec les populations concernées par son action (LILIN et KOOHAFKAN, 1987). Ainsi, dans sa formation, on doit privilégier la psychologie et l'art de :

- convaincre par le dialogue, d'amener les populations à identifier et à prévoir les risques qui ont cours dans leur unité paysagère, à chercher et à trouver elles-mêmes des solutions satisfaisantes, et le cas contraire, leur en proposer ;

- sensibiliser les populations concernées aux résultats à atteindre à travers les programmes proposés ;

- susciter la confiance et la collaboration mutuelles entre les populations et les autorités chargées de la sécurité civile en milieu urbain.

Après la théorie, il faudra passer à la phase pratique qui consistera à délimiter sur le terrain à l'aide des bornes de signalisation et montrer à chacun les secteurs à risques dans son bloc et le PG CETU (Plan de Gestion Conservatrice des Eaux et des Terrains Urbains) qu'il aura à proposer à la population.

En ce sens, le moniteur sera, en fait, un co-producteur et non le producteur des solutions aux problèmes morphologiques en particulier et de l'Environnement en général. Le temps des projets introduits ou imposés, entièrement financés par le Gouvernement là où la contribution populaire était nécessaire, est révolu. Conjoncture économique oblige ! On ne doit plus développer, mais on doit aider à se développer. Les municipalités doivent devenir, plus que jamais, opérationnelles. Ceci suppose une large décentralisation assortie d'une responsabilisation accrue de tous les intervenants. Les citoyens, après avoir été mis en confiance, devront faire part de leurs connaissances et expériences ancestrales qui serviront de points de référence pour définir conjointement les aménagements et/ou les réaménagements adaptés. Cette démarche concertée sera d'autant plus performante qu'elle ne provoquera pas de confusion dans l'esprit du citoyen-aménageur.

Quelque soit la technique, elle ne peut être efficace dans un milieu que si les populations se sentent impliquées ou concernées. Et comme il paraît assez difficile de renverser la dynamique individuelle de mise en valeur de cette région, une seule solution semble, pour l'instant, possible : compter avec cette dynamique et essayer de l'infléchir doucement dans le sens du bien collectif en prenant comme échelle d'action, le bloc ou le quartier en milieu urbain et le village en milieu périurbain. Les citoyens doivent d'abord être abordés un à un et, ensuite, dans un cadre collectif. Des primes d'encouragement sous forme de certificat devront être attribués aux propriétaires et/ou aux quartiers dont les lots sont correctement aménagés. Mais toutes ces actions ne peuvent se réaliser sans une structure communale et interdisciplinaire chargée de les coordonner. Cette structure pourra être composée d'un comité de réflexion et de décision et d'un comité de conseil, de suivi et de formation spécialisée.

Le comité de réflexion et de décision aura pour rôle de rassembler les informations et les données sur les unités paysagères de la ville et de sa proche périphérie. En se basant sur ces paramètres, il pourra dresser un Plan de Gestion Conservatrice des Eaux et de Terrain Urbains (PG CETU) pour la ville et sa proche périphérie. Il doit, également, réfléchir sur les modes de sensibilisation des

différentes couches sociales.

Le comité de conseil, de suivi et de formation spécialisée aura pour tâche d'appliquer les modes de sensibilisation arrêtés, de conseiller les propriétaires qui le demandent ou ceux dont la gestion des lots est si mauvaise qu'elle met en danger les lots situés en aval. Il aura, également, pour tâche d'établir des contacts avec les autorités religieuses et les enseignants. Ceux-ci, de par leurs relations avec la population, peuvent jouer un grand rôle en matière d'aménagement s'ils savent ce qu'ils doivent faire. Au Zimbabwe, un comité analogue a permis de réduire sérieusement l'exploitation minière anarchique et la dégradation des terres trop pentues (ROOSE, 1990).

Enfin, il devra établir le bilan des activités de la cellule et assurer la formation des moniteurs d'hygiène et de sécurité civile.

Les moniteurs à former doivent être élus ou proposés par la population de chaque quartier voire de chaque bloc ou village en fonction de leur dynamisme et de leur disponibilité.

Au total, il s'avère nécessaire de doter les projets de réaménagement et/ou d'aménagement de durées plus longues. Celles-ci permettront à l'information de circuler entre les structures gestionnaires et les populations. C'est à ces conditions que l'Homme qui, jusqu'à présent, a été un des principaux acteurs de l'érosion à Yaoundé, deviendra le meilleur acteur du blocage du processus et même l'auteur du renversement de la tendance actuelle. On pourrait penser que le coût de financement des activités en constituera un handicap majeur. Toutefois, soulignons qu'il s'agit plus d'un problème d'organisation et de conscientisation de la population que de fonds. En 1990, dans le cadre du test de la SAGCETU (Stratégie Ascendante de Gestion Conservatrice des Eaux et des Terrains Urbains), nous avons réactivé une association d'hygiène et de salubrité au quartier *Briqueterie-Ouest* (TCHOTSOUA, 1991). En 1991, nous avons, discrètement, introduit dans le programme des activités mensuelles de l'AJEM (Association des Jeunes de Melen), une journée de salubrité. Celle-ci consiste à nettoyer et/ou aménager les caniveaux, les points d'eau et l'ensemble du quartier Melen. Les résultats de ces tests sont largement positifs. Au vue de ces activités, d'autres groupes se sont créés dans d'autres quartiers. Ces jeunes ne demandent qu'à être encouragés et être guidés dans leurs activités. Des parents, dans ce quartier, sont prêts à financer ces initiatives. Mais il manque de moniteurs pouvant dresser le cadre des activités. Il s'agit là d'une perche tendue aux municipalités. Elles devront la saisir et cesser de penser à la lutte contre l'érosion urbaine, en particulier, et la dégradation de l'Environnement urbain, en général, uniquement en terme de gros moyens financiers. Elles doivent canaliser et rendre ces forces et consciences plus utiles à la préservation de l'Environnement. Ceci devra aboutir à la création des PME locales chargées des travaux de pré-collecte des ordures ménagères, de la création et/ou de la remise en état des collecteurs et des caniveaux. Nous ne devons, néanmoins, pas perdre de vue que la crise morphodynamique se situe à l'aval de la crise socio-économique et que sa résorption complète passe par une amélioration du contexte socio-économique. Il est par ailleurs évident que les actions de sensibilisation ne doivent pas faire

oublier que dans certains secteurs seul un déguerpissement de la population peut la sauver de bien de maux. Il faut associer à cette politique d'éviction celle du rasement contrôlé.

CONCLUSION

En plus des conditions morphoclimatiques déjà défavorables au développement urbain, la crise socio-économique se présente comme étant l'un des déterminants les plus actifs de la morphogénèse du site de Yaoundé.

Le bilan morphodynamique de ce territoire est, comparativement à celui des autres régions du Tiers monde en cours d'urbanisation, loin d'être le plus catastrophique. La synthèse des contraintes et des processus d'évolution actuels doit être perçue comme une mise en évidence des déterminants les plus forts de la dynamique du milieu sur lesquels il faut vite agir. Yaoundé n'est pas Rio de Janeiro ; les quartiers *Messa, Madagascar, Mbankolo, Mvog-Ada, Mvog-Mbi, Melen ou Oyomabang* ne sont pas ces entassements dantesques des *favelas* accrochées sur les pentes convexes des massifs cristallins. Mais il demeure que l'absence de la maîtrise des contraintes physiques et socio-économiques en rapport avec la croissance urbaine se fait sentir dans la vie quotidienne des habitants.

La prise en compte des aspects physiques, sociaux et économiques lors de l'élaboration des prochains plans d'urbanisme conduirait surtout à mettre en cause certaines des prérogatives de l'administration territoriale et des bailleurs de fonds tant pour la gestion foncière que pour la tutelle financière des collectivités locales. Ainsi, les populations, les responsables du développement urbain et les propriétaires coutumiers pourront travailler en étroite collaboration pour que l'Environnement urbain soit préservé.

BIBLIOGRAPHIE

- ABAH, M.(1974).- Le site de Yaoundé : étude de géographie physique. *Univ. de Yaoundé, mém. D E S lettres*, 116 p.
- BOPDA, A. (1985).- La dynamique de l'espace urbain à Yaoundé : reconstruction et expansion post coloniale du bâti. *Univ. de Yaoundé, Thèse de doc. de 3ème cycle de géogr.*, 205p.
- FRANQUEVILLE, A. (1984).- Yaoundé : construire une capitale. *ORSTOM, coll. mém.*, 238 p.
- KODJO (1988).- Recherche pour la maîtrise du ruissellement pluvial à Yaoundé. *Univ. de Yaoundé*, 210 p.
- KUETE, M. (1977).- Étude géomorphologique du massif de Yaoundé *Univ. de Bordeaux III, thèse de doct. de 3ème cycle.*, 279 p.
- LABURTHE TOLRA, P.(1970).- Yaoundé d'après ZENKER, *extrait des annales de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de l'Université de Yaoundé n°2*, 113 p.
- LETOUZEY, R. (1968).- Étude phytogéographique du Cameroun. *éd. Paul Lechevalier*, 511 p.
- LILIN, C. et KOOHAFKAN, A.-P. (1987).- Techniques biologiques de

- conservation des sols en Haïti. *FAO, projet de formation en aménagement intégré des mornes*, 36 p.
- MICHEL, P. et LOUEMBE, D. (1992).- Conséquences de l'extension des villes sur la morpho-dynamique en Afrique : les exemples de Dakar, Nouackchott et Brazzaville. *Z F G. N E*, suppl. Bd. 91, pp. 161-173.
- MIETTON, M. (1981).- Lutte antiérosive et participation paysanne en Haute-Volta. *Géo. Eco.Trop.*, pp. 57-72.
- MINISTRE DU PLAN ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE (1992).- Migrations et urbanisation dans les villes de Douala et Yaoundé. *Rapport d'analyse du 2è recensement général de la population et de l'habitat*, pp.20 -38.
- MOUGOUE, B. (1985).- La municipalité et l'occupation des sites inconstructibles à Yaoundé. *Cameroon urban review* n° 1, pp 38-40.
- NGOUFO, R. (1988).- Les monts Bamboutos ; environnement et utilisation de l'espace. *Univ. de Yaoundé, thèse de doc. de 3ème cycle*, 349 p.
- PELLISSIER, P. (1979).- Le paysan et les techniciens : quelques aspects d'un difficile face à face . Maîtrise de l'espace agraire et développement en Afrique tropicale, *mémoires ORSTOM* n°89, pp. 1-8, Paris.
- ROOSE, E. (1988).- La gestion conservatrice de l'eau et de la fertilité des sols (GCES) une nouvelle stratégie de lutte antiérosive pour le Rwanda, 26 p.
- ROOSE, E. (1990).- Un programme national de gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols au Burundi. *Rapport de mission*, 29 p.
- ROOSE, E. (1991).- Conservation des eaux et des sols : outil de gestion des terroirs. *École inter-Etats de Techniciens Supérieurs de l'Hydraulique et de l'Équipement*, Doc inédit., 137 p.
- TCHAWA, P. (1991).- Dynamique des paysages sur la retombée méridionale des hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun. *Univ. de Bordeaux III, thèse de doct.*, 398 p.
- TCHOTSOUA, M. (1989).- L'érosion des versants dans un centre urbain tropical de moyenne montagne : le cas des bassins de deux affluents du Mfoundi (Abiergue nord et Ntem) à Yaoundé. *Univ. de Yaoundé, mém. de maîtrise*, 176 p.
- TCHOTSOUA, M. (1991).- Briqueterie-Ouest : lutte contre l'érosion pluviale dans un quartier populaire de Yaoundé. *Rev. de géogr. du Cam.*, pp. 20-31.
- TCHOTSOUA, M. (1991).- Définitions à caractères dimensionnels et stade d'évolution des entailles d'érosion linéaire en milieu urbain tropical : le cas de la ville de Yaoundé. *Actes du colloque de Grenoble, communication écrite, Réseau Erosion, Bull. n° 12* 4p., Grenoble.
- TCHOTSOUA, M. (1992).- Dynamique informelle de l'espace urbain et érosion accélérée en milieu tropical : cas de la ville de Yaoundé au Cameroun. *Actes du colloques de Poitiers, communication écrite, Réseau Erosion, Bull. n° 13*, pp. 131-142
- TCHOTSOUA, M. (1993).- Érosion accélérée et contraintes d'aménagement dans le département du Mfoundi au Cameroun ; une contribution à la gestion de l'Environnement urbain en milieu tropical humide. *Thèse de Doctorat de 3è cycle, Univ. de Yaoundé*, 296 p.
- TCHOTSOUA, M. et ZOGNING, A. (1993).- La catastrophe du 25 septembre 1990 à Oyomabang (banlieue de Yaoundé au Cameroun) (à paraître).
- TCHOTSOUA, M. (1993).- Risque d'éboulement de blocs rocheux sur les versants des monts orientaux du massif de Yaoundé : cas des monts Oyomabang et Mvog-Bétsi. *Rev. de Géogr. du Cam.*, pp. 21-31.
- VAN D. CAILLIE, X. (1989).- Érodibilité des terrains sableux du Zaïre et contrôle de l'érosion. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XXV, n°1-2, pp. 197-208.
- VENNETIER, P. (1973).- Problème de la croissance urbaine dans le monde tropical. *CEGET-CNRS*, 152 p.
- YOUANA, J. (1983).- Les quartiers spontanés péricentraux de Yaoundé. Une contribution à l'étude du problème de l'habitat du plus grand nombre en Afrique. *Univ. de Yaoundé, Thèse de doct. de 3ème cyle*, 309 p.

LES CAUSES PHYSIQUES ET HUMAINES DE L'ÉROSION DANS LE SAHEL

PROPOSITION D'UN MODÈLE

par

et

Per Lindskog
Département de Géographie
Université de Linköping
S-581 83 Linköping
Suède

Anna Tengberg
Département de Géographie Physique
Université de Goeteborg
Reutersgatan 2c
S-413 20 Goeteborg
Suède

RESUME

Le modèle propose une étude multidisciplinaire des causes physiques et humaines de l'érosion suivant les étapes ci-dessous: Dans un premier temps, la détermination des causes physiques qui interviennent dans les processus de dégradation et de reconstitution naturelles; Deuxièmement, la recherche des causes humaines; Enfin, la localisation des symptômes de l'érosion dans le temps et dans l'espace.

En ce qui concerne les causes, une bonne détermination des symptômes est nécessaire en vue de mener une lutte efficace contre l'érosion. L'efficacité est d'autant plus assurée si on prend en compte la perception des causes et des symptômes de l'érosion par les populations rurales analphabètes.

Les variables comme l'espace et le temps sont incluses dans l'analyse d'abord pour la description de l'évolution des symptômes, et ensuite comme variables explicatives des causes et des effets de l'érosion.

Nous avons appliqué ce modèle dans la province de l'Oudalan au Burkina Faso. Cette application montre trois différents types de perceptions au niveau de la population: D'abord, la perception des variables physiques, comme la pluviométrie; elle est, en général, proche des observations scientifiques; Deuxièmement, la perception des symptômes de l'érosion correspond également aux observations scientifiques; Enfin, la perception des causes physiques et humaines. C'est ici qu'il y a un fort écart entre le point de vue des populations et les observations scientifiques. La quasi-totalité des personnes enquêtées n'ont indiqué le rôle joué par l'homme dans la dégradation, les causes sont attribuées à Dieu, Allah. Seul un marabout de Ménéguou a expliqué que l'érosion est due à la disparition des arbres qui par conséquent a provoqué une réduction pluviométrique. Sa maison est entourée d'arbustes bien entretenus par lui et par les élèves de l'école coranique qu'il dirige.

1. INTRODUCTION

Il est essentiel de déterminer les symptômes ainsi que les causes de dégradation des terres, du point de vue scientifique comme du point de vue des populations concernées, afin de pouvoir proposer des stratégies durables de la gestion des terroirs (Lambin, 1993; Martin & Lockie, 1993).

Il existe deux opinions divergeantes sur les causes de la dégradation des terres et de la désertification, l'une portant la responsabilité sur les causes physiques, la pluviométrie et la sécheresse par exemple, l'autre les causes humaines comme le surpâturage, la surexploitation des forêts et des terres, l'utilisation de techniques de cultures peu appropriées etc. Récemment, la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement a défini la désertification comme la dégradation des terres dans les régions arides, semi-arides et subhumides due à divers facteurs incluant les variations climatiques et les activités humaines (CNUED, 1992). La dégradation des terres est aussi définie comme une réduction des conditions physiques, chimiques ou biologiques qui peuvent réduire sa capacité productive (Chartres, 1987).

Le caractère complexe et interdépendant des facteurs qui entre en jeu dans la dégradation des terres, a été ressorti dans plusieurs études (Blaikie & Brookfield, 1987; Gaud, 1992). Blaikie et Brookfield proposent que la terre est dégradée quand il y a une perte de ses qualités intrinsèques ou quand il y a une réduction de ses capacités. Ainsi, on peut expliquer la dégradation des

terres comme le résultat ou le produit d'une équation, où interviennent des forces humaines et des forces physiques (Blaikie et Brookfield, 1987, p. 6-7). Ce raisonnement les amène à la notion de dégradation nette, définit comme:

dégradation nette = (processus de dégradation naturelle - processus de reproduction naturelle) + (causes humaines de dégradation - les interventions de l'homme dans la reconstitution)

Malgré qu'on note partout un intérêt croissant à approfondir les connaissances sur l'interaction entre l'environnement, les sociétés et les activités humaines, la plupart des études sur la dégradation décrivent ces processus de points de vue physique, chimique ou économique. Ceci les a amené à prescrire des "remèdes techniques" pour lutter contre la dégradation des terres (voir Blaikie & Brookfield, 1987; Hudson, 1971). Par conséquent, la quasi-totalité des efforts menés dans cette lutte ont été dirigés vers l'éradication des symptômes plutôt que des vraies causes.

Scott et al (1992) ont présenté une revue de modèles sur les critères de choix des techniques de conservation des eaux et du sol, dans laquelle ils ont conclu que dans le passé, la recherche a été sectorielle ou focalisée sur les disciplines scientifiques, alors que ce qui est nécessaire c'est une approche multidisciplinaire.

L'objectif de cette communication c'est de proposer un modèle conceptuel, qui intègre dans les études sur la dégradation des

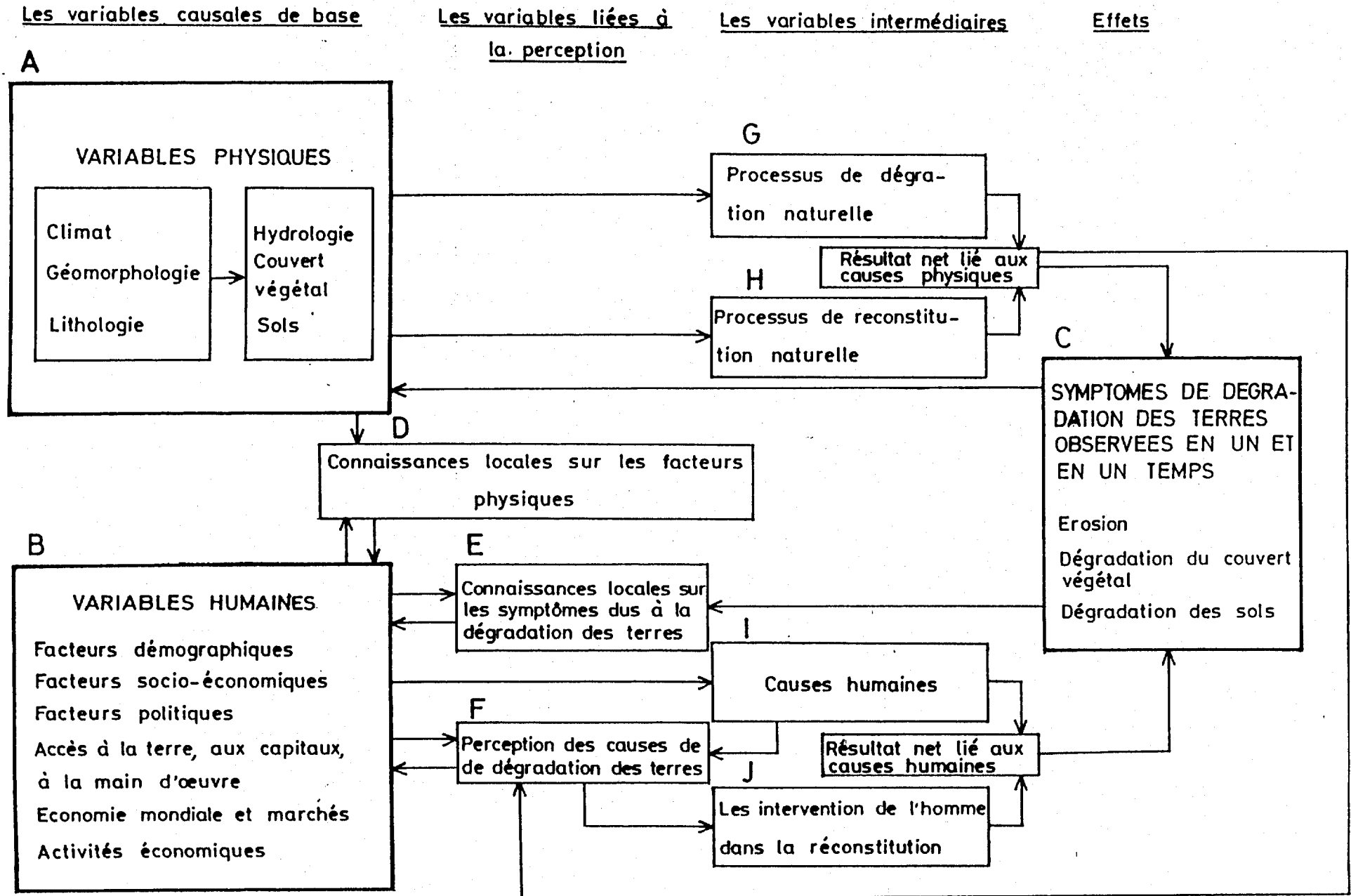
terres, les aspects physiques, écologiques et les aspects humains. Pour ce qui concerne les aspects humains, un accent doit être particulièrement mis sur la perception du processus par les populations concernées et leur connaissance par rapport aux observations scientifiques faites. Nous avons appliqué ce modèle à une étude de cas dans le Sahel, au nord du Burkina Faso, plus précisément dans la province de l'Oudalan.

2. LE MODELE PROPOSE

Globalement le modèle (figure 1) est structuré en trois groupes principaux liés par les variables qui ressortent au niveau de la perception et des variables intermédiaires. Les principaux groupes sont les variables des causes physiques (A dans la figure 1), les variables des causes humaines (B) et les variables des symptômes de dégradation des terres (C). Par rapport à ces derniers, on peut distinguer trois types de symptômes dus soit à l'érosion, soit à la dégradation du couvert végétal et enfin à la dégradation du sol.

Le modèle se base sur la notion de dégradation nette combinée avec une approche systémique de l'impact de l'agriculture sur le système naturel (Turner & Meyer, 1991; Tricart & KiewietdeJonge, 1992). En outre, les variables comme le temps et l'espace sont étudiées d'abord pour la description de l'évolution des symptômes de dégradation, et puis comme des variables explicatives pour l'analyse des causes et des effets de la dégradation. Les flèches qui lient les différentes cases du modèle indiquent les interactions et les mécanismes de "feed-back". En effet, le modèle

Fig.1 LES RELATIONS DE CAUSES A EFFETS DANS LES PROCESSUS DE DEGRADATION DES TERRES DANS LE SAHEL



explique donc les interactions dynamiques entre l'environnement, le milieu humain, les individus et leurs comportements.

L'analyse des causes et des effets de la dégradation des terres doit être menée aux niveaux global, régional, national et local afin de pouvoir identifier les différentes catégories de causes, c'est-à-dire, de distinguer entre les variables spécifiques aux sites et les variables plus générales.

3. RESULTATS DES ENQUETES PRELIMINAIRES

Les caractéristiques de la zone enquêtée

Le modèle a été appliqué dans la province d'Oudalan au Burkina Faso. Ce paysage est caractérisé par des systèmes dunaires longitudinaux créés pendant des phases climatiques plus arides et qui ont été fixés par la végétation (Courel, 1977). Ces anciens systèmes dunaires constituent les plus importantes terres de culture du mil de la région, alors que les terres interdunaires sont en général exploitées pour le pâturage (Boulet, 1976; Marchal, 1983).

Le climat est caractérisé par une longue saison sèche d'octobre à mai et une courte saison de pluie de juin à septembre. Les précipitations sont, comme dans tout le Sahel, très irrégulières avec grandes variations spatiales et temporelles. La moyenne des précipitations pour la période de 1961 à 1990, à la station météorologique de Dori était 481 mm, alors qu'elle s'élevait à 525 mm pour la période de 1931 à 1960.

Les principales ethnies de la province de l'Oudalan sont les Touareg, Bella et FulBe. Il y a aussi quelques Sonray, Djerma, Hausa Gourmanche et Mosse. Dans les cinq villages enquêtés pendant les mois de novembre et décembre 1993, il n'y a que des FulBe. Les FulBe sont composés de FulBe RimBe et de FulBe RimayBe. Les premiers sont des aristocrates, éleveurs ou dirigeants religieux, sont rarement des cultivateurs. Les derniers, qui sont les anciens captifs des premiers, s'occupent de l'artisanat et constituent la main-d'oeuvre des autres pour les travaux lourds comme l'agriculture. Ils ont aussi parfois quelques têtes de bétail. Presque la quasi-totalité des populations de l'Oudalan sont musulmans (Barral, 1977).

Sur les 14 personnes choisies dans les cinq villages concernés, 9 sont FulBe RimBe et 5 sont FulBe RimayBe. Afin de pouvoir noter les connaissances sur les changements observés au niveau de l'environnement, à long terme, seules les personnes âgées de plus de 30 ans ont été incluses dans l'étude. Leurs âges varient entre 31 et 76 ans. 8 d'entre elles ont fait l'école Coranique, tandis que aucune n'a suivi l'école primaire. Trois n'ont jamais quitté la région, tandis que quatre ont suivi les migrations saisonnières vers les pays côtiers, quelques-uns d'entre eux plus de 10 fois.

Le principal problème

La première question posée concerne le problème principal auquel le village se confronte. 13 des 14 personnes enquêtées ont indiqué que l'eau, dans ses diverses formes, est le plus grand problème parce qu'elle est devenue moins accessible, le niveau

dans les puits, forages, mares ont baissé, ainsi que la pluviométrie, par conséquent les campagnes de cultures ont échoué. Un RimayBe de 39 ans du village Ménégoû a remarqué: " Notre problème principale est le manque d'eau. Elle est insuffisante pour l'agriculture ainsi que pour les troupeaux, l'eau ne suffit même pas pour nos besoins domestiques". Ces réponses montrent que les paysans sont conscients de la détérioration des conditions hydrologiques (D), et correspondent bien aux déficits notés par observations scientifiques (A).

Seule une personne a répondu différemment, elle a indiqué que l'eau et la nourriture manquent. Il vit isolé avec sa famille hors du village Boussey. Sa famille est l'une des deux plus pauvres choisies pour l'enquête. Son père, un sonray de Gao (Mali), avait marié une femme FulBe RimayBe de Boussey-Barabé, où il s'est d'abord installé, mais plus tard il a été obligé de quitter ce quartier. Le père avait plusieurs têtes de bétail et a tout perdu avec la sécheresse des années 1970 et 1980. Le chef de famille n'a plus de possibilité pour s'octroyer d'autres terres et nourrir sa famille agrandissante, ses 5 frères, leurs femmes et leurs enfants. Pour s'en sortir, deux des frères part à Abidjan à chaque saison sèche (un voyage de 1 500 km), l'un pour fabriquer et vendre des paniers, l'autre pour louer une charette et pour vendre de l'eau, ce qui leur permet de gagner 30 - 40 000 FCFA par mois brut. Cette famille dépend donc de l'économie régionale pour survivre (B).

Détérioration de l'environnement

Les changements de la végétation ont été décrits en détail par les paysans (tableau 1). Ils ont remarqué que "les arbres meurent", que "plusieurs espèces d'arbres ont disparu, dont quelques-uns étaient très utiles". Ils ont également remarqué que le couvert végétal s'est détérioré. Par rapport à la qualité du sol, plusieurs ont noté que "le sol est épuisé" et que sa productivité a diminué.

Pour ce qui concerne l'érosion, ces réponses montrent que les paysans ont remarqué son intensification:

- "le sable a commencé par bouger vers les dépressions et les cours d'eau",
- "le sable couvre les rivières et les mares",
- "la surface du sol est devenue dure",
- "l'eau ne s'infiltré plus dans le sol, mais elle coule à la surface",
- une augmentation de l'impact du vent a été perçue aussi comme un problème important.

Quelques paysans ont également noté que l'épaisseur de la couche arable a été réduite et que le sol, avant, était plus sombre, ce qui indique une diminution de l'humus dans le sol.

Les descriptions faites par ces paysans correspondent (E) aux observations notées par les scientifiques sur les symptômes de dégradation des terres, surtout pour ce qui concerne la détérioration du couvert végétal et les processus d'érosion, la région (Grouzis, 1988; Krings, 1979; Chamard & Courel, 1979; Lindqvist & Tengberg, 1993; Tengberg, 1994).

Un marabout (1) (RimBe de 70 ans) qui a beaucoup d'influence dans la province a remarqué que l'une des conséquences de la détérioration de l'environnement c'est la prolifération. Il a précisé que "aujourd'hui, tout le monde est malade".

Afin de pouvoir évaluer les connaissances, qu'ont les paysans sur les symptômes de la dégradation des terres (E) plus précisément, 16 visites de terrains ont été faites en présence des paysans (figure 3). La localisation exacte de chaque site étudié était déterminée avec une exactitude de 30 m grâce au système global de position (GPS). Sur chaque site, on a demandé aux paysans s'ils ont remarqué des changements au niveau du couvert végétal ainsi qu'au niveau des propriétés du sol et, si oui, de décrire le paysage avant le changement et de dire quand ce changement a eu lieu. Les observations faites sur ces différents sites visités ont été comparées avec des analyses faites préalablement sur l'évolution du couvert végétal, grâce aux photos aériennes et aux images satellitaires (Lindqvist & Tengberg, 1993) et avec des études sur la dégradation du sol (Tengberg, 1994) (C).

Les changements décrits par les paysans (E), en particulier la disparition des arbres et la formation des surfaces nues (des cuirasses), sont en conformité avec les changements qui ont été observés sur 13 des 16 sites visités, voir figures 4 et 5 (C). Sur trois sites, l'analyse des images montre que le processus de dégradation est moins accentué que ce que les paysans ont décrit. On a conclu que cette divergence peut être dû aux erreurs d'interprétation des images. En effet, après vérifications sur le terrain et grâce aux survols de reconnaissance, on a noté une

correspondence approximative entre les images et la situation observée sur le terrain (Lindqvist & Tengberg, 1993). Les surfaces très dégradées ont donc tendance à être sous-estimées dans l'interprétation des images.

Dans la zone de Ménékou-Bidi, plusieurs surfaces localisées sur une ancienne dune ont été restaurées entre 1955 et 1981 (figure 5). Un vaste terrain restauré situé au sud de Bidi a été identifié, il y avait là des champs qui ont été abandonnés à cause de leurs faibles rendements. Le rétablissement du couvert végétal prouve que ces tains terrains sont encore capables de se reconstituer naturellement (H).

Changement du climat

La perception des causes physiques par les paysans (D), par exemple la pluviométrie et le vent, est également assez bonne (tableau 2). Certains paysans ont remarqué que le vent souffle plus fort, que la pluviométrie a baissé et que le vent, ces dernières années, transporte plus de poussière qu'avant. Cette dernière observation est en conformité avec l'augmentation des fréquences de tempêtes de poussière observée partout dans le Sahel (Littman, 1991) (A). Concernant l'impact du vent sur le sol, d'autres paysans ont noté qu'il est plus fort pendant la saison pluvieuse: cela correspond aux observations qui disent que l'érosion éolienne est plus forte dans la région quand l'humidité du sol est faible et que la vitesse du vent élevée, c'est-à-dire au début de la saison des pluies (Tengberg, 1994).

La répartition de plus en plus irrégulières des pluies, dans le temps et dans l'espace, constituent également un sujet d'inquiétude pour les paysans. La campagne de cultures de 1993 a été un échec total à Bidi. A Ménékou, situé à quelques kilomètres de là, les pluies ont tombé beaucoup mieux qu'à Bidi. Les données pluviométriques relevées en 1993 dans six stations voisines "non officielles", mises en place par le service provincial de l'agriculture, ont été analysées: des tracés des isohyètes de la région étudiée basées sur ces données et sur celles des données de la station météorologique de Dori, on note que, en 1993, il y a eu de grandes variations pluviométriques caractérisées par une augmentation progressive des quantités de pluies d'ouest en est, donc plus de pluies à Ménékou qu'à Bidi (figure 6). Cela montre qu'il y a une bonne conformité entre les analyses scientifiques (A) et la perception des paysans pour ce qui concerne les variables physiques (D).

Les causes de la dégradation des terres

La quasi-totalité des personnes enquêtées ont attribué les causes de la dégradation à Dieu (Allah) les uns n'ont pas su quoi répondre, d'autres pensent que la dégradation est un mauvais sort que Dieu a jeté à l'homme pour le punir de sa désobéissance : les guerres, le respect des vieux par exemples. Un marabout de Ménékou a expliqué que la disparition des arbres a entraîné la réduction des pluies. Sa maison est encerclée des plants bien protégés, que lui et ses élèves (de l'école Coranique) ont planté. Ces divergences montrent l'importance de la détermination de la perception des causes chez les populations (F) afin de

pouvoir acquérir la motivation nécessaire pour combattre la dégradation (J). Cependant, le cas du marabout semble être une exception. La perception de la dégradation comme un mal inévitable peut être décélée dans le commentaire d'un marabout qui n'est pas inclus dans l'enquête: "Les vieux ont prédit de ces changements depuis longtemps. C'est écrit dans le Coran que les pluies seront rares et que seuls des arbrisseaux épineux vont pousser".

Cela montre qu'il y a un grand écart entre les explications scientifiques des causes de la dégradation (A et B) et la perception ou la compréhension des causes chez les populations (F) de la région étudiée. La raison de l'échec de nombreux projets de développement dont l'objectif est de lutter contre la dégradation des terres (grâce, par exemple, à la méthode Gestion Conservatoire des eaux et des sols (GCES) proposée par Roose (1987)) peut, en partie, être attribuée au fait qu'ils ne tiennent pas compte des points de vue des populations concernées.

4. CONCLUSIONS

L'étude de cas décrite dans cette communication montre nettement que la connaissance des paysans sur les symptômes de la dégradation (E) et sur les variables physiques (D), les variations spatiales des pluies par exemple sont très proches de la logique scientifique (A et C). De plus, les observations des paysans sur les variables climatiques, le cas de l'augmentation des fréquences de tempêtes de poussière par exemple sont conformes avec les résultats de notre étude. Les processus de l'érosion étaient

également convenablement décrits, par exemple le déplacement de la terre arable dans les dépressions, l'endurcissement du sol en surfaces et la réduction de l'infiltration des eaux dans le sol.

Cependant, malgré cette connaissance détaillée des symptômes de la dégradation et des variables qui interviennent, les populations ne comprennent pas les liens entre ces variables et ces symptômes, ils pensent que ces événements sont isolés. Dieu (Allah) est, selon les populations, compris comme la seule force dynamique (qui influence ces événements) et exerce une influence sur tous les facteurs de dégradation: l'homme, la nature et les processus de dégradation des terres. Par conséquent ces populations ne se prennent pas pour des acteurs, ni dans un sens positif, ni un sens négatif, ce qui explique leur passivité face aux problèmes environnementaux auxquels ils sont confrontés. Ainsi, l'un des domaines d'intervention doit rapprocher l'écart entre les explications scientifiques et les compréhensions des paysans. Une telle approche devrait être incluse afin d'engager tous les agents extérieurs dans les efforts de développement et de faire prendre conscience aux populations de leur propre rôle dans la gestion de la terre, parce que, selon le modèle, le lien faible semble être la perception des causes. Avec une telle prise de conscience, les populations peuvent être motivées à investir dans la terre et à accroître leur contribution en main d'oeuvre et en capitaux si les conditions politiques et économiques le permettent.

Les variables humaines les plus importantes à prendre en compte dans la lutte contre la dégradation des terres sont en relation

avec les régimes fonciers, la gestion des ressources en eau et des ressources naturelles, la politique appliquée pour fixer les prix des produits agricoles, à l'accès aux marchés, à l'importance accordée aux mesures de conservation des eaux et du sol et à la motivation d'exécuter ces activités. Quant aux variables physiques, il est essentiel de les évaluer et d'approfondir les connaissances sur les mécanismes d'interaction (feedback) entre les symptômes de dégradation et les variables physiques: par exemple il conviendrait de déterminer l'influence des changements du couvert végétal sur le climat. L'analyse des variations spatiales et de l'échelle des symptômes de dégradation sont également importante dans cette étude.

A cette première application, le modèle proposé s'est montré être un outil utile pour déterminer les liens faibles entre les explications scientifiques et traditionnelles sur les processus de dégradation des terres. On peut dire que ce modèle va faciliter l'identification des centres (des foyers) d'analyse futurs et celles des actions à mener dans la lutte pour freiner, ou même éradiquer, la dégradation des terres.

(1) le marabout est un dirigeant religieux, il commente le Coran et donne des conseils aux populations

CONTRIBUTION TECHNIQUE SUR L'EXPERIENCE PARTICIPATIVE

DE L'AMENAGEMENT DE LA VALLEE DE FANDALE (BAKEL)

[SENEGAL].

Par Cheikh Tidiane NDIAYE¹

RESUME

L'objectif de la présente communication est de contribuer au processus de circulation de l'information dans le domaine de la conservation des sols par le biais des 11^{èmes} journées organisées par le RESEAU EROSION.

Son centre d'intérêt est d'exposer sur le plan technique et social comment le projet PROBOVIL est arrivé avec les populations concernées, à engager l'aménagement de la vallée de Fandalé.

En effet, depuis 1982, le PROBOVIL a entrepris un programme de CES/DRS suivant deux méthodologie différentes :

- La première de 1982 à 1986 était axée sur des travaux de grande envergure (retenue collinaire, banquettes, etc.), avec l'utilisation de moyens mécanisés (bulldozer, D6, etc.).
- La seconde de 1986 à 1992 s'est orientée vers de micro-réalisations simples utilisant des moyens légers (pelles, piques, etc.) et facilement reproductibles par les paysans (cordons de pierres, diguettes, etc.).

C'est justement la dernière méthodologie s'appuyant sur une approche participative qui sera l'objet de la présente communication à travers laquelle nous développerons deux aspects majeurs :

- Comment est née l'idée de l'aménagement de la vallée de Fandalé et quel type d'organisation sociale élaborer ?
- Quelles techniques utiliser pour que l'aménagement du bassin versant puisse être profitable à chaque exploitant ?

Mots clés : Erosion, Bassin versant, Approche participative, Aménagement, Domestication des eaux.

¹ Ingénieur Forestier, Chef de la Section CES/DRS au Probovil/Bakel de 1987 à 1991,

Chef du Bureau Agroforesterie et de la Conservation des Sols à la Direction des Eaux, Forêts, Chasses et de la Conservation des Sols/Dakar à partir de mars 1994.

0) AVERTISSEMENT

Cette communication a été réalisée dans le cadre des activités du projet de "Boisement Villageois intégré de Bakel [PROBOVIL-UNSO/SEN/89/X08], exécuté par la Direction des Eaux, Forêts, Chasses et de la Conservation des Sols, sous tutelle du Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature.

Elle a été conçue comme contribution pour les 11èmes journées du RESEAU EROSION, organisées au centre ORSTOM de Paris du 20 au 22 septembre 1994, avec comme thème central :

" ENVIRONNEMENT HUMAIN DE L'EROSION "

La participation de l'Auteur du présent article à ces journées a été financée par le Projet UNSO/SEN/89/X08.

L'ensemble des informations résumées dans ce document constitue six années d'expérience que le PROBOVIL de Bakel a accumulé dans le domaine de la conservation des sols.

1) INTRODUCTION

Depuis plus de deux décennies, les péjorations climatiques, conjuguées au dysfonctionnement des systèmes de production et à la pression démographique, ont engendré un processus de dégradation des écosystèmes en général et de l'érosion des sols en particulier qui a comme corollaire la baisse des rendements agricoles.

Dans ce contexte, et surtout pour un pays à vocation agricole comme le Sénégal, il est urgent d'agir, d'organiser et de gérer le système d'exploitation du patrimoine foncier afin de pouvoir subvenir aux besoins alimentaires actuels et futurs des populations.

C'est dans ce cadre que le PROBOVIL, avec les populations concernées, s'est engagé à développer des "paquets techniques" simples pour la gestion des terres et la domestication des eaux de ruissellement. Le but d'un tel programme est de contribuer au développement de l'économie rurale par l'amélioration des rendements agricoles pour une production soutenue dans le sens du maintien du niveau de vie des populations bénéficiaires.

Aujourd'hui, le modèle d'aménagement entrepris commence à faire tâche d'huile et par ailleurs, crée un intérêt d'élargissement vers la protection des zones d'habitation et des pistes de production qui sont tout aussi menacées par le processus d'érosion. Notons au passage, la naissance d'une organisation inter-villageoise qui s'est bien inspirée de l'expérience du Projet en matière de CES/DRS.

II) APERÇU DU PROBOVIL

Le PROJET de BOisement VILLageois intégré (PROBOVIL) comprend trois antennes : Louga, Mbacké et Bakel, financées par l'ASDI/Suède, avec l'UNSO comme agence d'exécution. Il s'inscrit dans le cadre plus général du programme de lutte contre la désertification.

L'antenne de Bakel qui concerne la présente communication est située au Nord-Est du Sénégal dont les caractéristiques principales sont :

- Une pluviométrie variant entre 300 à 800mm/an,
- Un climat de type sahélien au nord et sahélo-soudannien au sud,
- Une production forestière faible avec des formations de type savane arborée,
- Des sols ferrugineux tropicaux lessivés très sensibles à l'érosion hydrique.

Actuellement, le PROBOVIL/Bakel, qui depuis 1982 a évolué dans la zone, vient de terminer sa troisième et dernière phase en décembre 1992. Durant son existence, le Projet a légué aux populations une expérience assez appréciable surtout en matière de CES/DRS.

III) PRESENTATION DE LA VALLEE DE FANDALE

31) Le milieu physique :

Située à la sortie Ouest de la ville de Bakel, la vallée de Fandalé couvre une superficie de 900ha. Elle est soumise à une érosion pluvieuse intense qui est le résultat d'un relief prononcé (pente > 15%) et de la disparition progressive de la couverture végétale protectrice. Par conséquent, le ruissellement s'est accentué au détriment de l'infiltration, entraînant la perte croissante d'importantes quantités de terres fertiles et un appauvrissement des sols. La répartition par vocation des terres se résume au tableau suivant :

Type et vocation des terres S=900ha :

Source : Schéma directeur pour l'aménagement de la vallée de Fandalé 1993.

| Zones | Types de sols | poucent. | Observations |
|-------|---------------------------------|----------|---|
| I | Sols de collines et de versants | 53% | Zone de protection, mise en défens. |
| II | Sols de glacis | 35% | Zone de culture, très sensible à l'érosion. |
| III | Sols de plaines alluviales | 12% | Zone de culture, inondation temporaire. |

32) L'IDEE D'AMENAGEMENT

Deux contraintes majeures se posent au niveau de la vallée :

a) Au moment d'un événement pluvieux :

- * Immédiatement après une pluie, les exploitants des zones I et II, parviennent à labourer leurs parcelles, pendant que ceux de la zone III subissent l'effet de l'inondation temporaire et attendent le retrait des eaux pour exécuter le travail du sol.
- * Deux à trois jours après la même pluie, les zones I et II s'assèchent au point tel que le travail du sol devient impossible ; en ce moment là, les exploitant de la zone III commencent leurs activités culturelles.

b) La multiplicité des acteurs :

La vallée constitue une zone où cohabitent des agriculteurs et des éleveurs. Cette situation sans dégénérer en conflit réels, ne facilite pas l'exécution d'un plan d'aménagement du bassin versant.

C'est dans ce contexte qu'un exploitant, MM. Faïnké SYLLA a eu l'idée de saisir le responsable du Groupe de Recherches pour l'Eco-Développement (GRED/ONG). Son objectif était de trouver une façon de domestiquer les eaux de ruissellement.

Compte tenu de la taille du bassin versant et surtout de la complexité du processus d'érosion, le GRED suggère une collaboration entre les exploitants, le GRED et le PROBOVIL avec une définition du rôle et de la responsabilité de chaque acteur.

33) UN AMENAGEMENT CONCERTÉ

Après cette phase d'identification, les exploitants, le GRED et le PROBOVIL entreprennent une première séance de parcours de l'ensemble du bassin versant. C'était le moment où, sur le terrain, chaque acteur a livré des idées sur le passé, le présent et le futur de la vallée. (Une centaine d'exploitants ont pris part à cette visite de reconnaissance des problèmes du milieu).

A la deuxième rencontre, le GRED et le Projet ont reconstitué la vallée sous forme de maquette. En simulant des pluies par des arrosoirs, les exploitants devaient déterminer les problèmes érosifs et définir leurs solutions potentielles.

En fin, la troisième série de rencontre déterminait le rôle et la responsabilité de chaque acteur :

PROBOVIL : Aménagement de protection du haut bassin, appui en petits matériels,

GRED : Aménagement de production du bas bassin,
Exploitants : Exécution et suivi des travaux.

A partir de ce moment, le Comité des Exploitants de la vallée de Fandalé, COMEF (146 membres en 1988, puis 155 en 1992) est créé, comportant un bureau dirigeant composé de différents postes de responsabilité : (responsables des ouvrages, des cultures, des plantations, etc.). Il faut noter la prédominance des femmes (93%), liée à la structuration de la population. Celles-ci exploitent de petites parcelles (0,5ha) contre 5 à 13ha par homme, ce qui signifie qu'un homme occupe 10 fois plus d'espace qu'une femme.

IV TECHNIQUES UTILISEES

Concernant l'intervention technique, deux modèles ont été proposés :

* Par le GRED :

Domestication totale de l'eau par l'installation d'un grand barrage central (180 à 200m), renforcé par des barrages secondaires au niveau des gorges de marigots :
MODELE RESEAU D'ABSORPTION TOTALE.

* Par le PROBOVIL :

Domestication partielle de l'eau par un système par un système de petits ouvrages filtrants :
MODELE DE RESEAU DE DIVERSION.

Par rapport aux avantages et inconvénients de chaque modèle, celui du PROBOVIL a été retenu par les exploitants pour des raisons d'équité dans l'utilisation des eaux de ruissellement ; le modèle GRED a l'inconvénient majeur de privilégier certaines zones, mettant d'autres dans une situation de sécheresse.

41) LES TYPES d'OUVRAGES

411) Les cordons de pierres :

Placés dans les zones de pente moyennes (piedmont, plateau), les cordons de pierres ont une hauteur de 30cm, avec un renforcement au niveau des points préférentiels de passage d'eau.

412) Les diguettes en terre :

Elles sont utilisées dans la basse vallée pour préserver les jeunes semis contre le déchaussement. Il y a des diguettes en terre avec un pavage pierré constituant leur protection contre l'effet splash.

Certaines diguettes en terre sont continues, d'autres sont interrompues par un système de cloison pour évacuer le surplus de l'écoulement (zones limono-argileuses).

413 barrages en pierres sèches :

C'est le modèle assez efficace dans la haute vallée surtout là où le lit des marigots sont rocheux. Ils constituent le premier dispositif de freinage du ruissellement et sont installés en "piles de batteries".

414) Les digues filtrantes :

Ce type d'ouvrage en pierre comporte forcément un noyau en gabions dans sa partie centrale, ses ailes sont prolongées vers le talus par des pierres libres. Ce type d'ouvrage convient au niveau de la basses et moyenne vallée.

415) Autres ouvrages :

Des tranchées de reboisement (2mx0,5x0,5) sont installées au sommet des versants de collines pour retenir la partie excédentaire de l'écoulement servant d'appoint au reboisement de protection.

416 Réalisations physiques :

| | |
|------------------------------|-------|
| - Barrages filtrants : | 15 |
| - Diguettes en terre : | 290m |
| - Cordons de pierres : | 4300m |
| - Tranchées de reboisement : | 120. |

La lutte mécanique est renforcée par une action biologique :

Plantation :

| | |
|----------------------------|--------------|
| - sur tranchées : | 120 plants, |
| - sur diguettes en terre : | 550 plants, |
| - le long de marigot : | 150 plants, |
| - sur courbes de niveau : | 1000 plants. |

42) Volet formation :

Pour assoir l'ensemble de ces actions, le Projet a formé les populations sur les tracés de courbes de niveau, la construction des barrages, le tressage de gabions et sur l'aménagement des champs permettant l'exécution des travaux par elles-mêmes. Cette formation est en permanence consolidée par des séances de recyclages.

V) CONCLUSION

Il est difficile de tirer une conclusion qui serait hâtive. Le moins que l'on puisse dire, c'est que compte tenu de l'engagement des exploitants pour restaurer leurs terres, l'espoir d'en arriver à des résultats certains et durables peut s'expliquer par la participation de ceux-ci durant les phases d'identification, d'exécution et de suivi du schéma d'aménagement.

Par ailleurs, il faudra retenir qu'il n'existe pas de solutions miracles, ni de recettes universelles. C'est seulement à travers une approche participative qu'un modèle de gestion ou d'aménagement s'avère efficace, dans la mesure où les bénéficiaires se l'approprient.

Cette méthodologie d'approche sera positivement influencée par un encadrement technique rapproché qui revitalise à tout point de vue l'espoir des exploitants.

En fin, il faudra noter qu'au Sénégal, les techniques de CES/DRS sont naissantes, mais leur combinaison judicieuse avec les principes d'aménagement agro-sylvo-pastoraux, pourrait contribuer favorablement à la gestion des écosystèmes déjà assez fragile du pays.

@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@
@@@@@
@@
@@
@@

BIBLIOGRAPHIE :

- DUBOIS Jacques 1988, Note sur la vallée de Fandalé en vue de son aménagement
- NDIAYE C.T. et HALLBERG M.: Juin 1989, Aménagement d'un bassin versant, la vallée de Fandalé, document de travail, juin 89.
- PROBOVIL 1987, Projet d'accord entre le COMEF, le GRED et le PROBOVIL.
- Séminaire Régional de Koudougou (Burkina Faso) : Août 1990, Agroforesterie et Conservation des Eaux et des Sols, exemple de Bakel.

11ème JOURNEES DU RESEAU EROSION
"L'environnement humain de l'érosion"
20 - 22 septembre 1994
ORSTOM / E.N.S. St. CLOUD-Université PARIS VII

L'EVALUATION ECONOMIQUE DES MESURES DE CES AU SAHEL¹

Jan de Graaff et Leo Stroosnijder

Université Agronomique de Wageningen;
Nieuwe Kanaal 11, 6709 PA Wageningen, Pays-Bas.

Résumé

Dans le cadre des évaluations économiques des mesures de conservation des eaux et du sol, on propose d'utiliser des méthodes et modèles existant pour déterminer les effets de ces mesures sur l'érosion et sur les bilans d'eau et d'éléments nutritifs et ensuite les effets des changements sur les rendements. Dans ce texte on présente des 'feuilles de calcul', y incluant ces bilans et effets, afin de calculer les bénéfices des mesures de CES. Un exemple concerne l'évaluation économique des cordons pierreux au Burkina Faso.

Mots-clés.

Erosion, évaluation économique, mesures anti-érosives, coûts-bénéfices, bilan d'eau, bilan d'éléments nutritifs.

1. Cette recherche, dans le cadre d'un projet de recherche sur l'évaluation économique de la conservation des eaux et du sol et du développement des bassins versants, est supportée par la Fondation néerlandaise pour l'avancement de la recherche tropicale (WOTRO).

L'analyse économique des mesures de CES

Les mesures de conservation des eaux et du sol (CES) ont premièrement pour but de réduire l'impact négatif de l'érosion, ce qui constitue surtout en pertes d'eau, et en pertes des éléments nutritifs et de la matière organique. L'érosion entraîne aussi des effets en aval, par exemple dû à la sédimentation et aux écoulements. Quand on ignore ces effets externes, les coûts d'établissement et de maintien des mesures doivent être compensés par les pertes de productivité évitées. Pour les mesures à long terme (diguettes, banquettes, cordons pierreux) elles concernent les pertes évitées pendant la durée de vie de ces mesures, c.a.d. une période de 10 - 15 ans.

Les effets des mesures de CES sont ici divisés en trois catégories, basés sur la manière dont les pertes de productivité sont réduites:

- en évitant la réduction de la zone enracinée
- en retenant l'eau
- en réduisant les pertes d'éléments nutritifs et de la matière organique

Chacun de ces trois aspects seront analysés séparément.

CES et la zone enracinée

Une méthode, disons traditionnelle, pour estimer les bénéfices à long terme des mesures CES attire l'attention sur la diminution de la zone enracinée (de Graaff, 1993). Cette méthode est basée sur l'hypothèse qu'il existe une certaine relation entre les rendements des cultures et la profondeur du sol. Il suffit de connaître la profondeur du sol actuel, le taux d'érosion annuel et les rendements moyens pour plusieurs profondeurs de sol. Les niveaux de profondeur les plus importants sont ceux pour lesquels le développement des racines est bloqué et les rendements commencent à baisser (D_m en Figure 1), et ceux pour lesquels on ne peut plus s'attendre à aucun rendement (D_z). Pour cette méthode, il faut un certain nombre d'analyses sur les cultures principales, afin d'estimer cette relation entre la profondeur du sol et les rendements dans des zones agro-écologiques homogènes (Gauchon, 1981).

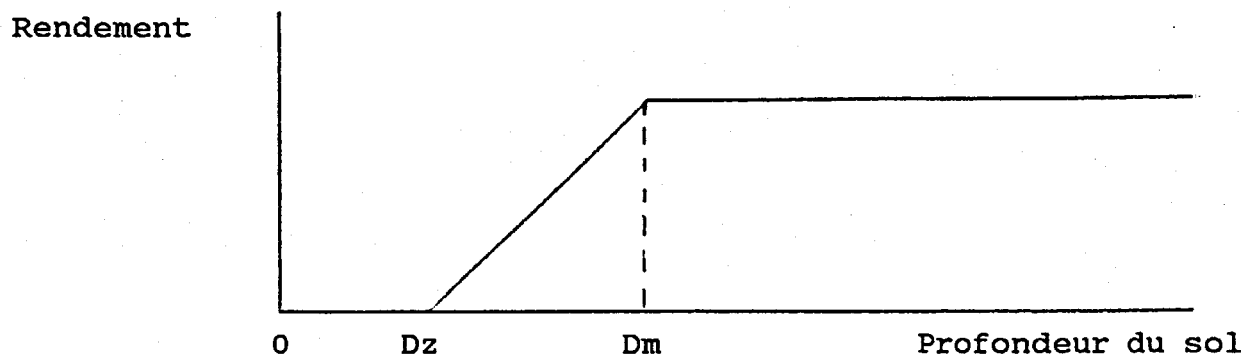


Figure 1. Relation simplifiée entre le rendement des cultures et la profondeur du sol, sur des sols exposés à l'érosion. (D_m est la profondeur minimale sans effet sur les rendements et D_z la profondeur sans aucun rendement: zéro).

Rendement/Revenues

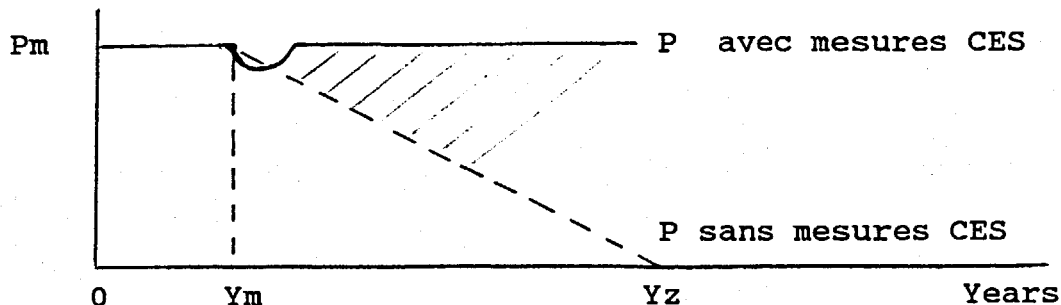


Figure 2. Production et revenus nets sur terre en pente, avec et sans mesures de CES. (*Ym est l'année où la profondeur D_m a été atteinte et Yz est l'année où il n'y a plus aucun rendement*).

Avec cette méthode on suppose que les pertes physiques du sol constituent le facteur principal de la régression de la productivité. Quand il manque de la recherche sur l'érosion et sur les relations rendement-profondeur du sol on suppose souvent simplement que le déclin annuel des rendements constitue un certain pourcentage (par exemple 2 %). En ce qui concerne la situation avec des mesures de conservation, la méthode n'est pas très claire. On suppose que les rendements resteront constants, bien que l'on réalise que les rendements peuvent, après une baisse au début à cause des travaux, bien augmenter ensuite à cause d'une meilleure utilisation de l'eau et des éléments minéraux.

Ce sont surtout ces derniers effets (les pertes en eau et en éléments minéraux) qui déterminent le déclin ou la restauration de la productivité, suite à l'érosion et aux mesures de CES. Etant donné qu'on a déjà développé des méthodes et modèles pour déterminer les effets de changements des bilans d'eau et des bilans d'éléments nutritifs sur ces rendements (Stroosnijder et al, 1994), il faut mieux essayer d'utiliser ces méthodes dans l'évaluation économique des mesures de CES.

CES et le bilan d'eau.

Surtout dans les zones semi-arides avec leur pluviométrie limitée et aléatoire, le but des mesures de CES est de réduire l'impact des gouttes de pluie et d'augmenter l'infiltration d'eau dans le sol. Ainsi les plantes peuvent profiter d'une meilleure disponibilité d'eau. Pour déterminer l'efficacité des mesures de CES, on doit d'abord voir comment la mesure influence la disponibilité de l'eau pour la plante (bilan d'eau) et ensuite comment la plante réagit sur cette plus grande humidité ("response function"). Le bilan d'eau peut être décrit simplement comme: $P - R = ET + D + dS$, dont P constitue la pluviométrie, R le ruissellement (net), ET l'évapotranspiration, D la percolation (drainage) et dS le changement de l'eau stockée dans le profil enraciné.

On devra déterminer de manière quantitative, comment les mesures influencent les différents facteurs qui réduisent le ruissellement et augmentent l'infiltration. Après l'infiltration pas toute l'eau est disponible. Cette disponibilité dépend de la texture du sol. Withers et Vipond (1974) indiquent les valeurs moyennes suivantes (en mm par m de profondeur) pour la disponibilité d'eau pour les différents types de sols: Argileux 135 mm; Argilo-limoneux 150 mm; Sablo-argileux 120 mm Sableux 55 mm; Sableux fins 80 mm.

Les cultures réagissent sur un manque d'eau d'une manière indiquée par l'équation de Doorenbos et Kassam (1979):

$$1 - Y_a / Y_m = k_y (1 - E_{Ta} / E_{Tm}), \text{ dans laquelle}$$

Y_a et Y_m constituent les rendements actuel et maximal;
 E_{Ta} et E_{Tm} représentent l'évapotranspiration actuelle/maximale;
 k_y est le facteur de réaction ("yield response factor").

Ce facteur de réaction dépend de la culture et du stade de développement (Growing stage, GS) et dans beaucoup de cas est basé sur des expériences (Doorenbos et Kassam, 1979). Pour un certain climat, culture et période de croissance, l'évapotranspiration maximale est $(E_{Tm}) = K_c * E_{To}$. K_c est le coefficient de la culture (qui varie également par stade de développement) et E_{To} constitue l'évapotranspiration de référence et peut être calculée avec des données météorologiques. Des modèles de simulation de la croissance sont souvent utilisés pour analyser la réaction des cultures sur la (non-)disponibilité de l'eau. Mais dans le cadre de cette évaluation des activités de CES une méthode plus simple est envisagée. Une feuille de calcul ("spreadsheet") est développée afin de déterminer les périodes critiques de manque d'eau (souvent durant la floraison) et les réductions de rendements qui en sont le résultat.

Ensuite, on détermine à quel point les mesures de CES peuvent contribuer à une plus grande infiltration et peuvent réduire les manques d'eau et augmenter les rendements. On a besoin des données suivantes ("inputs"): la profondeur du sol enraciné et la disponibilité d'eau par mètre de profondeur qui, ensemble, déterminent la quantité maximale de l'eau disponible (SM_m); la pluviométrie (P) et un facteur de réduction pour l'interception et le ruissellement (de surface) afin de connaître la pluviométrie effective (P_{ef}); l'évapotranspiration de référence (E_{To}), et les facteurs K_c et K_y pour les cultures concernées pendant leurs stades de développement (GS), avec lesquelles on peut calculer la "reaction". La saison pour les cultures annuelles commence normalement au moment où la pluviométrie effective dépasse la moitié de l'évapotranspiration potentielle ($P > 0.5 * E_{Tm}$). Les calculs résultent ("output") des réductions (Y_{red} or $1 - Y_a / Y_m$) de rendements de référence (Y_{ref}).

A partir de la première période quand E_{Tm} dépasse P_{ef} (après la plantation), les déficiences accumulées en eau ($APWL$) sont présentées pour les périodes déficitaires qui suivent. Ensuite la disponibilité actuelle en eau (S_{Ma}) est calculée (Thorntwaite et Mather, 1955): $S_{Ma} = SM_m * \text{Exp}(-APWL / SM_m)$. L'évapotranspiration actuelle (E_{Ta}) est égale à E_{Tm} , quand il y a un surplus de pluie ($P_{ef} > E_{Tm}$), et est d'autrement égale à la pluviométrie effective moins le changement en eau dans le sol (dSM). Quand E_{Ta} est connue, on applique la méthode Doorenbos and Kassam (1979) afin de déterminer la réduction de rendement (Voir Figure 3 pour situation sans et avec mesures).

 Calculation of the water balance and yield reduction WITHOUT MEASURES

Location:Kaya Crops: Sorghum Prec:aver Runoff: Yref 100
 Burkina F Year: P>25:0.40 P Yact 82
 Soiltype Dept Sa Smm P<25:0.40 P Yp 81
 0.7 120 84 Mode: 2 (Sma does not reach Smm)

| | P | Rof | Pef | GS | ETO | Kc | ETm | Psal | APWL | Sma | dSM | ETA | D | Ky | Yred |
|-----|-----|-----|-----|----|------|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|----|------|------|
| jan | 0 | 0 | 0 | | 187 | 0.1 | 9 | -9 | 181 | 10 | -1 | 1 | 0 | 0.0 | 0.00 |
| feb | 0 | 0 | 0 | | 188 | 0.1 | 9 | -9 | 190 | 9 | -1 | 1 | 0 | 0.0 | 0.00 |
| mar | 0 | 0 | 0 | | 216 | 0.1 | 11 | -11 | 201 | 8 | -1 | 1 | 0 | 0.0 | 0.00 |
| apr | 8 | 3 | 5 | | 178 | 0.1 | 9 | -4 | 205 | 7 | -0 | 5 | 0 | 0.0 | 0.00 |
| may | 48 | 19 | 29 | i | 155 | 0.4 | 62 | -33 | 239 | 5 | -2 | 31 | 0 | 0.2 | 0.10 |
| jun | 105 | 42 | 63 | d | 136 | 0.7 | 95 | -32 | 271 | 3 | -2 | 65 | 0 | 0.6 | 0.19 |
| jul | 156 | 62 | 94 | d | 129 | 0.7 | 90 | 3 | 0 | 7 | 3 | 90 | 0 | 0.6 | 0.00 |
| aug | 214 | 86 | 128 | m | 116 | 1.1 | 128 | 1 | 0 | 7 | 1 | 128 | 0 | 0.5 | 0.00 |
| sep | 149 | 60 | 89 | l | 126 | 0.7 | 88 | 1 | 0 | 9 | 1 | 88 | -0 | 0.2 | 0.00 |
| oct | 20 | 8 | 12 | | 149 | 0.1 | 7 | 5 | 155 | 13 | 5 | 7 | 0 | 0.0 | 0.00 |
| nov | 0 | 0 | 0 | | 165 | 0.1 | 8 | -8 | 164 | 12 | -1 | 1 | 0 | 0.0 | 0.00 |
| dec | 0 | 0 | 0 | | 160 | 0.1 | 8 | -8 | 172 | 11 | -1 | 1 | 0 | 0.0 | 0.00 |
| Tot | 700 | 280 | 420 | | 1905 | | 525 | -105 | | | | 420 | 0 | Peak | 0.18 |

For mode 2: Psal pos: 10 APWLmin 155 APmax271
 Psal neg: 115 STmax 13 STmin 3

 Calculation of the water balance and yield reduction WITH MEASURES

Location:Kaya Crops: Sorghum Prec:aver Runoff: Yref 100
 Burkina F Year: P>25:0.15 P Yact 96
 Soiltype Dept Sa Smm P<25:0.15 P Yp 97
 0.7 120 84 Mode: 1 (Sma reaches Smm)

| | P | Rof | Pef | GS | ETO | Kc | ETm | Psal | APWL | Sma | dSM | ETA | D | Ky | Yred |
|-----|-----|-----|-----|----|------|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|----|------|------|
| jan | 0 | 0 | 0 | | 187 | 0.1 | 9 | -9 | 26 | 62 | -7 | 7 | 0 | 0.0 | 0.00 |
| feb | 0 | 0 | 0 | | 188 | 0.1 | 9 | -9 | 35 | 55 | -7 | 7 | 0 | 0.0 | 0.00 |
| mar | 0 | 0 | 0 | | 216 | 0.1 | 11 | -11 | 46 | 49 | -7 | 7 | 0 | 0.0 | 0.00 |
| apr | 8 | 1 | 7 | | 178 | 0.1 | 9 | -2 | 48 | 47 | -1 | 8 | 0 | 0.0 | 0.00 |
| may | 48 | 7 | 41 | i | 155 | 0.4 | 62 | -21 | 69 | 37 | -11 | 51 | 0 | 0.2 | 0.03 |
| jun | 105 | 16 | 89 | d | 136 | 0.7 | 95 | -6 | 75 | 34 | -3 | 92 | 0 | 0.6 | 0.02 |
| jul | 156 | 23 | 133 | d | 129 | 0.7 | 90 | 42 | 0 | 77 | 42 | 90 | 0 | 0.6 | 0.00 |
| aug | 214 | 32 | 182 | m | 116 | 1.1 | 128 | 54 | 0 | 84 | 7 | 128 | 47 | 0.5 | 0.00 |
| sep | 149 | 22 | 127 | l | 126 | 0.7 | 88 | 38 | 0 | 84 | 0 | 88 | 38 | 0.2 | 0.00 |
| oct | 20 | 3 | 17 | | 149 | 0.1 | 7 | 10 | 0 | 84 | 0 | 7 | 10 | 0.0 | 0.00 |
| nov | 0 | 0 | 0 | | 165 | 0.1 | 8 | -8 | 8 | 76 | -8 | 8 | 0 | 0.0 | 0.00 |
| dec | 0 | 0 | 0 | | 160 | 0.1 | 8 | -8 | 16 | 69 | -7 | 7 | 0 | 0.0 | 0.00 |
| Tot | 700 | 105 | 595 | | 1905 | | 525 | 70 | | | | 500 | 95 | Peak | 0.04 |

Growing stage (GS): Psal pos: 145
 i=intial; d=developing Psal neg: 75
 m=mid- & l=late season

Figure 3 Exemple pour calculer la disponibilité en eau (bilan d'eau) et la réduction des rendements ("yield response function"). (Texte en anglais)

CES et bilan d'éléments nutritifs.

Dans les zones semi-arides les agriculteurs enlèvent plus d'éléments nutritifs du sol qu'ils n'en remettent et ainsi l'épuisement chimique de la terre peut en soi être plus important que l'érosion, mais l'érosion contribue aussi à cette forme de dégradation ("soil mining", van der Pol, 1992).

Pour déterminer l'efficacité des mesures de CES pour améliorer ce bilan, on doit d'abord voir comment la mesure influence la disponibilité de nutriments pour les plantes (avec des bilans de nutriments) et ensuite comment la plante réagit sur cette plus grande disponibilité d'éléments nutritifs ("response function").

Stoorvogel and Smaling (1990) ont exécuté une étude sur les bilans des éléments nutritifs N, P et K en 1983, sur des sols cultivables dans 38 pays sub-sahariens. Chaque bilan d'un élément est constitué de plusieurs "input" (IN) et plusieurs "output" (OUT) catégories (Figure 4). Pour nos buts il faut déterminer ces bilans dans la situation sans et avec des mesures de CES, et ensuite voir la différence dans ces bilans.

| Système agricole | |
|---|-----------------------------|
| IN | OUT |
| 1 Compost, fumier (Manu) | 1 Résidus végétatifs (Resi) |
| 2 Engrais (Fert) | 2 Produits récoltés (Prod) |
| 3 Déposition (Depo) | 3 Pertes en gaz (Gase) |
| 4 Fixation, etc (Fixa) | 4 Erosion (Eros) |
| 5 Sédimentation (Sedi) | 5 "Leaching" (Leac) |
| Total IN (1-5) moins OUT (1-5) constitue le Bilan d'Elément | |

Figure 4. Le flux d'éléments nutritifs dans un système agricole
Adapté de: Stoorvogel and Smaling, 1990.

La présence d'éléments nutritifs n'implique pas automatiquement que les plantes peuvent tous les absorber. Les éléments nutritifs se trouvent dans le sol, en formes diverses, dans un "pool" A avec des éléments nutritifs facilement disponibles pour les plantes; dans un "pool" B avec des éléments dans la matière organique; et un "pool" C, qui constitue la réserve minérale du sol (van der Pol, 1992).

Quand il s'agit d'engrais chimiques (pool A), on se réfère au "recovery fraction", pour indiquer quelle partie d'éléments fournis sera absorbée. Cette fraction peut varier entre 0.1 et 0.9, en fonction du type d'engrais, du mode d'application et des caractéristiques du sol (Lövenstein et al, 1993). Et dans les zones semi-arides, avec un niveau d'inputs très réduit, la relation entre l'absorption des éléments nutritifs et les rendements des cultures est linéaire: le "initial nutrient use efficiency" (INUE en produit récolté par kg d'élément nutritif fourni) peut être déduit pour l'azote en céréales avec l'équation (adapté de Lövenstein et al, 1993):

$$INUE = 1 / (N_{\text{grain}} + (W_{\text{paille}} / W_{\text{grain}}) * N_{\text{paille}})$$

dans lequel: N_{grain} et N_{paille} constitue la concentration en N minimale en grain et paille (à peu près 1 % et 0.4 % respectivement); W_{grain} and W_{paille} le poids sec (en kg/ha). Le Tableau 1 donne la teneur minimale et maximale en éléments nutritifs dans les produits et résidus exportés.

L'augmentation du rendement due à un kg d'azote retenu (d'engrais en pool A) sera égale à la multiplication du "recovery fraction" avec l' INUE (Centre for World Food Studies, 1985).

Mais dans les zones semi-arides, on utilise peu d'engrais et dans le sédiment retenu on trouve peu d'éléments dans le "pool A". Mais les mesures de CES permettent d'éviter la perte de matière organique du "pool B". De cette matière organique les éléments nutritifs sont fournis lentement par la minéralisation, avec une vitesse d'environ 2 % par an (Pieri, 1989).

Pour calculer un bilan, on a besoin des données suivantes: les quantités d'engrais et fumier appliquées, la conversion en éléments nutritifs purs, la pluviométrie moyenne annuelle pour estimer la déposition et le niveau de fixation d'azote. Dans cette étude les données et équations de Stoorvogel et Smaling (1990) sont utilisées, afin de déterminer les différents constituants du bilan.

Tandis que les pertes d'érosion peuvent être calculées avec l'équation RUSLE, la teneur en éléments nutritifs du sol érodé dépend du niveau de fertilité du sol. Au lieu de prendre des chiffres d'analyses pour chaque parcelle, Stoorvogel et Smaling (1990) ont catégorisé cette fertilité (inhérente) en trois classes. Pour l'azote la teneur varie de 0.05 % en classe 1 jusqu'à 0.20 % en classe 3.

Puisque les particules du sol les plus fines sont d'abord détachées et transportées, le sol normalement érodé contient plus d'éléments nutritifs et de matière organique que le sol original. Pour cela on doit estimer un facteur "d'enrichissement", qui est fixé ici à 2 pour les trois éléments nutritifs principaux.

Tableau 1. Teneur en éléments nutritifs dans les produits récoltés et les résidus.

| | Produit récolté | | | Résidus (paille, etc) | | |
|-------------|--|-------------------------------|------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| | ----- | | | | | |
| | Teneur minimale et maximale (%) | | | | | |
| Maïs | 0.9-2.2 | 0.16-0.8 | 0.2-0.6 | 0.4-1.4 | 0.04-0.4 | 0.4-2.4 |
| Sorgho | 1.0-3.2 | 0.13-0.6 | 0.2-0.7 | 0.3-1.2 | 0.05-0.3 | 0.8-2.8 |
| Pommes d/T. | 0.9-2.5 | 0.10-0.6 | 1.1-4.6 | 1.4-3.2 | 0.13-1.0 | 0.8 4.6 |
| Cassava | 0.2-0.9 | 0.08-0.2 | 0.3-1.4 | 0.5-1.8 | 0.09-0.5 | 0.4-1.8 |
| Légumin. | 2.5-5.8 | 0.25-0.7 | 0.7-2.2 | 1.0-2.9 | 0.06-0.3 | 0.8-3.5 |
| | ----- | | | | | |

Sources: Lövenstein et al, 1993.

La Figure 5 montre une feuille de calcul préparée pour l'exemple qui suit. Etant donné que l'utilisation d'engrais est minime, on n'utilise pas la formule d'INUE, mais on calcule la production future (colonne à droite) en fonction de l'épuisement du stock de la matière organique (partie gauche de la feuille).

| Calculations with nutrient balances and response (N) WITH STONE BUNDS | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|---------------------|------|------------------|-----|----------------|-----|-----------|-----|---------|-----|------|-----|-----|
| Country : Burkina F | | Farm type: 3 | | Rainfall: 700 mm | | Slope: 2 % | | | | | | | | |
| Reg/site Kaya | | | | Rain: uncertain | | | | | | | | | | |
| Top soil charact: | | Crops 1 2 | | Erosion | | I n p u t s : | | | | | | | | |
| Soiltype: S.loam | | Sorghum n.a. | | 4 t/ha | | FertN | | Manu | | Compost | | | | |
| Fert. 1 class | | Biom 5.3 Biom 0 | | | | Urea A/sul An. | | Mix | | | | | | |
| pH 6.0 | | Pr/Re 0.3 Pr/Re 0 | | N(F)0.05 | | 3 | | 400 | | 100 | | | | |
| Depth 30 cm | | Prod Resi Prod Resi | | Enr 2.0 | | 1.4 | | 0 2.0 | | 1.0 | | | | |
| Bulkd 1.5 | | Q kg 500 1500 | | | | | | | | | | | | |
| OrgM% 1.0 | | AvN% 1.5 0.4 | | | | | | | | | | | | |
| Ncont 5.0 | | MinN% 1.0 0.3 | | | | | | INE1 52.6 | | INE2 0 | | | | |
| Min% 2.0 | | | | | | | | Recov 0.4 | | Reco 0 | | | | |
| TotN 45 kg | | Leg 0 | | | | Base 4.0 | | Yresp 21 | | Yres 0 | | | | |
| Miner. N from OM | | Nutrient balance: - | | OUT + IN = Saldo | | Saldo Prod | | | | | | | | |
| Recov: 0.75 | | Oth. Prod Resi | | Leac Gase | | Eros Fert | | Manu Depo | | Fixa | | futu | | |
| StockN(OM) Min biom. | | | | | | | | | | | | (kg) | | |
| Year | 2250 | 45.0 | 20.0 | 7.7 | 6.0 | 4.2 | 6.4 | 4.0 | 1.4 | 3.0 | 3.7 | 4.0 | -16 | |
| 1 | 2234 | 44.7 | 20.0 | 7.5 | 6.0 | 4.2 | 6.5 | 4.0 | 1.4 | 3.0 | 3.7 | 4.0 | -16 | 484 |
| 2 | 2218 | 44.4 | 20.0 | 7.2 | 6.0 | 4.3 | 6.5 | 4.0 | 1.4 | 3.0 | 3.7 | 4.0 | -16 | 469 |
| 3 | 2202 | 44.0 | 20.0 | 7.0 | 6.0 | 4.3 | 6.5 | 4.0 | 1.4 | 3.0 | 3.7 | 4.0 | -16 | 453 |
| 4 | 2186 | 43.7 | 20.0 | 6.7 | 6.0 | 4.3 | 6.5 | 4.0 | 1.4 | 3.0 | 3.7 | 4.0 | -15 | 438 |
| 5 | 2171 | 43.4 | 20.0 | 6.5 | 6.0 | 4.3 | 6.6 | 4.0 | 1.4 | 3.0 | 3.7 | 4.0 | -15 | 423 |
| 6 | 2155 | 43.1 | 20.0 | 6.3 | 6.0 | 4.3 | 6.6 | 4.0 | 1.4 | 3.0 | 3.7 | 4.0 | -15 | 408 |
| 7 | 2140 | 42.8 | 20.0 | 6.1 | 6.0 | 4.4 | 6.6 | 4.0 | 1.4 | 3.0 | 3.7 | 4.0 | -15 | 393 |
| 8 | 2125 | 42.5 | 20.0 | 5.8 | 6.0 | 4.4 | 6.6 | 4.0 | 1.4 | 3.0 | 3.7 | 4.0 | -15 | 378 |
| 9 | 2110 | 42.2 | 20.0 | 5.6 | 6.0 | 4.4 | 6.7 | 4.0 | 1.4 | 3.0 | 3.7 | 4.0 | -15 | 364 |
| 10 | 2096 | 41.9 | 20.0 | 5.4 | 6.0 | 4.4 | 6.7 | 4.0 | 1.4 | 3.0 | 3.7 | 4.0 | -14 | 350 |
| 11 | 2081 | 41.6 | 20.0 | 5.2 | 6.0 | 4.5 | 6.7 | 4.0 | 1.4 | 3.0 | 3.7 | 4.0 | -14 | 336 |
| 12 | 2067 | 41.3 | 20.0 | 5.0 | 6.0 | 4.5 | 6.7 | 4.0 | 1.4 | 3.0 | 3.7 | 4.0 | -14 | 322 |
| 13 | 2053 | 41.1 | 20.0 | 4.7 | 6.0 | 4.5 | 6.7 | 4.0 | 1.4 | 3.0 | 3.7 | 4.0 | -14 | 308 |
| 14 | 2039 | 40.8 | 20.0 | 4.5 | 6.0 | 4.5 | 6.8 | 4.0 | 1.4 | 3.0 | 3.7 | 4.0 | -14 | 295 |
| 15 | 2025 | 40.5 | 20.0 | 4.3 | 6.0 | 4.5 | 6.8 | 4.0 | 1.4 | 3.0 | 3.7 | 4.0 | -14 | 281 |

Figure 5. Exemple de calcul de bilan d'éléments nutritifs (azote) et réaction sur les rendements (kg/ha). (Texte en anglais)

Analyse coûts-bénéfices des cordons pierreux au Burkina Faso.

Dans une grande partie de la zone sahélo-sudanaïenne en Afrique de l'Ouest, beaucoup d'efforts ont été faits pour réduire l'érosion afin d'éviter les pertes d'eau et du sol. Au Burkina Faso il s'agit surtout de la construction de cordons pierreux. A cause de la transportation des pierres les coûts sont souvent élevés et estimés en moyenne à FCFA 68,000 en ha in 1992 (de Graaff, 1993b). L'exemple se base sur une situation comme dans la Province de Sanmatenga, avec une pluviométrie moyenne de 700 mm et un sol sablo-argileux, moyennement profond (70 cm) et un horizon supérieur de 30 cm (Hoek et al, 1993). En utilisant l'équation RUSLE en combinaison avec les données de recherche sur l'érosion sur le Plateau Mossi, on a estimé que les cordons pierreux pourraient réduire l'érosion sur les pentes cultivées de 12 à 4 ton/ha.

Avec une profondeur de 70 cm on a déjà dépassé le point de Dm (Figure 1). Mais avec un taux d'érosion de 12 ton/ha, ou de 0.8 mm/ha par année, il faudra encore 500 ans avant que la zone enracinée ait atteint le niveau Dz, avec un rendement zéro. Aussi la zone enracinée en soi ne semble pas le facteur le plus limitant.

Le premier bilan d'eau dans la Figure 3 montre la situation sans mesures, dans laquelle il existe un manque d'eau au mois de juin. Ce manque d'eau pourra réduire les rendements d' à peu près 20 %, bien que ce manque d'eau se situe seulement au début du stade de développement. Avec des cordons pierreux ce manque d'eau sera presque éliminé. Suivant le bilan d'eau, CES n'influence pas beaucoup le rendement. Aussi il est invraisemblable que les agriculteurs veulent construire ces cordons pierreux seulement pour conserver l'eau, en se basant sur une année de pluviométrie moyenne. Mais en année de sécheresse l'augmentation de la disponibilité d'eau peut être significative.

La prochaine étape dans l'évaluation économique est de déterminer les effets des mesures sur la fertilité du sol. On ne respecte plus les périodes de jachère, on n'applique pas d'engrais et peu de fumier. Le taux de matière organique dans le sol est diminué jusqu'à 1%.

Tableau 2. Bilan d'azote¹ pour la production de sorgho dans les situations sans et avec cordons pierreux (kg N/ha).

| ----- | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Les facteurs dans le bilan: ²) | | | | | | | | | | | |
| | Fert | Manu | Depo | Fixa | Sedi | Prod | Resi | Leac | Gase | Eros | Solde |
| | + | + | + | + | - | - | - | - | - | - | = |
| I. <u>Situation sans cordons p.:</u> | | | | | | | | | | | |
| 1 | 3 | 4 | 4 | - | 8 | 6 | 4 | 6 | 12 | - | 24 |
| II. <u>Situation avec cordons p.:</u> | | | | | | | | | | | |
| 1 | 3 | 4 | 4 | - | 8 | 6 | 4 | 6 | 4 | - | 16 |
| ----- | | | | | | | | | | | |

1) Toute N disp. résulte de la minéralisation, donc de pool B.

2) Abréviations de: Fertilizers, manure, deposition, fixation, sedimentation; production, residue use, leaching, gaseous losses, erosion.

Le Tableau 2 montre un bilan d'azote pour la situation sans cordons pierreux et pour la situation avec cordons pierreux. Les chiffres du premier bilan (I) correspondent à ceux de Stoorvogel et Smaling (1990) pour la production céréalière dans les zones à pluviométrie basse et aléatoire au Burkina Faso.

Sur des terres surexploitées, appauvries, il est probable que ce sol érodé comme le sol original ne contienne que très peu d'éléments dans les "pool A". Avec les cordons pierreux on sauvegarde une couche de sol dont les éléments nutritifs ne peuvent être obtenus seulement qu'après la minéralisation de la matière organique ("pool B"). Due à cette minéralisation dans le sol retenu, le bilan N devient moins négatif (situation II dans Tableau 2: -16 au lieu de -24 kg/ha) et les rendements diminueront moins vite que dans la situation sans mesures. Donc, on ne peut pas attendre un effet spectaculaire (comme avec l'engrais) en conservant ces éléments. Mais l'effet est de longue haleine, parce qu'une quantité de sol retenue minéralise chaque année 2 % de sa matière organique (Stroosnijder, 1992). C'est pour cela que notre évaluation économique se situe sur une période assez longue de 15 ans, qui correspond à la durée de vie des cordons pierreux, bien entretenus.

En utilisant ces données sur les quantités d'éléments nutritifs retenues (ici comme exemple N seulement) sur la parcelle et les réactions des cultures sur cette disponibilité, on peut comparer coûts et bénéfices dans les tableaux de "cash flow" (Voir Figure 5 et Tableau 3). Sur une durée de 15 ans, le taux d'intérêt interne (IRR) est encore négatif, mais à partir de 18 ans le IRR devient positif.

Tableau 3. Tableau de "cash flow" pour la construction d'un ha de cordons pierreux (rendement initial de sorgho 500 kg/ha).

| Coûts et Bénéfices: | Années: | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 15 |
|---|---------|-----|-----|-----|-----|--------|-----|
| Coûts de construction (FCFA 1000) | | 68 | | | | | |
| Main-d'oeuvre pour maintenir les cordons (FCFA 1000) | | | 2 | 2 | 2 | 2 ... | 2 |
| Rendement sans mesures CES (kg/ha) | | 476 | 453 | 430 | 407 | ... | 174 |
| Rendement avec mesures CES (kg/ha) | | 484 | 469 | 453 | 438 | ... | 281 |
| - Quand N seulement disponible après minéralisation graduelle: | | | | | | | |
| Quantité de N retenue (kg N) | | | 8 | 8 | 8 | 7 ... | 6 |
| Réaction sur rendement (kg/ha) | | | 8 | 16 | 23 | 31 ... | 107 |
| Valeur d'augmentation (FCFA 1000) | | - | 1 | 2 | 2 | 3 ... | 9 |
| Cash flow (FCFA 1000) (IRR = négative) | | -68 | -1 | 0 | 0 | 1 ... | 7 |

On peut aussi utiliser la feuille de calcul pour analyser beaucoup de "scenario's", et par exemple pour déterminer combien d'engrais et/ou de matière organique il faut utiliser 'pour combler le trou'. On ne peut pas seulement ajouter 24 kg N sous forme d'engrais, parce que cela augmenterait directement la production ainsi que l'extraction. Sans mesures, il faut 175 kg d'urée par ha par an pour obtenir un bilan en équilibre (avec un rendement plus élevé de 750 kg/ha), et avec des cordons pierreux il faut seulement 130 kg d'urée par ha par an. Cette différence représente une valeur d'à peu près FCFA 6,750 par an en prix économique et FCFA 10,000 par an en prix financier. Mais avec une telle fertilisation le manque d'eau et la grande variabilité de la pluviométrie peuvent former les contraintes

an. Cette différence représente une valeur d'à peu près FCFA 6,750 par an en prix économique et FCFA 10,000 par an en prix financier. Mais avec une telle fertilisation le manque d'eau et la grande variabilité de la pluviométrie peuvent former les contraintes principales. On peut réutiliser la feuille de calcul 'bilan d'eau' pour le vérifier.

Discussion

En utilisant des bilans d'eau et des bilans d'éléments nutritifs on obtient une meilleure idée sur les vraies contraintes pour la production dans les zones semi-arides. Les feuilles de calcul permettent de vérifier rapidement ces contraintes et de faire des analyses de sensibilité. Et cela facilite l'évaluation économique des mesures de CES.

Il est clair que la construction de cordons pierreux en soi n'est pas une activité rentable et ne suffit pas pour une agriculture durable. C'est pour cela que maintenant beaucoup d'efforts sont faits pour initier d'autres activités afin d'améliorer la fertilité du sol (par exemple paillage, fosse fumière, etc). Mais il faut aller plus loin dans cette intensification en stimulant également l'usage des engrais.

Cette analyse explique pourquoi les agriculteurs hésitent à investir dans les cordons pierreux, mais semblent quand même contents de l'assistance reçue dans ce domaine. Ces mesures ont les avantages de garder dès la première année un peu plus d'eau, de diminuer le risque (avantages à court terme), et de former une condition préalable pour commencer une intensification à long terme.

References

- Bishop, J. and Allen, J., 1989. The on-site costs of soil erosion in Mali. Environmental working paper No 21. The World Bank, Washington, D.C.
- Centre for World Food Studies, 1985. Potential food production increases from fertilizer aid: a case study of Burkina Faso, Ghana and Kenya. Wageningen.
- Doorenbos, J. and Kassam, A.H., 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and drainage paper No 33. FAO, Rome.
- Gauchon, M., 1980. Watershed management consultant's report for project FAO/JAM/78/006. Kingston, Jamaica.
- Graaff, J. de., 1993. Soil conservation and sustainable land use: an economic approach. Royal Tropical Institute, Amsterdam.
- Graaff, J. de., 1993b. The economic evaluation of soil and water conservation measures in Burkina Faso. In: Agriculture, economics, and sustainability in the Sahel. KIT, Amsterdam.
- Hoek, R. van der, Groot, A., Hottinga, F., Kessler, J.J. et Peters, H., 1993. Perspectives pour le développement soutenu des systèmes de production agrosylvopastorale au Sanmatenga, Burkina Faso. Université Agronomique, Wageningen.
- Lövenstein, H., Lantinga, E.A., Rabbinge, R. and van Keulen, H., 1993. Principles of theoretical production ecology. Lecture notes. Department of Theoretical Production Ecology, Agricultural University, Wageningen.

- Penning de Vries, F.W.T. & Djitèye (eds), 1982. La productivité des pâturages sahéliens; une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. Agricultural Research Report 918, 525 p.
- Pieri, C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara. Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT, Paris.
- Pol, F. van der, 1992. Soil mining; an unseen contributor to farm income in southern Mali. Bulletin 325. Royal Tropical Institute, Amsterdam.
- Roose, E., 1977. Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest; vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. ORSTOM, Paris.
- Stoorvogel, J.J. and E.M.A. Smaling, 1990. Assessment of nutrient depletion in Sub-saharan Africa: 1983-2000. The Winand Staring Centre, Wageningen.
- Stroosnijder, L., 1992. Désertification en Afrique sahélienne. Le Courier, No 133, p. 36-39. CEE, Bruxelles.
- Stroosnijder, L., Hoogmoed, W.B. and Berkhout, J.A.A., 1994. Modelling effects of water conservation tillage in the semi-arid tropics. In: Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale, p. 235 - 251. John Libbey, Paris.
- Thornthwaite, C.W. and Mather, J.R., 1955. The water balance. Drexel Institute of Technology. Centerton, New Jersey.
- Wischmeier, W.H and Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall-erosion losses. A guide to conservation planning. USDA Agr. Handbook No 537. Washington, D.C.
- Withers & Vipond, 1974. Irrigation, design and practice. B.T. Batsford Limited, London.

ADER DOUTCHI MAGGIA (NIGER)

NOTES SUR L'HISTORIQUE DES STRATEGIES DE LUTTE ANTI-EROSIVES

L' ADER DOUTCHI est un vaste plateau gréseux de près de 10.000 Km² d'altitude variant de 700 à 400 mètres du N au S, coupé par de profondes vallées - les Maggia - entaillant le substratum calcaire ou marneux ; les terres de pentes et du fond des vallées sont relativement fertiles et intensément cultivées depuis des siècles.

La population des vallées dépasse 100 hab/km², essentiellement des cultivateurs haoussa. L'essor démographique (3% par an) et l'absence de terres disponibles ont entraîné une forte émigration vers le nord - et des conflits avec les pasteurs touareg et peuhl, et une mise en valeur de sols en forte pentes sur des marnes et des calcaires, parfois avec des nodules phosphatés, mais très sensibles aux érosions.

De moins de 300 mm de moyenne annuelle au Nord, la pluviométrie atteint 600 mm au sud, à la frontière avec le Nigeria. Les variations inter-annuelles dépassent 70 % au N, et 60 % au Sud, mais dans tous les cas les pluies tombent sous forme de tornades violentes. Les totaux journaliers peuvent atteindre 110 mm, avec des intensités ponctuelles très fortes : la station ORSTOM de KOUNKOUZOUT a relevé le 11/06/1965, 40 mm en 1 heure, dont 14 en 5 minutes (168 mm/h.)

Sur fortes pentes dépourvues de végétation - cas des champs en début d'hivernage - les temps de concentration sont courts et entraînent des pointes de crues considérables : à Kounkouzout, le 10/07/1964, 6 m³/s pour 0,265 Km² et 136 m³ pour un bassin de 16,54 Km² avec une averse de 104 mm. La perte de terre arable est évaluée en moyenne à 8,6 tonnes par hectare et par an. Le maximum mesuré par le CTFT à ALLOKOTO en 1966 atteint 18,5 T/ hectare, soit près de 2Kg par mètre carré.

L'érosion, pour les paysans ADERAWA, est une donnée immédiate, avec des effets désastreux : le village d'ALLOKOTO a été déplacé à 2 reprises en moins d'un siècle, privé à chaque fois de ses champs de case dépourvus de terre en quelques années. Des solutions traditionnelles ont engagé, parfois avec succès, la lutte contre l'érosion, tout en prenant en compte un autre impératif, qui est d'assurer l'eau nécessaire aux plantes cultivées. Prioritaire lors de la décennie 60, aux pluies excédentaires, la conservation du sol a laissé la place à l'approvisionnement en eau depuis 1973, avec des séries d'années fortement déficitaires.

Les notes suivantes veulent fournir quelques points de repère sur les stratégies employées, d'abord par les paysans, puis par les opérations de développement agricole, pour tenter de maîtriser l'érosion sans nuire aux besoins des cultures en eau pluviale.

Il faut d'abord préciser les buts recherchés, auxquels répondent les stratégies, enfin les techniques employées, qui seront seulement répertoriées. Des appréciations sur les résultats seront données, dans la mesure où ils expliquent les changements de stratégies.-

STRATEGIES TRADITIONNELLES

Il faut distinguer 2 objectifs

1°) La SECURITE ALIMENTAIRE : reconstitution du "stock de sécurité"
- une année de consommation au moins- après une ou plusieurs mauvaises récoltes.

2°) ACCROITRE LES RESSOURCES AGRICOLES

- La stratégie visant à reconstituer le stock de sécurité exige l'extension des cultures très rapidement, mais pour une brève période

Technique : mise en culture des pentes de vallée laissées en jachère longue paturée, sur des parcelles anciennement appropriées et très sommairement épierrées en cordons de niveau ;

parcelles abandonnées après un ou au maximum deux années et retour à la jachère longue chargée de reconstituer la terre; l'aspect érosion, non prioritaire, ne fait pas l'objet d'aménagements spéciaux.

- L'augmentation des ressources est liée à l'extension des champs; à la fin de la période coloniale, les derniers secteurs de placages éoliens cultivables sur les plateaux, après brûlis sont utilisés, d'où le nécessaire recours à l'extension des cultures permanentes sur les pentes, à condition de limiter les érosions.

Techniques :

- . confection de petites parcelles soigneusement épierrées, de 1 à 3 ares formant un quadrillage en lignes de pierres de tout le champ qui stoppe les alluvions d'un ruissellement diffus;
- . dérivation de petits koris par barrages en pierres et bois répartissant l'eau de crue sur de petites terrasses en gradins (Maggia de Badeguicheri)
- . techniques culturales appropriées
 - billonnage, soit dans le sens de la pente (si risque d'excès d'eau) soit isohypse , parfois conjugués sur la même parcelle.
 - bouturage d'andropogon, euphorbes, indigo sur les bordures
 - paillage, s'il y a de l'herbe disponible
 - densité de semis , plus serré sur les passages d'eau
 - couverture du sol avec semis intercalaire de niébé
- . érosion éolienne (surtout sur les plateaux)
 - construction de murs de 1,5 à 2 m. de haut, en gros blocs non jointifs agissant comme un piège à sable et poussières pour reconstituer un sol et le protéger (plateau de LABA)
 - abandon d'une partie des tiges de mil sur le sol après récolte.

Appréciations Ces stratégies étaient judicieuses, mais les techniques employées insuffisantes dans les cas graves, par exemple :

- . 1 ou 2 ans de cultures de mil pour reconstituer les greniers n'ont pas permis de faire face à des séries de 3 ou 4 années déficitaires;
- . le quadrillage par épierrement est limité aux pentes pierreuses et demande beaucoup de main d'oeuvre
- . le billonnage isohypse bien fait arrête 40 à 60 mm d'eau; mais s'il est en pente, même faible, et sans cloisonnement, il concentre le ruissellement et crée rigoles et ravines.

Les cultivateurs connaissaient parfaitement ces défauts (enquêtes du Sce de l'Animation et du SMUH 1964-66), mais sans savoir les corriger. De plus, la diffusion du coton sous pluie dans les vallées (terres de Fadama) conduisait au transfert sur les pentes des cultures vivrières.

STRATEGIES DES PROJETS DE DEVELOPPEMENT

Les dangers de l'érosion dans le développement des zones rurales et la modernisation de l'agriculture, l'insuffisance des techniques traditionnelles ont conduit les aides extérieures à s'intéresser à des opérations d'appuis techniques et financiers. Au Niger, la région de Tahoua, particulièrement sensible fut choisie pour un Projet de développement rural intégré de l'ADER DOUTCHI MAGGIA.

- Buts : Lutte contre l'érosion par l'introduction de techniques modernes permettant d'intensifier et de sécuriser les productions agricoles ; techniques de lutte biologique (reboisements) et de lutte mécanique (banquettes isohypses) mises au point aux USA et testées en Afrique du Nord dans des conditions voisines.

Stratégie : Le Projet Ader doutchi Maggia (ADM), financé par le FAC intervenait en 1964 dans le contexte d'une sensibilisation générale du monde paysan par le Service de l'Animation rurale, pour le rendre capable d'assurer son propre développement. La stratégie d'intervention devait de ce fait de baser sur la participation villageoise (alors qu'au Burkina Faso, le Projet GERES (financement européen) dans le nord du pays, au YATENGA était conçu comme une opération militaire et appliquait les mêmes techniques avec des engins mécaniques) Les potentialités et les contraintes techniques furent prises en compte par un schéma d'aménagement (SMUH 1966) établi avec la participation des services techniques et qui fixait les types d'aménagement : irrigation par retenue collinaire, CES, zones pastorales. Parallèlement à cette étude, les différentes techniques furent testées en vraie grandeur (Kaouara, Allokoto, Kama-Kamo, Kaora-Abdou) ainsi que les modes de réalisation , mécanique ou manuelle .

Mode de réalisation Les types d'aménagement et les premiers résultats furent exposés aux délégués villageois de l'animation, avec l'appui du Génie Rural. Le choix se porta sur les fossés-ados isohypses et les murets pour les pentes caillouteuses de pente supérieure à 5% .

Le Comité technique Départemental (COTEDEP) fixait chaque année les sites retenus pour la campagne parmi ceux proposés par les villages; il assurait l'appui technique, en particulier le tracé des courbes de niveau et les implantations, la fourniture du petit matériel, les villageois fournissant la main d'oeuvre, en principe bénévole. Mais le départ en exode des jeunes pour gagner de l'argent ne permettait pas de constituer des équipes suffisantes : le Projet fut obligé de fournir une "compensation pécuniaire" de 25 f. CFA par mètre linéaire d'ouvrage conforme au gabarit dès la seconde campagne.

Pour donner plus de responsabilité aux villages, les obligations réciproques furent fixées par une Convention Villageoise (sur le modèle des Convention de Fokon'olona de Madagascar) passée entre un Comité villageois d'aménagement et le sous-Préfet. Ce Comité élu se chargeait de l'organisation des équipes, de leur contrôle et de leur paiement grâce à la compensation pécuniaire versée chaque mois au Comité après réception par le Service du Génie Rural.

Deux mille hectares furent ainsi réalisés de 1967 à 1972, fin de la Ière phase qui ne fut pas poursuivie, en raison de résultats jugés insuffisants.

Appréciations au plan technique :

- dégâts dus à des averses exceptionnelles
- au manque de réparation des ruptures de diguettes
- à l'absence de travaux amont et de correction des Kôris

- . absence d'encadrement agricole spécifique chargé de suivre la mise en valeur, les techniques (billonnage cloisonné) l'entretien et les réparations courantes;
- . à la suite de l'abandon presque complet du coton en raison des sécheresses, diminution de la pression foncière et remise d'une grande partie des fadama en cultures vivrières;
- au plan de la participation : le système de la convention de village a été bien apprécié, même s'il n'a pas pu servir de point de départ à une certaine autonomie financière (tout l'argent a été redistribué aux équipes, rien n'a été gardé pour des investissements collectifs - puits, pistes ...)
- effets secondaires : amélioration des ouvrages traditionnels de CES, meilleur tracé des courbes de niveau, multiplication de petits aménagements sur les parcelles en pente cultivées.

PROJET FED BADEGUICHERI

Le Projet Ader Douchi FAC s'était limité pour la 1ère phase à la vallée de la Grande Maggia, la plus au Sud; le Projet du FED s'intéressait à la partie centrale de la région, la vallée de la Maggia de KAORA-ABDOU.

Ses buts étaient les mêmes que ceux du Projet FAC, mais avec une stratégie assez différente. Pour réaliser rapidement les 4000 ha. de CES prévus tout au long des 2 versants de la vallée, le Projet avait recours à des équipes salariées, constituées de préférence avec la main d'oeuvre disponible du village concerné : la participation était donc une participation à l'exécution du travail. Les terres traitées, souvent sous-solées étaient remises à leur exploitant traditionnel.

Un programme de formation s'adressait aux jeunes groupés dans des Centres ruraux dans la perspective d'introduire la culture attelée. Des reboisements pour la protection des ouvrages complétaient le volet CES., achevé pendant les 4 premières années; la seconde phase, de 1980 à 1984 concerna surtout le désenclavement et la poursuite de la formation.

Appréciations

- . bonne protection des terrains de bas de pente, au-dessus des fadama malgré les coupures dues à l'absence de correction des koris
- . pas ou peu de mise en culture des terrasses supérieures, protection insuffisante par les fossés et les murets de garde
- . manque d'entretien général, d'outillage pour le faire; cependant réussite des plantations de protection ou bois de village

au plan de la participation, net recul par rapport à l'opération FAC

Le programme de formation à la culture attelée n'a pas réussi; les char-rués remis aux jeunes ont été revendues ou sont inemployées; des essais de reprises (Roukouzoum 1982) avec correction des Koris et remise en état des fossés-ados n'ont pas entraîné de récupération de terre : les exploitants préfèrent développer les cultures maraichères dans la vallée principale, beaucoup plus rentables.

+

++

Ces projets ont obtenu des résultats médiocres et peu durables, pour des insuffisances techniques (koris et amonts non traités, manque de suivi...) et humaines (participation partielle, formation incomplète ne donnant pas la maîtrise totale des techniques...), et plus encore, dans ces deux cas, en raison d'un arrêt prématuré des interventions, sans analyse suffisante des causes d'échec comme des succès acquis.

Les demandes de modification ou d'aménagements faites par les intervenants pour corriger les programmes ont trop rarement été prises en considération. Lors de l'établissement des Projets, les résultats obtenus par le FAC dans le domaine de la participation ont été souvent ignorés. En particulier, le Projet FED Badeguicheri est "reparti à zéro", annihilant ainsi les acquis en organisation et en responsabilisation des villageois.

Heureusement les projets ultérieurs, qu'ils soient bipartites, financés par don ou par emprunt ou internationaux, avec des objectifs géographiques limités (cas des ONG) ou couvrant une ou plusieurs sous-Préfectures seront en général plus enclins à considérer les aspects positifs des interventions antérieures et prêts à assurer leur appui pendant des durées plus longues.

Cependant, deux grandes tendances coexistent, selon que la priorité est donnée aux aspects techniques (type Projet KEITA / FAO) soit aux aspects humaines (type ILLELA / FIDA).

Le PROJET KEITA/FAO, financé par l'Italie, a pour but de reconstituer un territoire agricole viable dans une zone aux prises avec la désertification (300/400 mm de pluies). L'objectif est d'assurer le plus rapidement possible la maîtrise totale de l'érosion sur les 2 principaux bassins versants de la sous-Préfecture de Keita, pour protéger et reconstituer les terres agricoles. Les parties hautes seront reboisées par plantation sur des tranchées accumulant assez d'eau pour permettre aux plants d'arbres de franchir la saison sèche ; les koris traités dès l'amont seront en outre coupés par des barrages d'écrêtement de crues ; les pentes de bonne valeur agricole seront utilisées avec un système de CES basé sur la construction de diguettes en terre avec un léger effet de diversion.

Pour obtenir rapidement des résultats rapides, la stratégie associe deux volets : a) une véritable mobilisation de la population en lui fournissant, en période actuelle de disette permanente, des vivres PAM en échange de son travail (Food for Work), ce qui diminue l'exode rural, y compris des femmes ; b) un recours généralisé aux engins mécaniques, avec toute la logistique assurant leur bon emploi.

Le succès exige un encadrement qualifié et nombreux pour assurer la bonne exécution des travaux et la formation du personnel de maîtrise et des paysans confrontés à des techniques agricoles nouvelles. Des actions d'accompagnement sont prévues en équipements économiques et sociaux. La durée d'intervention (une dizaine d'années au départ) doit être assez longue pour que le projet, ayant recréé des conditions physiques favorables, puisse se continuer par lui-même.

Appréciations

- . résultats appréciables dans la lutte anti-érosive et le combat contre la désertification ;
- . mais coût très élevé, ce qui entraîne :
 - impossibilité d'extension par effet de voisinage
 - reproduction limitée à des opérations avec un financement extérieur important ;
- . des incertitudes et des risques, à l'achèvement du projet :
 - coûts récurrents élevés, sans doute difficilement supportables par les paysans ou les collectivités locales ;
 - tenue des ouvrages de correction des koris
 - capacités de gestion, d'auto-encadrement, d'initiative d'une population habituée à l'exécution plus qu'à la conception.

Le PROJET FIDA / ILLELA, basé à BADEGUICHERI, veut au contraire laisser aux exploitants l'initiative, le choix et la responsabilité des aménagements de CES, mais en leur donnant la possibilité de les réaliser :

- par la recherche et l'expérimentation de techniques aux besoins, aux possibilités et aux connaissances traditionnelles des cultivateurs ;

- par une formation collective pour une maîtrise complète des réalisations, y compris les aspects topographiques;
- par des appuis limités, en financement ou en vivres en cas de disette, pour des aménagements non directement productifs (reboisements amont, correction de kori...)
- par une étroite association avec les cadres nationaux qui pourront assurer la continuité du Projet.

Appréciations

- . bons résultats pour l'adaptation de techniques soit traditionnelles (tassa ou cordons de pierres) soit importées (demi-lunes);
- . diffusion rapide de ces techniques dans et hors de la zone prévue;
- . formation à intensifier : la bonne exécution des ouvrages est indispensable pour obtenir de bons rendements et permettre une culture permanente rentabilisant l'aménagement (en argent et en-travail)
- . résultats satisfaisants sur les champs individuels, mais faible intérêt pour les travaux collectifs en investissement et surtout en entretien;
- . de gros obstacles à l'intensification : manque de moyens de transport (charrettes pour compost et récoltes) et d'engrais, absence de système de crédit, même à court ou moyen terme.

CONCLUSION

+
+ +

Les deux projets sont encore en cours, et il serait prématuré de conclure mais on peut tenter de faire le point; KEITA paraît montrer que la désertification peut être efficacement combattue, ILLELA que la population villageoise est très motivée pour prendre la responsabilité de son avenir.

A partir de stratégies différentes, il existe du reste des points de rencontre : par exemple le souci de donner au monde paysan, en particulier aux jeunes, l'espoir d'une vie plus acceptable que celle de leurs aînés. Des essais multiples, à KEITA comme à ILLELA, réalisés sous diverses situations pluviométriques montrent que des aménagements bien faits pouvant, avec de faibles apports en engrais minéraux, doubler les rendements et valoriser ainsi les journées de travail.

Autre point de convergence : la recherche d'une organisation spatiale conservatrice de la terre et de l'eau, sous la responsabilité incontournable des paysans, conduit tous les projets vers des formules voisines " d'approche-terroir " où la nature, l'homme, les techniques et l'avenir sont pris en compte sur un pied d'égalité. -

P.M. Aout 1994

MOTS CLES

Niger , ADER DOATCHI MAGGIA , Erosion , C.E.S. ,Desertification
Projets de développement Stratégies d'intervention

PLANIFICATION D'UN PROGRAMME DE RECHERCHE SUR LA FORET ET L'ARBRE DANS LE SUD DU MALI

Jean-Pierre Sorg¹

A François Bellon,
ami trop tôt disparu

Mots clés: recherche, aménagement et gestion du terroir, foresterie, Mali, zone soudanienne

Résumé

La Région de Sikasso, au sud du Mali, correspond aux types bioclimatiques soudanien et soudano-guinéen. Le climat est marqué par une saison sèche de 4 à 6 mois. La végétation naturelle (forêts claires, savanes boisées) souffre de différentes formes de dégradation. Le parc à karité et à néré, un système agroforestier courant en Afrique de l'Ouest, est caractéristique de l'agriculture de la région. Les relations entre l'être humain, l'arbre et la forêt sont très variées, le bois ne représentant qu'une partie des produits récoltés par les habitants du milieu rural. La recherche, en institutions spécifiques ou sous la forme d'actions accompagnant des programmes de développement, doit mieux s'insérer dans ce milieu.

Dans la Région de Sikasso, un programme de développement forestier appuyé par la Coopération suisse/Intercooperation, comprend depuis plusieurs années un volet de recherche fournissant des résultats techniques intéressants. Un processus d'évaluation et de planification mené en 1993/1994 en étroite collaboration avec les populations, des spécialistes du développement et des chercheurs de différentes disciplines, est en train d'y apporter des transformations profondes. Sans toutefois que son contenu ne soit véritablement remanié, le programme se tournera résolument vers les problèmes d'aménagement des forêts et de gestion de l'arbre. Les moyens du renouveau s'inspirent des exigences suivantes:

- mener une recherche participative articulée avec le développement;
- mettre en place une politique de diffusion des résultats, de pré vulgarisation et de communication dynamique, variée et imaginative pour tenir compte des nombreux acteurs et intérêts en présence.

¹ Chargé de cours, section forestière, Ecole polytechnique fédérale, CH-8092 Zurich (Suisse)

INTRODUCTION : LE MILIEU, L'HOMME, L'ARBRE ET LA FORET

Savanes boisées et forêts claires constituent les formations végétales les plus courantes, dans le sud du Mali. La végétation est de type soudanien et soudano-guinéen. La savane est climacique (sols cuirassés ou gravillonnaires) ou d'origine anthropique.

Le sud du Mali correspond conventionnellement à la Région de Sikasso, d'une superficie de 76'000 km². Le climat est caractérisé par une pluviométrie annuelle de 750 mm au nord et de 1200 mm et plus au sud de la Région, une saison sèche de 4 à 6 mois et une moyenne des températures d'environ 27°C. La diminution des précipitations est considérable et relativement régulière depuis plusieurs décennies. Ainsi, en ce qui concerne la station de Sikasso, la moyenne annuelle calculée sur une décennie passe de 1600 mm environ au seuil des années 1930 à 1100 mm et moins durant les années 1980 et 1990 de ce siècle (SCHNEIDER 1994a).

La population de la Région de Sikasso, d'environ 1'600'000 habitants, est rurale à près de 90 % et se répartit en 3 agglomérations urbaines et plus de 1'800 villages. Les principales cultures vivrières sont le mil, le sorgho, l'arachide et le maïs. De 60 % au sud à 90 % des exploitations au nord de la Région produisent du coton. Les 3/4 des exploitations pratiquent la culture attelée (BAGNOUD 1994). L'ensemble de l'agriculture de la région est caractérisée par le système agroforestier bien connu du **parc à karité** (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.) et **nééré** (*Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth.).

Les « formations forestières et graminéennes mixtes » couvrent près des 2/3 de la Région de Sikasso. Le volume sur pied moyen de ces formations (forêts claires, savanes boisées et arbustives) est d'environ 26 m³/ha, maximum pour le Mali. La productivité actuelle est estimée à 0,5 m³/ha.an au nord de la Région; elle dépasse 1,5 m³/ha.an en zone soudano-guinéenne. Le bilan des ressources ligneuses fait état d'une situation de « pénurie totale » jusqu'à l'isohyète 1150 mm. Il est considéré comme « satisfaisant » au-delà de cette ligne. Toutes ces données sont tirées de MAEE/IER 1992.

On sait que dans un tel cadre, les relations entre l'être humain, l'arbre et la forêt sont multiples, complexes et différenciées (DUPRIEZ et DE LEENER 1993). Pour ne considérer que la production matérielle, une enquête effectuée dans 2 villages du Cercle de Sikasso a montré que le bois ne représente que 23 % des produits récoltés. Les villageois s'intéressent tout autant aux fruits (25 %) et au feuillage (21 %, pour divers usages, notamment médicinaux), dans une moins grande mesure aux écorces, racines, rameaux, etc. (SCHNEIDER 1994b). Il s'agit du nombre de mentions et non de l'importance relative de chaque produit récolté, dans l'économie familiale et villageoise.

Les périodes sèches observées durant ces dernières décennies ont contribué à remettre le drame de la sécheresse dans toutes les mémoires. Si les accidents climatiques périodiques ne semblent pas relever de cycles réguliers, la baisse - durable? - des précipitations, illustrée plus haut par les mesures de la station de Sikasso, est inquiétante. La production agricole, l'élevage, se ressentent des phénomènes de sécheresse de grande ampleur, face auxquels l'homme paraît bien démuni (GLANTZ 1987). Les ressources ligneuses n'échappent pas à cette contrainte

formidable, notamment par l'extension des défrichements due à la baisse du niveau de fertilité des sols (MAEE/IER 1992, FRIES et HEERMANS 1992).

Cependant, la dégradation des ressources ligneuses au Mali a d'autres causes encore, que les périodes de sécheresse ne font qu'accentuer. Dans le document MAEE/IER, p. 21, il est admis sur la base de sources plus anciennes que « ... l'homme est l'un des principaux responsables de la dégradation des ressources ligneuses (par) l'exploitation agricole, l'exploitation pastorale, la déforestation et les feux de brousse ». Plus loin (p. 26) est également mentionnée l'inadaptation du code forestier, qui entraîne de sérieux problèmes d'accès aux ressources naturelles, notamment en ce qui concerne les forêts classées (au profit de l'Etat), la durée de la jachère, les arbres croissant dans les champs.

Les événements politiques et sociaux survenus au Mali depuis mars 1991 devraient se répercuter sur la gestion des forêts et de l'arbre. L'objectif de décentralisation, l'un des maîtres mots du renouveau, se traduira très certainement par des changements importants au niveau de l'arsenal législatif mais aussi en ce qui concerne l'organisation du service forestier.

UNE COOPERATION MULTIFORME ET EVOLUTIVE

La Coopération suisse au développement a été sollicitée dès les années 1970 par les autorités maliennes dans les domaines de la santé, de l'agriculture et de la forêt. Un grand programme forestier, mis en place dès 1979 et géré par **Intercoopération**, portait sur l'exécution de plusieurs projets destinés d'une part à conserver et à aménager les forêts naturelles, d'autre part à créer de nouvelles forêts au moyen d'espèces à croissance rapide.

Le but général de ces actions était de contribuer au maintien et à la restauration de l'équilibre écologique et à l'approvisionnement soutenu de la population en produits ligneux.

Rapidement, l'expérience acquise a permis de mieux ajuster les objectifs à la réalité de la Région de Sikasso, relativement peuplée à l'échelle du Mali, au climat point trop rude et où la question de l'alimentation en bois doit être appréciée de façon différenciée. C'est ainsi que dès 1986, l'objectif de création de nouvelles forêts a porté sur les bois de villages et non plus sur les boisements domaniaux; la vulgarisation et la formation ont vu leur importance s'accroître et un **modeste programme de recherche forestière à vu le jour**.

Conçu dès le départ dans le cadre des priorités nationales de recherche, ce programme d'expérimentation était classiquement destiné à accompagner des activités de développement. Les problèmes rencontrés dans le terrain alimentent une recherche se déroulant pour une grande part en milieu contrôlé ou semi-contrôlé. Principaux thèmes de recherche: pépinière, plantation d'enrichissement, dynamique des peuplements naturels, production des plantations. L'essentiel des travaux porte sur des espèces locales.

Après quelques années, ce programme, quoique mené avec des moyens modestes, a pris un tour cohérent, livrant des résultats intéressants et utiles (FELBER et

DIALLO 1991). L'Institut d'Economie Rurale en a tenu compte lors de la réorganisation de la recherche agronomique au niveau national et a intégré le programme dans ses structures en tant qu'élément constitutif du Centre Régional de la Recherche Agronomique de Sikasso. L'appui de la Coopération suisse/Intercoopération peut se poursuivre dans un cadre institutionnel favorable. D'une manière plus générale, les conditions ont ainsi été réunies pour que la recherche sur la forêt et l'arbre dans la Région de Sikasso puisse faire l'objet d'un examen critique portant sur les objectifs, les méthodes et les contenus, dans le but de mettre sur pied un nouveau plan directeur à moyen terme (5-7 ans).

PLANIFICATION DE LA RECHERCHE - ESQUISSE D'UNE DEMARCHE

Il est souhaitable qu'un travail de planification réponde simultanément aux objectifs suivants (DDA 1993):

- fournir un **cadre de référence** aux activités prévues, reflet de la perception actuelle d'une situation donnée, d'un ensemble de problèmes, d'un éventail de possibilités d'action;
- tracer des **lignes directrices d'action** dans le cadre de référence préalablement défini, traduisant des concepts, des visions, des idées;
- établir une **base de suivi et d'évaluation** permettant de vérifier périodiquement la pertinence du cadre de référence, la justesse des lignes directrices.

En recherche plus encore que dans d'autres domaines, une planification ne peut être absolue, ni parfaite. Les contraintes matérielles et celles de temps notamment ne peuvent pas toujours être prévues de façon satisfaisante. Les informations à disposition sont parfois lacunaires, ou peu fiables, ou encore peu représentatives. On en déduit une nécessaire invitation à la prudence, à l'humilité:

la planification doit laisser suffisamment de souplesse au niveau de la réalisation pour que le projet envisagé puisse s'adapter (lignes directrices et activités) à des conditions peut-être changeantes...

... ainsi qu'une condition importante du succès d'une planification:

les personnes et les institutions qui participeront à la réalisation des activités devraient être impliquées de façon active dans le processus de planification.

En recherche forestière, on distingue habituellement 3 niveaux de planification qui correspondent à des besoins différents, s'inscrivent dans des délais différents et portent des noms différents (ces derniers pouvant d'ailleurs varier!).

A long terme (10-15 ans)...

... le **plan stratégique** ou **plan national de recherche** englobe la forêt et l'arbre dans un ensemble plus vaste: agriculture, ressources naturelles, environnement. Il peut faire l'objet de plans sectoriels, par exemple dans le domaine forestier, prévus à long terme également.

A moyen terme (4-7 ans)...

... le **plan directeur** ou **plan de phase** définit les lignes directrices. Il s'inspire d'éléments conceptuels et stratégiques, énonce les objectifs et les grandes lignes des activités, fournit des indications quant aux moyens requis, sert de guide de suivi et d'évaluation.

A court terme (1-2 ans)...

... le **plan d'opération** ou **plan d'exécution** détaille les éléments nécessaires à l'action: objectifs immédiats, moyens à disposition...

Le Mali dispose d'un **Plan Stratégique de la Recherche Agronomique (PSRA)**, ouvrage de planification à long terme englobant la forêt et l'arbre qui font toutefois l'objet d'un programme particulier, le **Programme Ressources Forestières**.

Le travail de planification présenté ici porte sur l'élaboration d'un **plan directeur de la recherche forestière pour la Région de Sikasso**.

METHODOLOGIE DE PREPARATION DU PLAN DIRECTEUR : UN GROUPE DE REFLEXION PREND EFFICACEMENT LES CHOSES EN MAIN

La méthode choisie pour la préparation du nouveau plan directeur a fait recours, dans des démarches parfois parallèles:

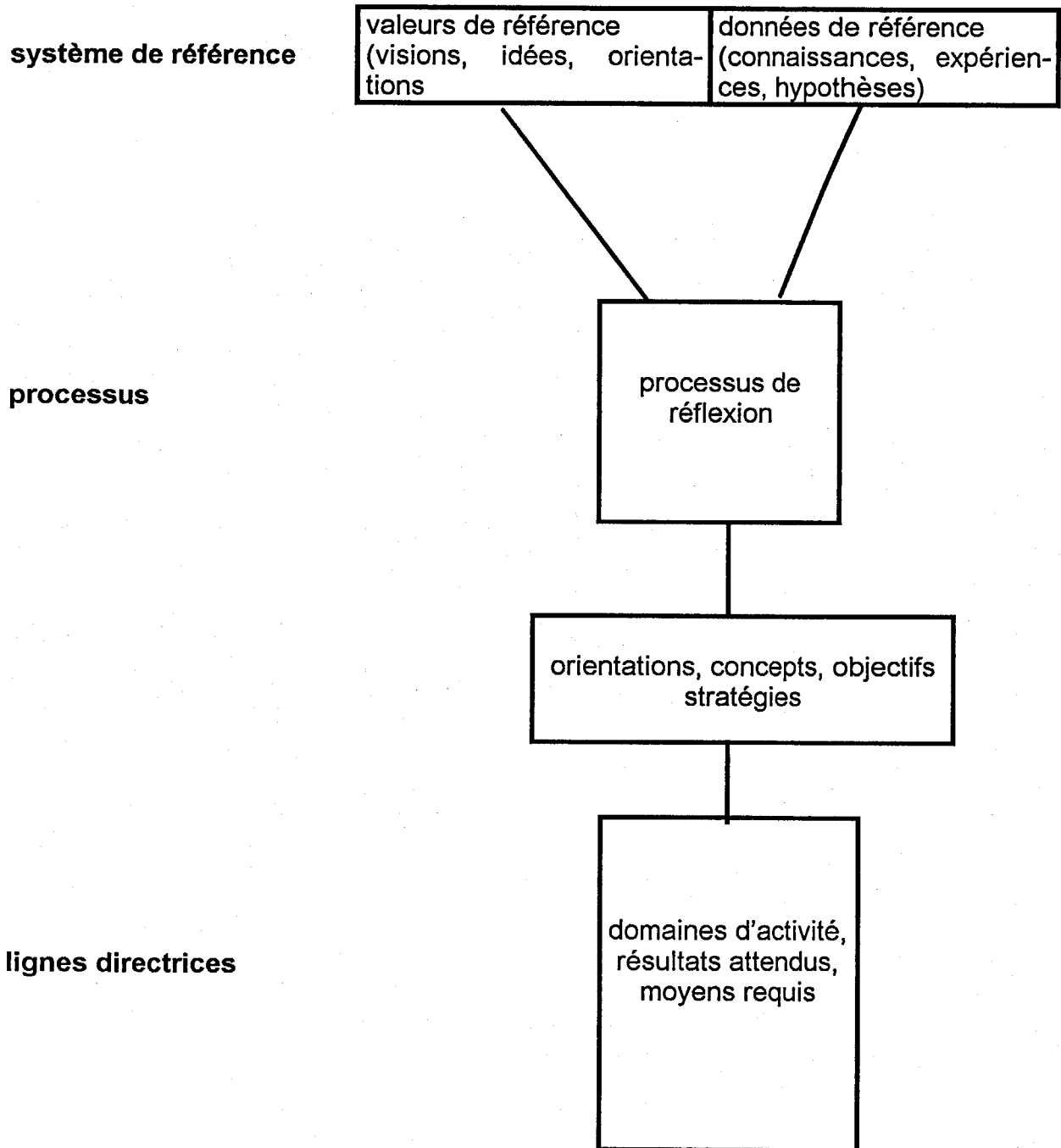
- d'une part à l'**analyse critique** des activités de recherche antérieures (processus d'évaluation)
- d'autre part à la **réflexion prospective** portant sur les conditions cadres et les différents éléments constitutifs d'un programme futur.

Le temps à disposition (16 mois de janvier 1993 à avril 1994) était heureusement suffisant pour qu'il soit possible de progresser de façon itérative, par **approximations successives**. Plusieurs démarches ont d'ailleurs été **réitérées**. Des restitutions ont eu lieu à différents niveaux et à différents moments.

Un **groupe de réflexion** constitué autour de l'équipe des chercheurs s'est affirmé comme le véritable support du processus de planification. De par sa composition pluridisciplinaire et interinstitutionnelle, ce groupe a su guider la démarche en l'insérant résolument dans une approche large de l'interface homme/ressources de la forêt et de l'arbre.

Le tableau suivant reproduit la structure et le contenu du plan directeur. Les acteurs de la démarche, les processus et les outils utilisés figurent plus loin, sous une forme résumée.

Structure et contenu du plan directeur (d'après DDA 1993)



Acteurs

Processus

Outils

A. Les chercheurs constitués en équipe mixte (nationaux et expatriés).

Nota bene: cette équipe sera chargée de mettre en oeuvre la planification à laquelle elle travaille

B. Le groupe de réflexion sur la recherche forestière en Région de Sikasso, interdisciplinaire et interinstitutionnel dans lequel chercheurs et développeurs oeuvrent ensemble.

L'animateur du groupe est le chef de la station de recherche

- préparation de la démarche de planification
- accompagnement de toute la démarche de planification, y compris ses aspects matériels
- analyse critique des activités de recherche en cours, à plusieurs reprises et sous différents points de vue
- première réflexion quant aux différents contenus du programme futur
- restitutions à différents niveaux (groupe de réflexion, table ronde, atelier régional), oralement ou par des documents d'étape
- élaboration du plan directeur en tant que document

- élaboration d'un cahier des charges avec objectifs et mode de fonctionnement du groupe
- préparation des interventions de l'animateur extérieur et des personnes ressources
- création de sous-groupes dûment mandatés
- analyse critique des résultats des sous-groupes et du mandat complémentaire

- brainstorming et discussion structurée
- cartes de visualisation
- SEPO²
- documents d'étape
- comptes rendus oraux
- interventions d'un animateur extérieur et de personnes ressources

- brainstorming et discussion structurée
- cartes de visualisation
- documents d'étape
- interventions d'un animateur extérieur et de personnes ressources
- table ronde des organismes appuyés par la Coopération suisse dans le domaine forestier au Mali
- atelier régional réunissant la recherche et ses partenaires de la Région de Sikasso

² La méthode SEPO (Succès-Echecs-Potentialités-Obstacles) est un instrument d'évaluation/planification

- analyse critique des résultats partiels présentés par les chercheurs, à plusieurs reprises et sous différents points de vue
 - préparation de la table ronde et de l'atelier régional
 - participation à la table ronde et à l'atelier régional; restitution des travaux
- C. Un mandat complémentaire** donné à l'extérieur par le groupe de réflexion
- préciser les préoccupations et souhaits des populations quant à la forêt et à l'arbre, dans les différentes zones agro-écologiques retenues pour la Région de Sikasso, au moyen d'un échantillonnage en milieu rural
 - enquête en milieu rural
 - présentation d'une synthèse écrite et commentée

VALEURS ET DONNEES DE REFERENCE: UN ENSEMBLE COHERENT ET INTEGRE

- Le programme de recherche se situe aux interfaces homme/forêt et homme/arbre (homme/ressources naturelles)
 - Le programme de recherche contribue à la mise en valeur **durable** des ressources naturelles. Il s'agit-là de toute évidence d'une vision, d'un idéal, mais dont la valeur de référence est importante.
 - Le programme de recherche s'inscrit dans une perspective d'aménagement du terroir (AGT) ou, plus précisément, d'aménagement des forêts et de gestion de l'arbre dans le terroir (AFGAT). Des références y relatives figurent dans différents documents préalables.
 - Le Plan Stratégique de la Recherche Agronomique du Mali et en particulier son Programme Ressources Forestières prévoient des orientations et des dispositions générales dont la validité s'étend au niveau régional. Le plan directeur prévu pour la recherche forestière dans la Région de Sikasso s'intègre dans le PSRA.
 - Les besoins du milieu rural quant à la recherche sur les forêts et l'arbre ont été relayés par les représentants des institutions de développement au sein du groupe de réflexion.
- Une enquête sur les besoins et souhaits des populations a été effectuée sur mandat du groupe de réflexion. Elle figure in extenso dans un document de référence (SRFS 1993). Les résultats de cette enquête ont fait l'objet d'une analyse approfondie.

- L'expérience accumulée est considérable quant au contenu et quant aux formes de la recherche forestière dans la Région de Sikasso. Le programme en cours a été analysé à différentes reprises.
- Les moyens qui seront à disposition de la recherche dans l'avenir immédiat sont connus dans les grandes lignes (personnel, matériel, finances). Il est admis qu'une partie des moyens nécessaires devra être couverte par voie de mandats.

DES ELEMENTS DE STRATEGIE QUI BRANCHENT LA RECHERCHE SUR LE DEVELOPPEMENT ET DEVRAIENT PERMETTRE DE MENER UNE RECHERCHE VERITABLEMENT PARTICIPATIVE

Le renouveau de la recherche forestière, souvent réclamé, moins souvent pratiqué, se dessine. Des formes de recherche ont été discutées, des notions définies par les chercheurs sous l'impulsion et avec l'aide des agents du développement. Les réflexions ont atteint un niveau prometteur sur 2 plans: d'une part les formes de la recherche, d'autre part la diffusion des résultats.

Une recherche participative articulée avec le développement prévoit les démarches suivantes:

1. Participation conjointe de la recherche, du développement et des paysans à l'identification des potentiels et des contraintes de la foresterie dans le milieu rural.
2. Participation des agents du développement et des paysans à l'identification des thèmes de recherche et, selon les cas, des essais.
3. Elaboration des « paquets techniques » par la recherche, en milieu contrôlé ou en milieu réel, selon les possibilités. Principe: aussi peu que possible d'expérimentation en station, autant que possible de recherche participative en milieu réel. Selon les cas, conduire des essais parallèlement en station et en milieu réel (champs, forêts villageoises, forêts classées).
4. Parallèlement ou successivement: test des résultats acquis chez les paysans, avec la participation du développement.
5. Passage au développement proprement dit.

En ce qui concerne la diffusion des résultats, les chercheurs s'impliquent toujours plus dans des formes variées de communication. **Néanmoins, la recherche ne s'improvise pas facilement vulgarisation: des relais resteront nécessaires.** Sous l'angle de la recherche, le terme de « pré vulgarisation » paraît approprié.

Esquisses d'action:

- Varier les formes de diffusion des résultats (conférences, visites de réalisations de la recherche, cassettes audio et vidéo, fiches et notes techniques, publications scientifiques).
- Elaborer des documents techniques simples pour la diffusion des résultats vers le développement. Réserver les documents techniques aux chercheurs, aux scientifiques.
- Multiplier les séances de formation à l'intention de la vulgarisation, des milieux du développement.

- Multiplier les actions communes avec le développement et les paysans (essais en milieu réel).
- Chercher la rétroaction (feedback); s'assurer que les résultats diffusés soient applicables et assimilables.

LES OBJECTIFS DU PROGRAMME DE RECHERCHE: UNE ARTICULATION A ETABLIR ENTRE LE « PAQUET TECHNOLOGIQUE » ET L'AMENAGEMENT

La méthodologie de planification décrite ci-dessus permettait de l'entrevoir: l'objectif du programme de recherche, double, est formulé comme suit:

1. **Promouvoir l'aménagement des forêts et la gestion de l'arbre dans le terroir.**
2. **Contribuer à mettre au point un « paquet technologique » pour l'aménagement des forêts et la gestion de l'arbre, dans les domaines suivants:**
 - sylviculture des espèces forestières et agroforestières locales;
 - productions et productivité des peuplements et des arbres;
 - technologies agroforestières;
 - valorisation des produits (approche filière).

Pour chacun de ces objectifs, les contenus ont été formulés en tenant compte des **besoins des populations locales**, qui ont été consultées, de l'« **héritage** » (terme utilisé pour désigner les activités expérimentales en cours depuis plusieurs années) et enfin des **moyens disponibles**.

Un programme cohérent et attractif en découle, dont le détail n'est pas repris ici.

CONCLUSION

Le contenu détaillé du programme n'est donc pas repris ici. On peut se demander pourquoi, puisqu'il s'agit-là de la vie au quotidien de l'institution de recherche.

De fait, il apparaît que dans cet exemple de préparation d'un plan directeur de recherche à moyen terme, la **méthodologie de planification**, notamment la constitution d'un groupe de réflexion chargé de lancer puis d'assurer l'accompagnement du processus, a constitué un résultat aussi important que le contenu du programme.

En outre, les **éléments de stratégie** - liaison avec le développement, recherche participative, pré vulgarisation - représentent dans ce contexte, bien plus que son contenu, l'aspect le plus prometteur du programme. La recherche se doit de dépasser le « paquet technologique » (objectif 2), mais en tirera sa légitimation, pour se préoccuper concrètement de l'aménagement des forêts et de la gestion de l'arbre dans les terroirs (objectif 1), au sens d'une recherche-développement au service des populations rurales.

BIBLIOGRAPHIE

- BAGNOUD, N., 1994: Analyse socio-économique du rôle des arbres et de la productivité dans les parcs à karité et néré de la zone du Mali-Sud. Arbeitsber. Prof. Forstpol. u. Forstök., Internat. Reihe 94/5. Ecole polytechn. féd., Zurich
- DDA, 1993: Planifier en dehors des sentiers battus. Acquérir et renforcer des expériences personnelles en planification. Série PSER. Dir. coop. dév. aide human., Service Evaluation, Berne.
- DUPRIEZ, H. et Ph. de LEENER, 1993: Arbres et agricultures multiétagées d'Afrique. CTA, Wageningen/Terre et Vie, Nivelles
- FELBER, R. et O. DIALLO, 1991: Un programme de recherche en foresterie paysanne dans le sud du Mali: Présentation et premiers résultats. J. for. suisse 142:12, 983-998.
- FRIES, J. et J. HEERMANS, 1992: Naturel forest management in semi-arid Africa: status and research needs. Unasyuva 168 (43): 9-15.
- MAEE/IER, 1992: Plan stratégique de la recherche agronomique du Mali. Programme Productions forestières et halieutiques. Vol. II, doc. 6. Min. Agric. Elev. Envir./Inst. Econ. Rur., Bamako
- SCHNEIDER, P., 1994a: Compilation des données de la Météorologie nationale du Mali, station de Sikasso. Inédit.
- SCHNEIDER, P., 1994b: Communication personnelle.
- SRFS, 1993: Premiers résultats synthétiques des travaux du groupe régional de réflexion sur la recherche forestière appliquée. Stat. Rech. Forest., Sikasso.

PERSPECTIVES ON SOIL PROTECTION IN THE MEDITERRANEAN

GIANCARLO CHISCI

Department of Agronomy and Herbaceous Crops
University of Florence (Italy)

ABSTRACT

The actual cycle of soil degradation in the sloping Mediterranean area has deep root in the past colonization of the sloping land, firstly in the search of defensible and healthy areas and, afterward, for agricultural and pastoral exploitation of an increasing population.

Such a situation is completely changed in the last decades. In disadvantaged Mediterranean agricultural areas, as elsewhere, a decrease and ageing of rural population has occurred, followed by partial abandonment of agricultural and pastoral activities.

The main causes of actual accelerated soil degradation can be summarized as follows: 1) crop specialization and/or decreasing of long-term forage crop in the rotations; 2) reduction and concentration of animal husbandry, determining the reduction, if not complete abandonment, of the traditional organic farming (based in FYM) on a single farm basis; 3) integral mechanization of crop farming, with the following consequences: a) increasing up-and-down ploughing of the soil for arable crop cultivation; b) increasing up-and-down deep ripping for implanting tree crops, yearly tilled up-and-down afterward for annual weeds control; c) overall reduction of mechanical measures for water management and erosion control, such as contour ditches, underground drainage, terraces, etc.; d) enlargement of the cultivation units on slope, to make easy the use of large machinery; e) increase of soil compaction due to machinery traffic; 4) increase of fires for cereal crop straw and stubble disposal, for pastures renovation and for more or less casual forest fires; 5) uncared and/or lack maintenance of structural and infrastructural elements of the landscape:

Some of them are mechanical (levelling and/or modelling slopes; adopting storm water channel, contour ditches or contour road (terracing); underground stabilizing drainage; ploughing and tilling on the contour, etc.); some other are agrobiological (long duration forage crops in the rotation, controlled grass-sod in tree perennial crops; zero or minimum-tillage, mulching, cover crop, residue management in arable land; steered reconsolidation of arable land by reforestation, grass-sodding, forage shrub plantation; forest management and fire control in forest land; management of pasture land avoiding overgrazing and recurring to pasture amelioration practices and rotational grazing.

Soil conservation programmes on a watershed basis seem the adequate strategy by adopting, case by case, appropriate combination of the practices listed above. If and when such a strategy would be adopted, we are confident that, not only the on-site soil degradation would be abated, but also a virtuous way may begin for the recovery of an environment that was overexploited and degraded for a long time

Pratiques et représentations sociales associées à l'érosion des sols viticoles et aux inondations en Saône-et-Loire.

Le vignoble de Saône-et-Loire est victime d'une récente aggravation des inondations et des phénomènes d'érosion des sols. Ces problèmes sont, en grande partie, causés par la modernisation du travail viticole (disparition des murets et des haies, agrandissement du parcellaire, mécanisation conduisant au tassement du sol...). Le Conseil Général, la Direction Départementale de l'Agriculture et à la Forêt et la Chambre d'Agriculture tentent d'y remédier en réalisant des aménagements hydrauliques. Cette politique vise également à agir sur les comportements avec édification d'un code de bonne conduite - une charte - que les viticulteurs s'engagent à respecter.

Nous avons cherché à dégager des cohérences de comportements face à cette politique. Un problème comme celui-là doit nécessairement être abordé dans sa totalité. La lutte contre l'érosion concerne à la fois les structures économiques locales, le système idéologique des viticulteurs, l'image de soi, le statut social, etc... Parmi les multiples dimensions des pratiques sociales, nous en avons sélectionné certaines qui nous paraissent particulièrement intéressantes et pertinentes. Nous nous sommes finalement arrêtés sur trois caractéristiques fondamentales de ces pratiques, non exclusives les unes des autres :

- Les actions peuvent être formulées en terme stratégiques; les viticulteurs y perçoivent un intérêt. Ils s'interrogent sur la validité des pratiques de maîtrise de l'érosion pour leur exploitation.

- Les viticulteurs agissent aussi en référence à leur identité professionnelle et sociale.

- Enfin, les actions des viticulteurs s'inscrivent dans un contexte local particulier fait, la plupart du temps, de relations avec les personnes inondées. Ce dernier aspect est essentiel car les catastrophes engendrées par les inondations contribuent à créer des dynamiques sociales locales aux formes diverses, comme des conflits et le développement de solidarités. Les problèmes d'érosion et d'inondation apparaissent pour les acteurs locaux comme une occasion d'exprimer des mécontentements, des identités collectives et de forger des liens sociaux.

Cette approche montre que nous pouvons difficilement analyser une décision individuelle - l'engagement du viticulteur dans des actions liées à la maîtrise de l'environnement, - en excluant les références aux normes collectives. S'il arrive au viticulteur de juger ses actions à l'aune de la rentabilité de celles-ci pour son exploitation, ce raisonnement s'accompagne de références à des normes professionnelles et sociales et prend également sens en s'insérant dans un contexte relativement localisé.

Les actions des pouvoirs publics s'adaptent aux diverses situations rencontrées localement. Elles sont, la plupart du temps, basées sur la recherche d'un consensus de la part des populations locales et sur la volonté de leur déléguer une partie de la maîtrise de ces problèmes. Cette responsabilité n'a pas

qu'une dimension individuelle car les viticulteurs doivent aussi se grouper pour financer et entretenir les aménagements collectifs. Pour maîtriser les problèmes, les pouvoirs publics s'appuient donc sur les différentes dimensions des pratiques sociales et, notamment, sur les solidarités locales créées par les catastrophes.

Mots clés: érosion- viticulture- Saône-et-Loire.

STRATEGIE DES AGRICULTEURS FACE A L'EROSION DANS LES GRANDES CULTURES DU SUD DU BRESIL

Nilza Maria dos Reis Castro¹, Pierre Chevallier², Véronique Auzet¹, Michel Mietton¹

1 CEREG - URA 95 CNRS, 3, rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg Cedex

2 Laboratoire d'Hydrologie ORSTOM, BP 5045, 34032 Montpellier Cedex 1

Résumé

Dans le sud du Brésil (états du Paraná, Santa Catarina et Rio Grande do Sul), les sols à très haute teneur en argile issus d'un épais basaltique sont, depuis une vingtaine d'années, mis en valeur par un système à base de grandes cultures (soja, maïs, céréales) qui a succédé à la canne à sucre. La fragilité des sols, un défrichement assez anarchique, une mécanisation lourde, un découpage foncier hérité d'une colonisation récente et un système économique chaotique constituent les principaux facteurs d'une érosion importante et généralisée. Cela a conduit les agriculteurs à adopter des stratégies de conservation dynamiques et originales sous l'impulsion de grandes coopératives agricoles et de centres de recherches agronomiques souvent privés.

Les pratiques conservacionistes des producteurs agricoles, plus particulièrement ceux des exploitations de tailles moyennes (taille comprise entre 50 et 500 ha), sont passées en l'espace de vingt ans par plusieurs étapes :

- l'installation de banquettes avec bourrelets isohypses anti-érosifs d'abord à base étroite, plus large ;
- la réorganisation du foncier en « microbassins versants » avec remblaiement mécanique des ravines ;
- le développement important du semis direct sur paillage avec suppression progressive des bourrelets et une rotation pluriannuelle adaptée à lutte contre les adventices et à la décompactation des sols.
- l'utilisation de l'activité biologique de la faune du sol (par exemple celle des « coros », scarabées fouisseurs).

Même s'il existe encore de très nombreux problèmes à surmonter, on note déjà dans le paysage très vallonné de ces régions des progrès bien visibles.

Mots-clés :

Brésil, grandes cultures, érosion, semi direct, coopératives agricoles

1. Introduction

Le plateau basaltique qui couvre principalement les Etats du Paraná, de Santa Catarina et du Rio Grande do Sul au Sud du Brésil est actuellement l'une des grandes zones de production agricole de ce pays, en particulier du soja. Les paysages sont marqués par des ondulations à pentes marquées (atteignant parfois 15%) presque entièrement cultivées et aménagées en banquettes en courbes de niveau. Bien davantage que les limites de parcelles qui couvrent plusieurs hectares à plusieurs dizaines d'hectares, ce sont ces banquettes qui, dans le paysage, délimitent les structures spatiales élémentaires.

Ces régions de latosols épais de plusieurs mètres sont également le siège d'une érosion importante, assez généralisée dans les zones cultivées : arrachement et transfert diffus sur les banquettes cultivées, avec des dépôts nettement identifiables sur les banquettes, incision des drains et ravinements importants. La couleur des écoulements dans le réseau hydrographique est par ailleurs éloquente.

Outre les réseaux de ravines des bas de versants pâturés, dont l'extension et la dynamique paraissent nettement favorisées par les piétinements du bétail, de très nombreuses ravines, dont les sections peuvent atteindre plusieurs m², marquent les limites de propriété et les bords des chemins, pistes et routes. Certains drains du rebord amont des bourrelets des banquettes sont plus ou moins incisés à la jonction avec ces dernières ravines. Enfin, quelques rigoles peuvent être observées à l'aval de débordements ou de rupture des bourrelets : elles sont en général rapidement effacées par les agriculteurs.

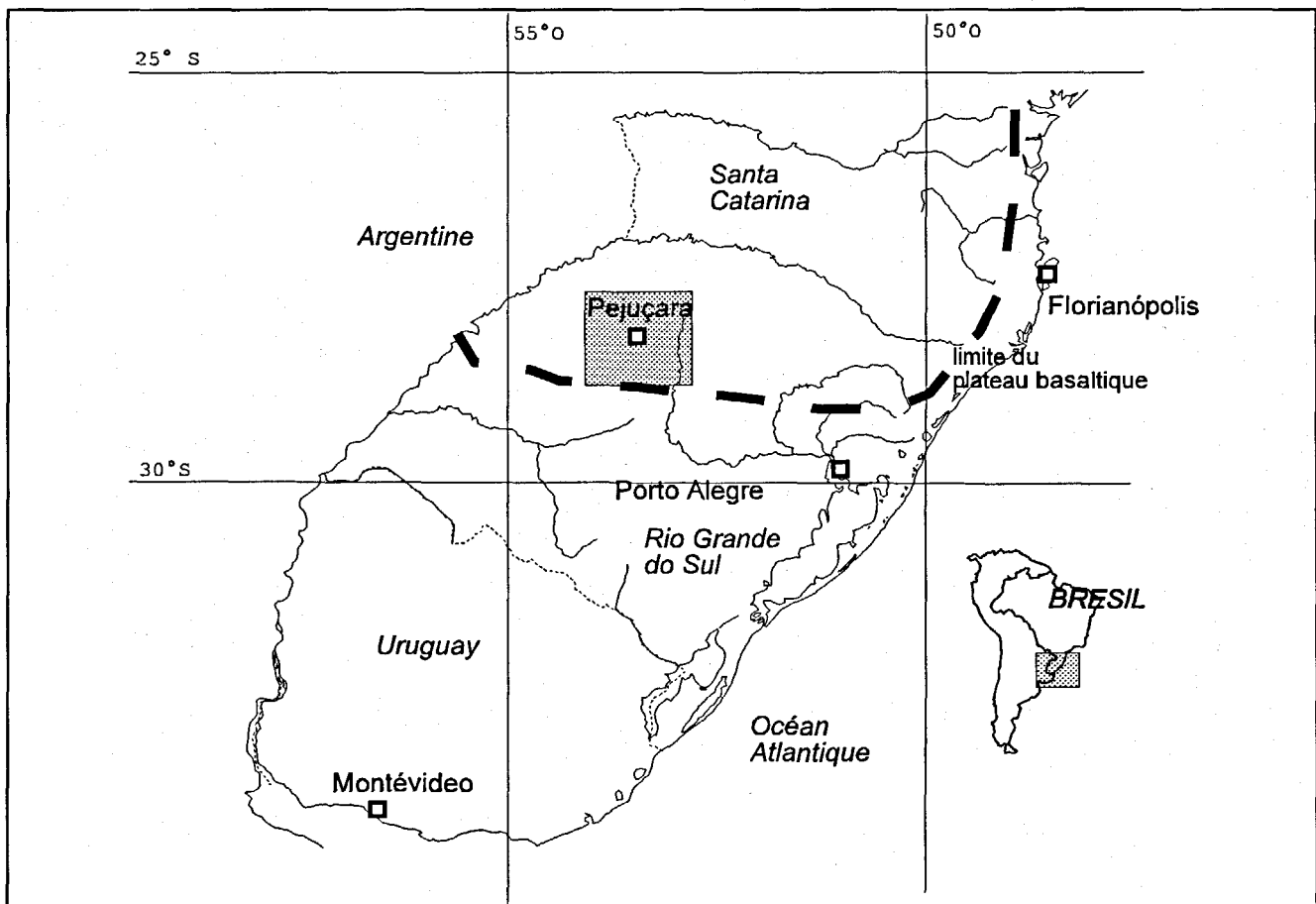


Figure 1: Localisation de la région d'étude

La conscience des phénomènes d'érosion dans le monde agricole apparaît nettement dans le système impressionnant de banquettes. Mais ce système, qui semble a priori limiter les incisions à l'intérieur des propriétés, ne résout à l'évidence nullement le problème des ravinements sur les limites qui sont

rarement traitées. En fait, différentes stratégies sont développées par les agriculteurs depuis la fin des années cinquante, fortement encouragées par les coopératives agricoles. L'objectif limité de cet article est de présenter pour le terroir de la commune de Pejuçara (fig. 1), pris comme exemple dans l'état du Rio Grande do Sul, les stratégies successives et les débats en cours, après une rapide présentation de la région et des causes de l'érosion liées aux étapes de son histoire agraire.

2. Principales caractéristiques de la région de Pejuçara

Pejuçara est une petite ville située à proximité des agglomérations les plus importantes de la région : Ijuí, Cruz Alta et Panambi. Le territoire de la commune s'étend sur près de 40 000 ha. Sa population d'un peu plus de quatre mille habitants, principalement d'origine italienne, est fortement rurale (44%). La taille des 853 exploitations recensées sur le cadastre varie assez fortement.

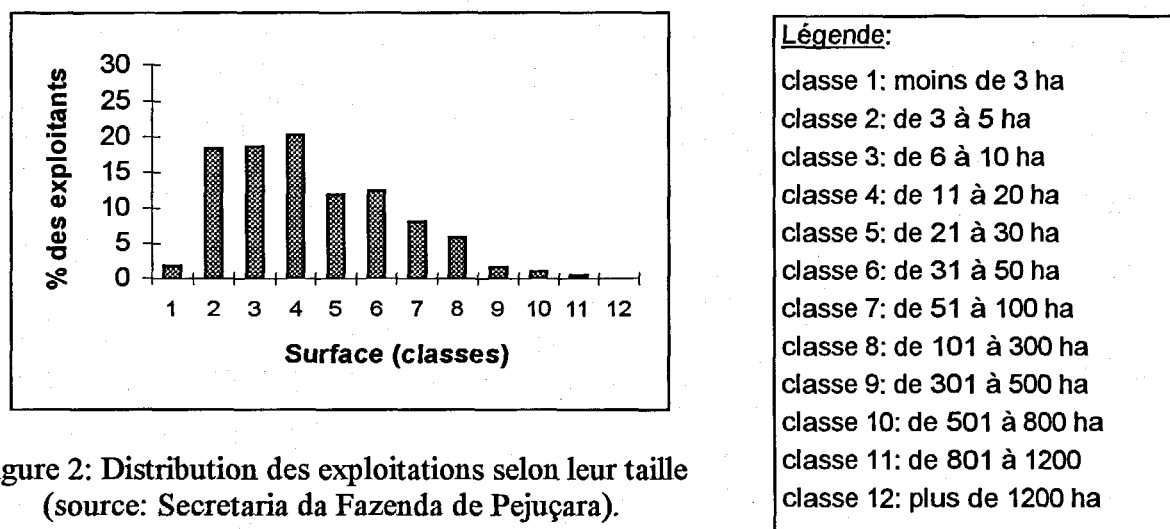


Figure 2: Distribution des exploitations selon leur taille (source: Secretaria da Fazenda de Pejuçara).

Située sur l'épanchement basaltique sud-américain, la région est marquée par des pentes dont les gradients sont généralement compris entre 3 et 10%, avec des maxima de 15%. L'amplitude latérale des ondulations est de l'ordre de quelques centaines de mètres, les dénivelés variant entre 50 et 100 m. Les altitudes s'échelonnent entre 300 et 500 m.

Les sols sont des latosols de couleur rouge sombre, bien structurés, épais généralement de plusieurs mètres et très riches en argile (70%). Ils sont bien drainés (Castro et Chevallier, 1993) du fait de microagrégats qui confèrent au sol des caractéristiques hydriques proches de celles d'un sable filtrant (Derpsch *et al.*, 1991).

Le climat de la région est de type tempéré humide, à saisons nettement marquées, avec une température moyenne de 24°C en janvier et de 13°C en juillet. La moyenne annuelle des précipitations est de 1700 mm; les moyennes mensuelles sont comprises entre 120 et 150 mm, les moyennes des minima se produisant en mars et en novembre, le maximum en octobre. Ces hauteurs et distributions moyennes masquent en fait une très grande variabilité interannuelle (Castro et Chevallier, 1993). Les intensités (tableau 1) peuvent être élevées, bien qu'inférieures à celles des climats tropicaux ou méditerranéens (Chevallier et Castro, 1991).

Au regard des critères classiques « climat-sols-pente-occupation du sol », la région a été classée parmi l'un des deux types de région du territoire national brésilien à fort risque d'érosion (Borges et Bordas, 1988). La part des caractéristiques naturelles doit cependant être relativisée.

Tableau 1 - Intensité - Durée - Fréquence des pluies de la région (in Chevallier et Castro, 1991)

| réurrence (années) | 5 mn | 10 mn | 15 mn | 30 mn | 1 heure | 90 mn | 2 heures | 3 heures |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|----------|----------|
| 1 | 114,8 | 89,4 | 76,9 | 68 | 56,3 | 23,2 | 17,8 | 14,4 |
| 2 | 129,7 | 101,2 | 87,2 | 77,5 | 64,7 | 27,1 | 20,4 | 16,4 |
| 3 | 135,7 | 105,9 | 91,4 | 81,3 | 68,2 | 28,8 | 21,5 | 17,3 |
| 5 | 147,7 | 115,5 | 99,9 | 89,1 | 75,3 | 32,2 | 23,8 | 18,9 |
| 10 | 160,3 | 125,6 | 108,9 | 97,4 | 82,9 | 36 | 26,2 | 20,7 |
| 20 | 172,3 | 135,2 | 117,5 | 105,4 | 90,2 | 39,8 | 28,6 | 22,4 |
| 50 | 187,3 | 147,3 | 128,4 | 115,5 | 99,6 | 44,8 | 31,6 | 24,6 |

3. Les causes anthropiques de l'érosion et les stratégies successives

3.1 Guaranis et portugais

Les premiers habitants de la région ont été les indiens *guaranis* à partir du Vème siècle (Reichardt Filho et Dhein, 1990). Traditionnellement, ils pratiquaient la chasse, la pêche et l'agriculture (maïs, pomme de terre, haricots). Les portugais sont entrés en contact avec eux dès le XVIème siècle sans grand succès puisque leur intention était de les capturer afin de les réduire en esclavage et de les emmener travailler dans les plantations de canne à sucre de la région de São Paulo.

Au début du XVIIème siècle, les espagnols sont arrivés dans le nord de l'état actuel du Rio Grande do Sul, où des missionnaires jésuites s'étaient déjà installés. Le système d'occupation de la terre était alors l'*encomienda* : le roi d'Espagne donnait de grandes surfaces de terre en récompense de services rendus et le nouveau propriétaire utilisait les indiens autochtones pour les travaux, en échange de la subsistance et de l'instruction religieuse.

A la fin du XVIIème siècle, les jésuites ont créé des *reduções* (Lacouture, 1991; Lugon, 1968) qui consistaient à isoler les indiens des colons blancs en respectant leur culture et leurs traditions. Dans ces *reduções* les jésuites ont introduit de nouvelles techniques, en particulier la machette en fer qui servait à défricher, et de nouvelles activités agricoles : culture du coton, du blé, des arbres fruitiers, de l'arbre à maté, et élevage bovin. Ils vivaient et travaillaient la terre en communauté. Ce système portait le nom de *tupamboé* (terre de *Tupa*, ou de la communauté) (Puhl, 1990). Les indiens défrichaient en respectant les plus grands arbres et brûlaient les résidus. Sur cet espace ils semaient à l'aide du *saraqua* (un bâton à l'extrémité pointue qui était utilisé pour ouvrir de petits trous à la surface du sol, dans lesquels étaient mis les graines). Cette pratique de brûlis partiel et localisé assurait une bonne protection au sol. Les *guaranis* changeaient fréquemment de lieu ce qui permettait une reconstitution naturelle des espaces affectés par les brûlis.

En 1750 le gouvernement de Madrid décidait la fermeture des *reduções* ou *missions* au profit du système colonial. Les indiens, refusant la décision, ont tenté de résister pendant plusieurs années (cet épisode a fait l'objet du célèbre et récent film de R. Joffé : *Mission*). Les survivants ont migré vers les villages portugais les plus proches ou vers l'Argentine ; quelques uns sont restés dans la région, dispersés dans la campagne et la forêt (Lacouture, 1991; Puhl, 1990).

Entre 1850 et 1890, la région était principalement habitée par des *caboclos* (portugais nés au Brésil et métis) qui exploitaient le maté et pratiquaient des cultures vivrières (maïs, manioc et haricots). Les techniques agricoles étaient les mêmes que celles utilisées par les indiens *guaranis* (Reichardt Filho et Dhein, 1990).

3.2 Colonisation italienne et allemande

3.2.1. L'installation

En 1824 les premiers émigrants allemands arrivaient au Rio Grande do Sul et s'installaient près des grandes rivières Sino, Caí et Taquarí dans le nord-est de l'état. A partir de 1850, ils commençaient à migrer vers l'ouest de l'état, jusqu'à Santa Maria. Selon Zamberlam et Zamberlam (1991), entre 1875 et 1877, de nouveaux émigrants d'origine italienne ont formés trois colonies dans la partie nord-est du Rio Grande do Sul (Garibaldi, Bento Gonçalves, et Caxias do Sul). Santa Maria, la quatrième colonie, plus à l'ouest, a été occupée entre 1877 et 1882 ; c'était la plus grande. En 1888 la cinquième colonie, celle d'Ijuí a été créée au nord de Santa Maria. Entre 1890 et 1940 sont venus s'installer, au nord de l'état, des migrants d'origine italienne qui étaient déjà installés dans les premières colonies ; ils participaient à la construction du chemin de fer. Les colons ont ainsi occupé tout le nord de l'état du Rio Grande do Sul (Reichardt Filho et Dhein, 1990 ; Zamberlam et Zamberlam, 1991).

La région d'Ijuí a été divisée par l'administration en parcelles rectangulaires de 25 ha (250 m de largeur pour 1000 m de longueur, appelées *colonnes* - figure 3). Ces divisions étaient tracées dans les directions nord-sud et est-ouest (appelées *lignes*) sans respecter la topographie. Seules les rivières les plus importantes étaient prises en considération (Reichardt Filho et Dhein, 1990). Cette division en petites propriétés au découpage quadrillé subsiste encore très largement aujourd'hui, ce qui ne facilite pas des aménagements cohérents à l'échelle d'un bassin versant.

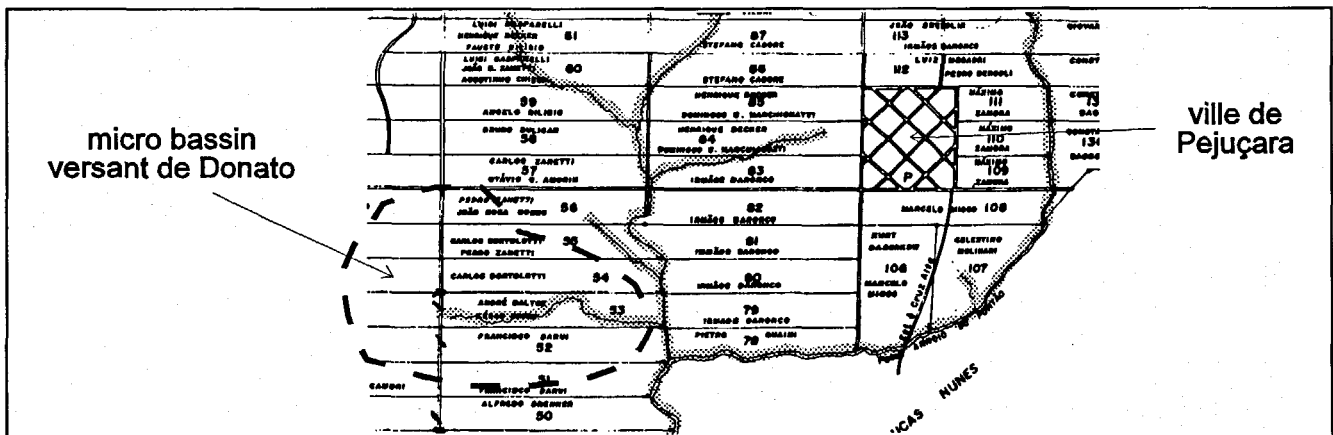


Figure 3 - Divisions foncières *coloniales* et réseau hydrographique à Pejuçara (d'après Zamberlam et Zamberlam, 1991)

Dans la région de Pejuçara et de Cruz Alta, la distribution des terres s'est opérée différemment : le gouvernement brésilien avait chargé une société belge de la construction du chemin de fer qui, incapable de remplir seule son contrat, a du engager une entreprise brésilienne ; les intermédiaires de cette transaction ont reçu en paiement les terres de la région qui ont été revendues à un petit nombre de familles. Ces terres sont aujourd'hui les grandes propriétés de la région.

Les colons construisaient leurs installations près des sources d'eau potable. Les parcelles agricoles étaient au plus près des maisons, à proximité de l'eau, et donc dans la partie aval des versants. Le système d'occupation de la terre devenait *familial*. Même si les méthodes de cultures étaient héritées des indiens *guaranis* et des *caboclos*, les défrichements se sont intensifiés avec la coupe des grands arbres. La pratique de la jachère a été abandonnée.

3.2.2 L'agriculture commerciale

Autrefois, l'agriculture était vivrière. Les colons travaillaient à la construction du chemin de fer pour acheter ce qu'ils ne produisaient pas. A partir de 1911, avec la mise en service de la voie ferrée qui reliait la région aux grands centres de consommations et aux ports d'exportation (Santa Maria, Porto

Alegre, Pelotas et Rio Grande), la situation a changé très vite. Les parcelles agricoles ont été agrandies et la traction animale s'est généralisée pour la préparation du sol.

L'agriculture a été intensifiée dans un but commercial. La pratique du brûlis s'est accrue et a été opérée sur les mêmes parcelles à plusieurs reprises, détruisant la matière organique et la vie microbienne de la couche superficielle du sol. Par suite l'érosion s'est intensifiée avec une notable réduction de la fertilité du sol. Entre 1920 et 1950 la productivité de maïs est passée de 2 300 à 600 kg/ha et celle des haricots de 1 200 à 200 kg/ha (Callai, 1987).

3.2.3 L'agriculture mécanisée

Avec les nouvelles perspectives commerciales, c'est d'abord une culture mécanisée, principalement de canne à sucre destinée à la production d'alcool (*cachaça*), qui s'est développée. Dans la région de Pejuçara elle commence en 1930. La mécanisation (tracteurs et machines lourdes) devient systématique dans les années 50 avec l'introduction du blé et plus tard, dans les années 60, du soja. La canne à sucre disparaît totalement au bénéfice du blé et de l'avoine pour les cultures d'hiver, et du maïs et du soja pour les cultures d'été : en 1960, il existait une dizaine de distilleries artisanales sur la commune de Pejuçara, alors qu'il n'en subsiste qu'une en 1994 (Zambra, comm. orale, 1993)

3.2.4 Le «boom» du soja

1973 constitue le début d'un nouveau cycle bien caractérisé dans l'agriculture de la région. Le prix du soja, à la bourse de Chicago qui détermine son cours international, atteint 520 dollars la tonne en juin 1973 pour 132 dollars en 1972. L'euphorie des agriculteurs se manifeste par un défrichage frénétique pour agrandir leurs parcelles et étendre la culture du soja. La conséquence sur l'érosion des sols est immédiate avec notamment l'apparition de grandes ravines (*voçorocas*). Reichardt Filho et Dhein (1990) en identifient les principaux facteurs :

- l'intensification du défrichage ;
- le passage des machines agricoles dans les parcelles (2 cycles culturaux par an comprenant : préparation du sol, semis, traitements, récolte, etc.) ;
- la dégradation de la structure et le compactage du sol qui sont les conséquences de cette mécanisation ;
- la perte de la matière organique, conséquence du brûlis et du fréquent retournement du sol, exposant celui-ci au soleil et aux précipitations ;
- le non respect d'une humectation correcte du sol pour le travailler, à cause du court espace de temps entre la récolte et le semis de la nouvelle culture ;
- la préparation du sol et le semis dans le sens de la pente ;
- l'expansion de la monoculture et la non-prise en compte des caractéristiques naturelles des sols.

4. Les stratégies contre l'érosion

4.1 Les premières préoccupations de lutte contre l'érosion

En 1958, la technique des banquettes a été préconisée dans la région par le gouvernement, inspirée par la recherche nord-américaine. Mais trois agriculteurs seulement ont accepté les nouvelles techniques anti-érosion. Un des premiers à se préoccuper de façon objective et pratique de l'érosion a été, selon Reichardt Filho et Dhein (1990), le directeur de l'industrie des machines agricoles IMASA, au début des années soixante. Il a commencé une campagne contre le labour de la couche superficielle du sol. Selon lui, à cette époque, cette pratique culturale était la principale cause d'érosion. Il recommandait l'utilisation d'une *sous-soleuse* qui travaillait le sol sans le retourner. Mais cette nouvelle technique n'a pas été acceptée par les agriculteurs qui étaient habitués à travailler le sol avec les méthodes traditionnelles : l'érosion n'était pas encore visible, sauf à l'occasion de l'apparition de ravines.

4.2 Les banquettes

En 1964, l'IMASA propose le *pé de pato* (littéralement *pied de canard*), machine qui permet un sous-solage sans retourner le sol. L'année suivante, l'IMASA lance dans le commerce une machine (*terraceador*) pour construire des banquettes à base étroite (bourrelet d'environ 2 m de large). La largeur des bandes cultivées qui suivent les courbes de niveau dépend de la pente du terrain. A ce moment là, les directeurs et fonctionnaires de cette entreprise commencent une grande campagne de publicité pour les nouvelles machines agricoles. En 1965, 117 *pés de pato* et 75 *terraceadores* sont vendus.

En 1967, l'IMASA propose un nouveau modèle de *terraceador* pour des banquettes à base large (bourrelet de 4 à 6 m de large). La principale différence entre les banquettes à base étroite et les banquettes à base large est que le bourrelet de cette dernière, plus large et moins haut, permet de cultiver toute la surface, y compris le bourrelet lui-même. A partir de cette date, la technique des banquettes, de base étroite ou de base large, est appliquée à toutes les parcelles agricoles et modèle le paysage de la région. Les coopératives généralisent la pratique en stimulant son application. C'est ce qu'aujourd'hui les agriculteurs appellent la technique *conventionnelle*.

4.3 Le programme *Microbassins* du gouvernement

En 1987, le gouvernement brésilien a lancé le « Programme National de Microbassins Hydrographiques », dont le but principal est la conservation du sol, afin d'éviter sa dégradation et d'augmenter la productivité agricole (Reichardt Filho et Dhein, 1990). Dans le programme *microbassins*, qui concerne l'ensemble de l'immense domaine agricole brésilien, la caractéristique principale était de préparer le sol en respectant la topographie et le milieu, plutôt que les limites cadastrales des parcelles. Les objectifs étaient :

- 1) Sensibiliser les agriculteurs au problème de l'érosion et stimuler leur participation directe à l'élaboration et à l'exécution du programme de microbassins ;
- 2) Stimuler la rotation des cultures et les pratiques de la culture et de l'élevage ;
- 3) Stimuler l'utilisation des engrais organiques ;
- 4) Comblent les ravines profondes localisées en général en limite cadastrale des propriétés ;
- 5) Créer des banquettes sur toute la surface agricole du bassin en suivant les courbes de niveau ;
- 6) Nivelent et conservent les routes et voies de communication : l'eau de ruissellement doit être drainée vers les parcelles agricoles ;
- 7) Protéger les cours d'eau avec la reconstitution des galeries forestières sur les berges.

Ce programme ambitieux a été peu appliqué jusqu'à aujourd'hui. Quelques bassins ont été aménagés à l'initiative d'organes gouvernementaux ou de coopératives, mais il n'y a pas eu de participation massive des agriculteurs. Le motif est qu'il n'est pas facile de travailler le sol en commun. Cela nécessite d'abord de bonnes relations entre voisins : il faut, par exemple, être d'accord au moment de la préparation du sol, etc..

Les programmes de microbassins les plus récents encouragent la nouvelle technique du semis direct décrite plus loin.

4.4 Le rôle des grandes coopératives agricoles

Dans ces régions, les coopératives agricoles sont puissantes et bien organisées. Leur action n'est pas limitée à la collecte, au stockage et à la commercialisation des grains. Elles ont un rôle de formation et de diffusion des techniques culturales à l'aide de conférences et de démonstrations pour les agriculteurs et leurs enfants. Un certain nombre de coopératives dynamiques abordent des travaux de recherche en association avec les universités et le Secrétariat de l'Agriculture du Rio Grande do Sul. Depuis 1967, cette recherche a été centralisée à la Fecotrigo (Fédération des Coopératives Céréalières du Sud du Brésil) et, en 1988, une fondation est créée pour gérer un centre d'expérimentation et de recherche (Fundacep) à Cruz Alta. 75 coopératives de la région sont associées et participent aux financements de la recherche (Bonetti, 1991). La Fundacep mène la

recherche et assure la diffusion aux techniciens des coopératives. Ceux-ci la diffusent à leur tour aux agriculteurs des régions de chaque coopérative. Les agriculteurs sont ainsi très bien informés de la recherche et des techniques nouvelles.

En mars 94 un groupe d'ONG (Club des amis de la terre de Cruz Alta, FECOTRIGO, plusieurs coopératives locales, les universités privées d'Ijuí et de Cruz Alta) a réussi à réunir plusieurs milliers d'agriculteurs, venus de tout le sud du Brésil, mais aussi d'Uruguay et d'Argentine, sur le thème du « semis direct sur paillage ». La réussite de ce type de manifestation prouve l'extrême motivation des producteurs agricoles pour les améliorations que peut leur apporter la recherche environnementale.

4.5 Le semis direct

4.5.1 Origine

Le semis direct est une technique de conservation qui a pour caractéristique principale le non retournement du sol et sa protection à travers les résidus de la culture antérieure qui sont laissés à la surface du sol.

Pour ce travail deux machines spéciales sont utilisées. Après la récolte, le *rolo-faca* (littéralement *rouleau-couteau*) passe sur le sol pour couper les résidus et les laisse en surface. Puis, le semis est fait avec une machine qui ouvre des lignes de 5 à 6 cm de profondeur et y dépose les graines. Les adventices et les ravageurs sont contrôlés par des voies chimiques et également par des rotations appropriées (par exemple, le lupin est semé avant le maïs, jamais avant le soja parce que cela entraîne des maladies).

La recherche sur le semis direct a commencé au Brésil dans l'état du Paraná à partir de 1977 à la suite d'une collaboration entre l'IAPAR (Institut Agronomique du Paraná) et le *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit* (GTZ, compagnie allemande pour la coopération technique). Des coopératives agricoles du Paraná et l'Embrapa (organisme fédéral brésilien de recherche agronomique) ont participé également à la recherche.

La région du Paraná a les mêmes types de sols ; sa topographie et son climat sont proches des conditions du Rio Grande do Sul. Calquées sur la recherche menée au Paraná, les techniques du semis direct sont arrivées au Rio Grande do Sul et de nouveaux travaux de recherche ont été développés par les coopératives régionales, les universités et les organismes gouvernementaux. La recherche a été d'abord menée sur des parcelles expérimentales, puis à l'échelle du bassin versant. La comparaison des résultats obtenus sur l'érosion par plusieurs chercheurs selon le type de pratique, semis direct ou préparation conventionnelle, montrent une très grande réduction de l'érosion du sol dans les parcelles sous semis direct (tableau 2). Les chercheurs l'expliquent essentiellement par le fait que les résidus végétaux assurent une protection contre l'impact des gouttes de pluies et un obstacle à l'écoulement superficiel, limitant ainsi le détachement des particules de sols.

Cette nouvelle technique a cependant fait l'objet de nombreuses critiques de la part des agriculteurs. Elles concernaient surtout les aspects suivants :

- 1) L'absence ou la difficulté d'équipement des petits propriétaires ;
- 2) Le compactage important de la couche superficielle du sol, lié à la texture très argileuse.

A ces questions, Ciro Petreire, agronome de la Fundacep (comm. orale, 1993), donne les réponses suivantes :

- 1) Les machines à traction animale peuvent être facilement adaptées, à bas coût, pour le semis direct ;
- 2) Le problème de compactage du sol est résolu par le système de *semis direct sur paillage* qui exige une rotation appropriée des cultures de façon à équilibrer chimiquement et physiquement le sol.

Tableau 2 - Pertes en sol par érosion pour différentes méthodes de préparation du sol. Données de plusieurs travaux de la région sud du Brésil (in Derpsch *et al.*, 1991).

| source | perte en sol (t/ha) conventionnel (C) | perte en sol (t/ha) semis direct (SD) | C/SD |
|-------------------------------|--|--|-------|
| Benatti <i>et al.</i> , 1977 | 40,14 | 13,40 | 3,00 |
| Benatti <i>et al.</i> , 1977 | 3,11 | 2,50 | 1,24 |
| Mondardo <i>et al.</i> , 1979 | 1,99 | 0,09 | 22,10 |
| Mondardo <i>et al.</i> , 1979 | 0,72 | 0,65 | 1,11 |
| Mondardo <i>et al.</i> , 1979 | 3,35 | 0,24 | 13,96 |
| Mondardo <i>et al.</i> , 1979 | 0,39 | 0,00 | - |
| Mondardo <i>et al.</i> , 1979 | 1,58 | 1,22 | 1,30 |
| Mondardo <i>et al.</i> , 1979 | 1,00 | 0,38 | 2,63 |
| Mondardo <i>et al.</i> , 1979 | 19,00 | 5,50 | 3,45 |
| Saraiva <i>et al.</i> , 1981 | 2,33 | 0,19 | 12,20 |
| Saraiva <i>et al.</i> , 1981 | 8,72 | 0,21 | 41,50 |
| Sorrenson et Montoya, 1984 | 9,10 | 5,60 | 1,63 |
| Sorrenson et Montoya, 1984 | 57,70 | 2,10 | 27,40 |
| Moyenne | 11,47 | 2,47 | 4,64 |

4.5.2 Le semis direct sur paillage

Cette technique consiste à effectuer un semis direct sur les résidus déjà coupés par la machine, mais avec une rotation des cultures qui prend en compte l'équilibre chimique et physique du sol. Comme normalement, les agriculteurs partent de la préparation conventionnelle pour commencer le semis direct sur des sols déjà très dégradés, la séquence de préparation suivante doit être suivie :

- 1) Vérification de la présence d'un horizon compacté. Si oui, il faut faire une décompactage mécanique avec le *pé de pato* ;
- 2) Correction de l'acidité du sol avec un amendement calcaire ;
- 3) Pratique des rotations suivantes :
 - première année : avoine, puis soja,
 - deuxième année : blé, puis soja,
 - troisième année : légumineuse (vesce, lupin), puis maïs.

Cette rotation permet d'utiliser le maïs et les légumineuses pour décompacter le sol, grâce à leur système racinaire qui rompt la couche compactée. Les racines de chaque plante cherchent l'eau dans le sol, à différentes profondeurs (pour l'avoine : 60 à 80 cm, le soja : 60 à 90 cm, le blé : 40 à 60 cm, les légumineuses : 20 à 40 cm, le maïs : 160 à 180 cm). Cela permet d'utiliser la réserve utile en eau, ainsi que les qualités chimiques des sols, à différentes profondeurs aux différentes périodes de la rotation.

Le semis direct sur paillage devrait présenter les avantages suivants par rapport au système de culture conventionnel :

- 1) protection de la surface du sol contre l'effet de l'impact des gouttes des pluies ;
- 2) meilleur stockage de l'eau dans la couche superficielle grâce aux résidus végétaux. Les sols de cette région sont très profonds (de 1 à 12 m) et ont un drainage très important ;
- 3) réduction du nombre de passages des machines sur le terrain, d'où une économie en carburant et en heures de travail ;
- 4) augmentation de la teneur en matière organique dans la couche superficielle du sol, d'où une amélioration de la structure physique du sol.

4.5.1 Quelques résultats:

Plusieurs résultats peuvent être mentionnés concernant la région d'Ijuí pour illustrer les principales différences, en termes d'érosion, entre préparation conventionnelle et semis-direct.

A l'échelle de microparcelles de 1 m²

Des microparcelles de 1m², équipées d'un collecteur et d'un réservoir permettant de mesurer les quantités d'eau ruisselée et de sédiments, ont été installées sur des parcelles respectivement préparée conventionnellement et en semis direct. Les observations sur semis direct ont été faites sur une parcelle préparée ainsi depuis seulement deux ans, après vingt années consécutives de travail conventionnel. L'agriculteur n'avait pas opéré de décompactage mécanique du sol et le cycle légumineuses/maïs n'avait pas encore été fait. Ces mesures ont été réalisées dans le cadre du Projet Potiribu (collaboration entre l'Institut de Recherches Hydrauliques de l'Université Fédérale du Rio Grande do Sul et l'ORSTOM).

Ce travail a été mené de 1991 à 1993 d'une part sous pluies naturelles, d'autre part sous pluies simulées. Les résultats (coefficients de ruissellement et pertes en sol) sont donnés dans le tableau 3 pour les événements pluvieux les plus importants et dans le tableau 4 pour les pluies simulées.

Chaque simulation comportait quatre épisodes pluvieux séparés de 24 heures. La pluie appliquée était de 80 mm en 75 mn. Les intensités ont été de 60 mm/h pendant les 20 premières minutes, puis successivement pendant 10 mn, 100 mm/h et 80 mm/h, 60 mm/h pendant 15 mn et 40 mm/h les 20 dernières minutes.

Dans les deux cas, sous pluies naturelles et sous pluies simulées, les pertes en sol sont nettement inférieures pour le semis direct. Concernant les coefficients de ruissellement, s'il n'y a pas de tendance nette sous pluie simulée, ils sont systématiquement inférieurs sous pluie naturelle pour la parcelle en semis direct.

Tableau 3: Coefficients de ruissellement et charges solides pour des parcelles sous pluie naturelle.

| date | nbre jours après le semis | culture | pluie (mm) | érosivité (Wischmeier) (t m mm/ha h) | conventionnel | | semis direct | |
|----------|---------------------------|---------|------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | | | | coeff. ruiss. (%) | charge solide (g) | coeff. ruiss. (%) | charge solide (g) |
| 19/01/93 | 47 | soja | 68,6 | 1,3 | 27 | 51,0 | 4,0 | — |
| 28/01/93 | 56 | soja | 88,5 | 31,9 | 14 | 31,0 | 0,5 | — |
| 21/02/93 | 80 | soja | 50,9 | 14,6 | 9 | 8,0 | 0,0 | 0,0 |
| 07/03/93 | 94 | soja | 113,3 | 29,7 | 17 | 10,0 | 0,4 | 0,2 |
| 09/03/93 | 96 | soja | 48,9 | 15,1 | 48 | 4,0 | 0,0 | 0,0 |
| 25/03/93 | 112 | soja | 43,6 | 33,0 | 46 | 7,0 | 7,0 | 0,3 |
| 07/07/93 | 25 | blé | 106,2 | 23,9 | 30 | 97,0 | 25,0 | 3,8 |
| 12/07/93 | 30 | blé | 51,1 | 10,7 | 65 | 195,0 | 39,0 | 4,4 |
| 27/09/93 | 107 | blé | 21,5 | 0,0 | 8 | 0,7 | 0,0 | 0,0 |
| 04/10/93 | 114 | blé | 35,0 | - | 13 | 3,0 | 0,0 | 0,0 |
| 17/10/93 | 127 | blé | 62,7 | 20,3 | 31 | 23,0 | 0,0 | 0,0 |

Tableau 4: Coefficients de ruissellement et charges solides pour des parcelles sous pluie simulée.

| date | nb jours après le semis | culture | pluie (mm) | conventionnel | | semis direct | |
|----------------|-----------------------------|---------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | | | coeff. ruiss. (%) | charge solide (g) | coeff. ruiss. (%) | charge solide (g) |
| 29/05-01/06/91 | 9 | avoine | 80 | 26 | 48 | | |
| 27-30/08/91 | 99 | avoine | 80 | 55 | 79 | | |
| 10-13/12/92 | 8 | soja | 80 | 66 | 181 | | |
| 26-29/03/93 | 113 | soja | 80 | 93 | 82 | | |
| 14-17/05/93 | 37 après la récolte du soja | avoine | 80 | | | 97 | 44,0 |
| 01-04/09/93 | 122 | avoine | 80 | | | 51 | 2,8 |

A l'échelle de parcelles de 77 m² sous pluies naturelles

Le tableau 5 présente les coefficients de ruissellement et les pertes en sol de parcelles normalisées de *Wischmeier* sous pluies naturelles installées au Centro de Formation de la Coopérative Agricole d'Ijuí, sur trois années de culture préparées avec le conventionnel et le semis direct. Il s'agit de moyennes sur l'année agricole.

Tableau 5 - Coefficients de ruissellement (R) et pertes en sol (PS) sous pluie naturelle, avec différents systèmes de préparation du sol (parcelles de 77 m², 7,5% de pente, sol ferrallitique) (in Cassol, 1986).

| année agricole | | | blé/soja | blé/soja | avoine/maïs | avoine/maïs |
|----------------|----|------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| | | | conventionnel | semis direct | conventionnel | semis direct |
| 1978/79 | PS | t/ha | 7,1 | 0,54 | 9,1 | 0,2 |
| | R | % | 1,8 | 0,3 | 2,6 | 0,1 |
| 1979/80 | PS | t/ha | 12 | 0,5 | 9,5 | 0,5 |
| | R | % | 5,2 | 0,5 | 5,5 | 0,4 |
| 1980/81 | PS | t/ha | 4,4 | 0,4 | 6,9 | 1,5 |
| | R | % | 2,3 | 0,6 | 3,7 | 1,8 |
| Total 1978/81 | PS | t/ha | 23,5 | 1,5 | 25,4 | 2,2 |
| | R | % | 3,1 | 0,4 | 3,9 | 0,8 |

Les différences de pertes en sol sont très importantes entre les deux méthodes pour les deux cycles culturaux. Les charges solides des parcelles préparées conventionnellement sont 16 fois supérieures à celles des parcelles de semis direct pour le cycle blé/soja et 11 fois pour le cycle avoine/maïs.

Les différences entre les coefficients de ruissellement sont moins importantes, mais les parcelles conventionnelles ont un ruissellement tout de même 7 fois supérieur à celles de semis direct lors du cycle blé/soja et 5 fois supérieur lors du cycle avoine/maïs.

A l'échelle des bassins versants

Il n'y a pas encore de données quantitatives disponibles, mais des observations visuelles faites sur les versants étudiés par la Fundacep montrent à l'évidence qu'il n'y a pas de traces d'érosion en ravines dans les zones travaillées en semis direct, alors que, sur les mêmes versants, on note leur présence dès que la pente dépasse 10 à 15% dans les zones travaillées conventionnellement..

Ces résultats limités semblent bien confirmer que le semis direct est une technique qui limite effectivement les pertes en sol. En effet, à toutes les échelles, elles sont nettement moindres que pour les préparations conventionnelles. Pour ce qui est du bilan ruissellement - infiltration, les différences sont moins nettes, et c'est un des éléments du débat, bien que le recul et les résultats scientifiques manquent encore. Il semble que l'infiltration sous semis direct ne soit *in fine* pas moindre, voire plus élevée que pour les préparations conventionnelles, et cette absence de différence, voire cette

amélioration s'expliquerait par une amélioration de la structure physique du profil après quelques années (Petrere, communication orale) et par une meilleure stabilité des agrégats (Roth *et al.*, 1988). Des méthodes complémentaires, utilisant l'activité de la faune du sol pour créer des macropores, sont d'ailleurs étudiées.

4.6 Perspectives: utilisation de l'activité biologique

La Fundacep étudie actuellement un scarabée appelé *coro*. Cet insecte vit dans le sud du Brésil, en Argentine et au Paraguay. Son habitat de prédilection se trouve dans les champs peu travaillés et les parcelles préparées avec le semis direct lui conviennent bien. Le *coro* adulte vit à la surface du sol et s'alimente de la végétation. Il creuse des galeries profondes quasi rectilignes, dont il durcit les parois ; il y pond et ses larves s'y développent. Les larves transportent la végétation de la surface du sol dans les galeries, avant de retourner à l'âge adulte vers la surface du sol. La présence de ce scarabée entretient une macroporosité importante jusqu'à des profondeurs appréciables (bien au delà d'un mètre). Il déplace en outre de la matière organique vers les horizons inférieurs du sol. Pour réguler sa démographie, il suffit d'un cycle de maïs qu'il n'apprécie guère, alors qu'il affectionne le soja, le blé et l'avoine.

La population moyenne dans les sols étudiés est de 20 *coros*/m² et de 18 à 22 galeries/m². La simulation d'une averse présentant une intensité de 250 mm/h a été réalisée en laboratoire sur un cube de sol de 50 cm de côté avec successivement 0, 13 et 26 galeries /m² construites avec de la toile métallique, afin de représenter leur aspect naturel carapacé. Le tableau 6 présente les résultats d'infiltration. On voit clairement l'augmentation de l'infiltration avec l'augmentation des galeries/m².

Tableau 6 Infiltration d'une pluie simulée de 250 mm/h pour plusieurs densités de galeries. (Source : Petrere, comm. orale, 1993).

| nombre de galeries/m ² | % de volume infiltré après une heure de pluie |
|-----------------------------------|---|
| 0 | 26 |
| 13 | 46 |
| 26 | 100 |

5. Conclusion

En dépit, ou à cause, d'une situation naturelle favorable à l'érosion et d'une occupation historique agressive vis à vis de l'environnement (défrichement non contrôlé, brûlis, mécanisation intense, monoculture), les agriculteurs de cette région ont profité de l'importance des surfaces disponibles permettant l'extension des cultures pour maintenir la productivité, au lieu de conserver le sol. Ils se sont par force peu à peu sensibilisés aux problèmes d'érosion et ont su profiter des expérimentations et des travaux scientifiques réalisées par les coopératives agricoles, les ONG et les instituts de recherche.

L'introduction du semis direct sur paillage connaît actuellement un attrait croissant. Les effets protecteurs vis-à-vis du sol de cette technique sont unanimement reconnus. Les conséquences sur la productivité devraient s'avérer positives et sont expliquées par l'amélioration de la structure physique et chimique du sol. Lors de la dernière campagne de soja (décembre 93 à avril 94) les agriculteurs de la région de Cruz Alta qui ont adopté le semis-direct ont eu une production bien supérieure à celle des agriculteurs qui ont préparé le sol de manière conventionnelle (Bordas, comm. orale, 1994). Ce fait, ajouté à tout le travail de recherche et de diffusion des coopératives de la région, a fait que pratiquement tous les agriculteurs de la région ont changé au printemps 1994 leurs pratiques et opté pour le semis direct. Naturellement, le facteur économique a joué un rôle très important dans leur décision.

Tous les chercheurs de la région sud sont d'accord sur les avantages du semis direct par rapport à la préparation conventionnelle dans ce type de milieu. La question en débat est de savoir si l'adoption de cette pratique permet ou non de s'affranchir de l'aménagement en banquettes. Les défenseurs des

microbassins préconisent le semis direct sur des banquettes à base large (pente moyenne) ou étroite (pente forte), s'opposant ainsi à une tendance en constante croissance vers une utilisation du semis direct avec suppression des banquettes. Ce débat est actuellement au coeur des préoccupations des agronomes de la région. Les arguments pour et contre concernent la gestion de l'eau qui doit ruisseler le moins possible. La diminution de la charge solide au sein des parcelles n'est pas suffisante pour empêcher les ravinelements et la question est de savoir s'il faut ou non des mesures d'aménagement complémentaires, les microbassins étant envisagés dans ce cadre. Les caractérisations hydrodynamiques sont encore insuffisantes pour trancher. L'agriculteur semble voir surtout, au delà de la résolution des divergences de voisinage, un intérêt économique : l'entretien des banquettes coûte cher et si une nouvelle technique lui permet d'y échapper tout en résolvant les problèmes d'érosion, il l'adoptera rapidement. Certains tenants du semis direct effectuent aussi un travail pour favoriser l'adoption de rotations culturales en remplacement de la quasi-monoculture du soja, avec des objectifs qui concernent l'amélioration physique des sols mais également une moindre dépendance économique.

6. Sources d'information :

En plus la bibliographie consultée, plusieurs des informations glanées pour cette article sont le résultat de conversations avec :

- Antoninho Zambra, agriculteur à Pejuçara ;
- Ciro Petrere, ingénieur agronome à la Fundacep, Cruz Alta ;
- Marc Pierre Bordas, professeur à l'IPH de l'Université Fédérale du Rio Grande do Sul ;
- Rivaldo Albino Dhein, ingénieur agronome à la Fundacep, Cruz Alta ;
- le Conseil Municipal de Pejuçara ;
- et plusieurs autres agriculteurs.

Cette étude bénéficie du soutien financier du CNPq (Brésil), de l'ORSTOM (France) et de l'Université Fédérale du Rio Grande do Sul (Brésil).

7. Bibliographie

- Bonetti L. P. 1991. *Vinte anos gerando tecnologia para o produtor cooperativo*. Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa Fecotrigô. FUNDACEP (1971 - 1991). Cruz Alta. 33 pp.
- Borges, A. L. et Bordas, M. P. 1990. *Choix de bassins représentatifs et expérimentaux pour l'étude de l'érosion sur le plateau basaltique sud américain*. Sediment Budget (Proceedings of the Porto Alegre Symposium, décembre 1988). IAHS Publ. n 174, 1988.
- Callai J. 1987. *A agricultura na Historia de Ijuí*. UNIJUI ed. Ijuí. 28 pp.
- Cassol E. L. 1986. *Erosão do Solo. Influência do uso agrícola, do manejo e preparo do solo*. Governo do Estado. Secretaria da Agricultura. Departamento de Pesquisas. Instituto De Pesquisas de Recursos Renováveis « Ataliba Paz ». Publicação IPRNR número 15. Porto Alegre. 39 pp.
- Castro N. M. R., Chevallier P. 1993. *Funcionamento hidrossedimentológico de uma terra roxa estruturada ao longo do ciclo cultural sob chuvas simuladas (Projeto Potiribu-RS)*. In: Simposio Brasileiro de Recursos Hidricos, 10., 1993, Gramado. Anais 2, pp. 457-465. Gramado: ABRH/APRH.
- Chevallier P., Castro N. M. R. 1991. *As precipitações na região de Cruz Alta e Ijuí (RS-Brasil)*. In : simposio Brasileiro de Recursos Hidricos, 10., 1991, Rio de Janeiro. Anais 3, pp. 183-192. Rio de Janeiro : ABRH/APRH.

- Derpsch R., Roth C. H., Sidiras N., Köpke U. 1991. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo.** Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Eschborn. 272 pp.
- Lacouture J. 1992. **Jésuites. T. 1. Les conquérants. ch. XIII. Une théocratie chez les Guaranis.** Le seuil, Paris.
- Lugon C. 1968. **A República comunista cristã dos guaranis - 1610/1768.** Série Ecumenismo e Humanismo. Volume 12. Ed. Civilização Brasileira. Rio de Janeiro. 347 p. Traduit par Alvaro Cabral (titre original La republique communiste chrétienne des guaranis - 1610/1768).
- Puhl J. I. 1990. **Cultura Indígena e a Evangelização.** cadernos « Culturas oprimidas e Evangelização no RS ». VI Encontro Intereclesial de CEBs/RS. Rio Pardo. 15 pp.
- Reichardt Filho L., Dhein R. A. 1990. **Um Histórico da « Agropecuaria Conservacionista do Solo » em Ijuí.** Ijuí. 74 pp.
- Roth C H., Meyer B., Frede H. G., Derpsch R. 1988. **Effect of Mulch Rates and Tillage Systems on Infiltrability and Other Soil Physical Properties of an Oxisol in Paraná, Brazil.** Soil & Tillage Research, 11 (1988) 81-91. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam.
- Zamberlam J., Zamberlam R. O. 1991. **Pejuçara - suas origens na Colonia Visconde de Rio Branco - 1899 a 1930.** Pejuçara. 123 pp.

BISSON J.

Professeur émérite des Universités.

Laboratoire URBAMA (C.N.R.S.) Université F. Rabelais. Tours.

23 rue de la Loire. B.P.2221, 37021 TOURS cedex.

"VICTOIRE SUR LE DESERT" AU SAHARA MAGHREBIN?

L'objet de la communication est de montrer, à partir de cas concrets, les incidences des très grandes transformations que connaît depuis une trentaine d'années le Sahara maghrébin. Les premiers signes d'une dégradation du milieu oasien, et de son environnement, contrebalancent partiellement les effets positifs qui découlent de la diversification des emplois et du développement rapide d'une agriculture passée de l'auto-consommation à l'économie de marché, tantôt dans un cadre spontané, tantôt dans le cadre d'une politique volontariste exacerbée.

Il apparaît que tout développement en milieu désertique-qu'il soit urbain ou agricole- entraîne rapidement des atteintes à l'environnement, car il ne peut échapper aux contraintes d'une topographie indécise (endoréisme). En outre l'absence d'études concernant les conséquences de l'utilisation des potentialités hydrauliques, ou l'absence de discipline en matière d'irrigation font que tout aménagement évolue dans le cadre d'un équilibre difficile à maîtriser entre risque du manque d'eau ou, plus souvent, d'excès d'eau, avec pour corollaire une salinisation rapide qui limite d'autant les futurs terroirs colonisables.

Les atteintes les plus spectaculaires touchent les oasis traditionnelles: la question est de savoir si elles sont, comme l'affirment les décideurs des plans de développement qui secouent les sociétés sahariennes, et si, pour cette raison, le basculement brutal du tout-humain au tout technique trouve une justification. Il n'empêche qu'une telle attitude- qui sacrifie le long terme au bénéfice du court terme (croissance démographique oblige!)- peut comporter bien des dangers pour l'environnement tout entier, et donc compromettre l'avenir du Sahara dans son ensemble.

En définitive est posé le dilemme de la forme de développement à adapter. Se plier à des objectifs politiques d'intérêt national, au risque de se lancer dans une agriculture "minière", avec ses séquelles prévisibles? S'adapter aux conditions des lois du marché, qu'il dépende des consommateurs locaux, ou qu'il fluctue au gré des intérêts mondiaux? Assurer la permanence des sociétés locales organisées autour de l'hydraulique traditionnelle, au risque de voir perdurer de solides iniquités sociales?

Mots clés: Désert- Sahara- Dégradation de l'environnement- salinisation des terres- développement.

**Les effets économiques et pédologiques du semis direct
dans les savanes brésiliennes (Cerrados).
Une technique agricole qui améliore la durabilité d'un système cultural.**

par
TEIXERA S., P. de FREITAS, J. LANDERS, Ph. BLANCANEUX et A. MILOMEM

**EMBRAPA/CNPS/BRESIL ; APDC ; ORSTOM ; CNPq ;
ProjetFINEP/PADCT - EMGOPA**

L'exploitation agricole durable ("sustainability") est un concept complexe qui concerne les domaines socio-économiques et agro-écologique, par le biais des systèmes alternatifs de production de la biodynamique de la matière organique, principalement dans l'environnement des "Cerrados". Des études plus approfondies et minutieuses des interactions et de leurs effets sont nécessaires sous peine de perdre leur signification. Parallèlement aux éléments physiques qui découlent des caractères structuraux des sols, il est nécessaire d'envisager les interférences de l'agriculteur, afin de comprendre les raisons économiques qui le poussent à différentes options, notamment l'adoption de technologies appropriées en harmonie avec l'environnement et conditionnées par le contexte macro et les politiques de stimulation et de compensation grâce aux bénéfices résultants pour la société.

Ce travail résulte de l'évaluation du système de semis direct réalisé dans différentes conditions de sol: organisation micro et macromorphologique, caractères physiques, chimiques et biologiques et dynamique de la matière organique. A partir d'études de cas, ont été retenus les facteurs économiques qui semblent liés à une production agricole soutenue grâce au semis direct, technique alternative récemment introduite dans les Cerrados du Brésil; des comparaisons ont été réalisées avec les systèmes conventionnels à charrue à disques lourds. L'impact de la nouvelle technique est quantifié grâce à l'emploi d'un modèle de gestion des cultures et d'investissement sur 20 ans. Une analyse de sensibilité a été appliquée aux facteurs inhérents à l'activité, les implications sur les résultats économiques ont été envisagées.

Les résultats obtenus par l'analyse morpho-structurale sont favorables au système du semis direct qui, associé à d'autres pratiques agro-écologiques, confirment la préservation des ressources naturelles de la région. Le système qui permet de maintenir le sol constamment protégé grâce aux résidus des cultures antérieures, conduit aussi à l'amélioration des conditions structurales, de la dynamique de la matière organique et de l'activité biologique et en conséquence à un accroissement de l'efficacité de l'utilisation de l'eau et des nutriments par les plantes. Le système est considéré comme un moyen de réduire l'utilisation des pesticides, des fertilisants, il aboutit donc à un rendement économique plus important, à un contrôle de l'érosion et à une protection globale de l'environnement.

L'étude de cas montre que le taux interne de retour (TIR) est passé de 5,3% pour le système conventionnel à au moins 15,1% pour le semis direct, mais des valeurs de 27,2% peuvent être atteintes. Le travail suggère que des aides sont nécessaires pour une plus grande adaptation du système de semis direct par l'intermédiaire de transferts sociaux lesquels pourraient être compensés par les gains réalisés en éliminant les effets négatifs de l'érosion.

Mots clés: coûts de production- investissement en machine- conditions structurales et érosion des sols.

**Les effets économiques et pédologiques du semis direct
dans les savanes brésiliennes ("Cerrados").
Une technique agricole qui améliore la durabilité d'un système cultural.**

*Sonia M. Teixeira; Pedro L. de Freitas; John N. Landers
Philippe Blancaneaux et Alzirene Milhomem*

EMBRAPA/CNPS/BRESIL; APDC; ORSTOM; CNPq;
Projet FINEP/PADCT-EMGOPA

INTRODUCTION

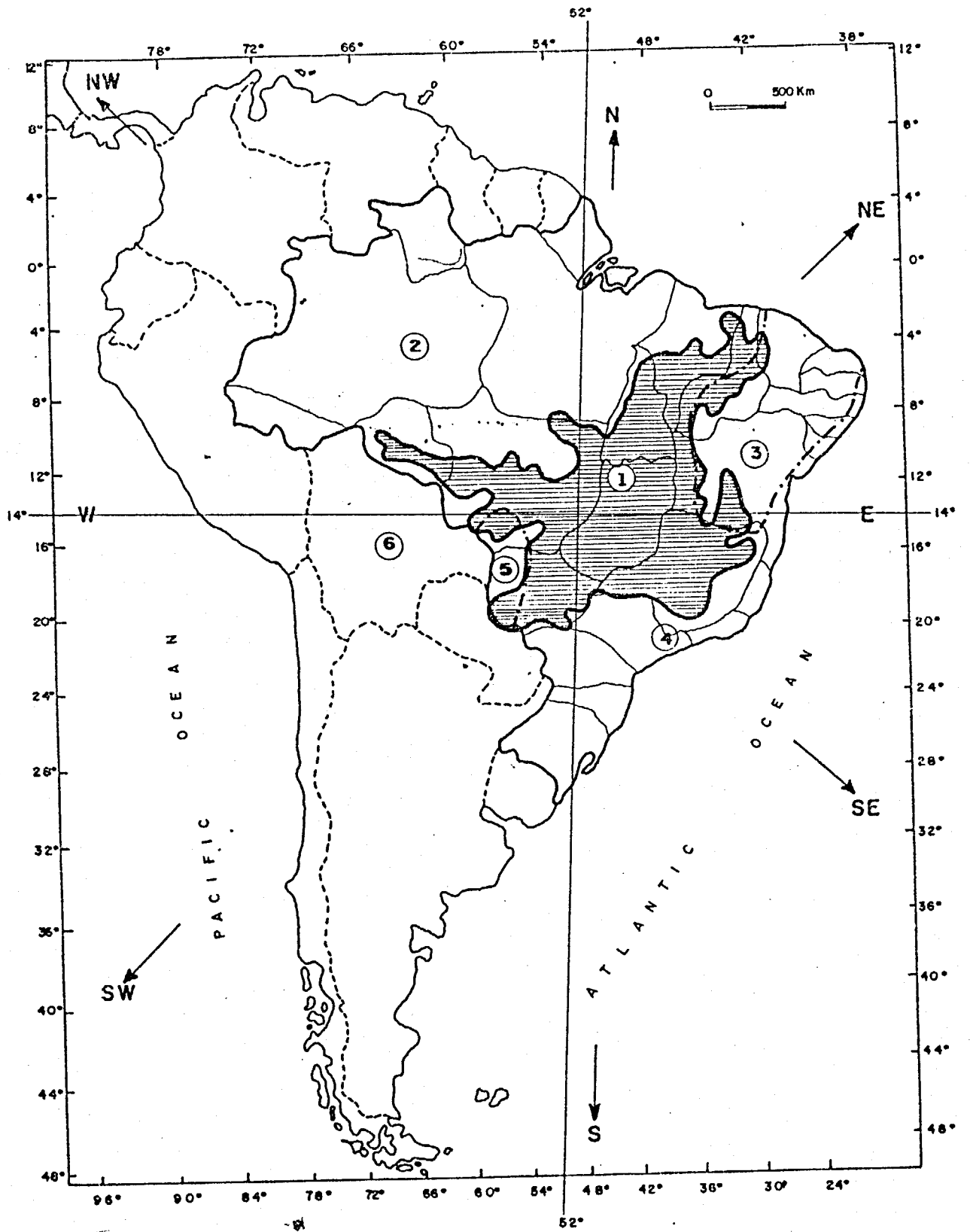
Le concept de production agricole durable intègre les dimensions socio-économiques et agro-écologiques associées aux systèmes culturaux. L'analyse d'un système de culture et la proposition de solutions alternatives, susceptibles d'être adoptées par les agriculteurs, nécessitent la prise en considération de facteurs internes et externes au système lui-même.

Le biotope des savanes brésiliennes, appelées "Cerrados", est localisé dans le Centre-Ouest du Brésil (Figure n° 1). La topographie générale de cette région est constituée de plateaux mollement ondulés appelés "Chapadas". Le climat y est de type tropical sub-humide. Une grande variété de sols et d'espèces végétales caractérisent le Centre-ouest du Brésil. Cependant, les sols ferrallitiques (latosols ou oxisols) y dominent largement, couvrant à eux seuls 45 % de la superficie des "Cerrados".

Les "Cerrados" produisent entre 28 et 35 % de la production brésilienne de soja et de riz. Un tiers du cheptel bovin vit dans ces zones de savane (Sanint et Rivas, 1990). Mais l'écosystème des savanes est fragile. Après quelques années de culture continue, les sols ferrallitiques perdent leur fertilité et les rendements agricoles diminuent. Les facteurs les plus importants de cette chute de productivité des sols sont la perte de matière organique et la détérioration des propriétés physiques du sol, plus particulièrement de sa structure. L'évolution de la structure des sols cultivés conduit à leur tassement et à favoriser les processus d'érosion (Blancaneaux et al., 1994; Freitas et al., 1994 b).

Comment éviter les effets négatifs de l'utilisation intensive des terres de savane et augmenter les rendements de manière à rendre ce biotope plus attractif aux investissements du secteur agro-industriel ? Résoudre le problème de la perte de fertilité et de la modification de la structure des sols des "Cerrados" contribuera à limiter la destruction des ressources naturelles végétales des forêts tropicales en Amazonie et des savanes inondables au Pantanal.

Nous remercions M. LAMACHERE d'avoir traduit en français cette communication.



- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| 1- "Cerrado" (Acid Savannas) | 4- Atlantic Forest |
| 2- Amazon | 5- "Pantanal" |
| 3- Semi Arid | 6- Andinian - Continental |

Figure 1. Les Ecosystèmes de l'Amérique du Sud

Les stratégies de développement durable doivent être fondées sur une bonne compréhension des facteurs sociaux et économiques de la production ainsi que sur un bon diagnostic des problèmes physiques et chimiques liés à l'utilisation des sols. Parmi les facteurs économiques on peut citer les infrastructures existantes, les techniques agricoles utilisées et les conditions d'accès au marché. Parmi les facteurs sociaux, citons la dynamique des populations, le mode d'appropriation et la gestion des terres, la gestion de l'écosystème.

La technique du semis direct ("Zero Tillage") apparaît ici comme un des éléments de la gestion intégrée du biotope des "Cerrados". Elle constitue un bon moyen de limiter l'érosion mais doit être associée à d'autres pratiques culturales comme la rotation des cultures, l'utilisation de plantes de couverture et d'engrais vert, la lutte antiparasitaire, le contrôle de l'enherbement et l'utilisation rationnelle des pâturages pour assurer la durabilité du système de culture (Freitas et al., 1994 c).

Les programmes de recherche menés par l'EMBRAPA/CNS en coopération avec l'ORSTOM dans les "Cerrados" sont soutenus par les associations de fermiers brésiliens. Ils visent à atteindre les objectifs fixés par le projet EMGOPA-FINEP/PADCT : l'amélioration durable du système de culture des "Cerrados" et la préservation de leur écosystème (Freitas et al., 1994 c).

METHODOLOGIE

Les observations au champ et les enquêtes auprès des fermiers ont permis d'analyser les conditions sociales et économiques des systèmes de culture. Des expériences au champ ont permis d'analyser les effets des systèmes de culture sur le sol, sa structure et sa fertilité. Les expériences alternatives de semis direct ont été conduites par les fermiers.

Les systèmes de culture.

Les trois systèmes culturaux étudiés sont les suivants :

- 1 - Une préparation conventionnelle (PC) du sol par :
 - un labour de profondeur moyenne (15 cm),
 - suivi d'une pulvérisation en 2 passages au pulvérisateur-niveleur à disques,
 - avec incorporation d'un herbicide non sélectif (trifluraline);
- 2 - Un semis direct (PD pour "Plantio Direto") sur les résidus de culture, avec application d'un herbicide non sélectif après la levée (glyphosate).
- 3 - Une production hivernale irriguée (PI) de haricot , par aspersion à l'aide d'un pivot central.

L'analyse économique

Nous avons procédé à une étude de cas pour recenser les facteurs favorables à l'utilisation durable du système en semis direct (PD) en comparant les résultats économiques des 3 systèmes de culture.

Les deux premiers sont utilisés pendant l'été pour la culture du soja et du maïs, le troisième pendant l'hiver pour la culture du haricot. Pour effectuer la comparaison économique des 3 systèmes culturaux, nous avons utilisé le calcul du taux interne de rentabilité (TIR) en simulant le fonctionnement économique des systèmes sur une période de 20 ans.

Dans le modèle économique nous avons pris en compte les facteurs suivants :

- 1 la durée de la culture,
- 2 le coût de la main d'oeuvre,
- 3 les coûts de production du soja, du maïs et du haricot,
- 4 l'achat et l'entretien des machines et des outils de production,
- 5 les flux monétaires,
- 6 le taux interne de rentabilité.

Pour analyser la sensibilité du modèle économique, nous avons considéré :

- une augmentation de 2 % des rendements après la seconde année,
- une réduction des engrais phosphorés de 20 %,
- une augmentation des bénéfices dûs à la petite récolte (25 \$ US par hectare),
- une réduction des besoins en calcaire de 33 %,
- une réduction de 1 % du coût des engrais pour la réduction des effets érosifs.

Le comportement des sols

Les observations liées au comportement physique des sols ont été faites au champ sous les systèmes de culture conventionnels (PC) et alternatifs en semis direct (PD), sur un sol ferrallitique argileux désaturé de couleur rouge sombre (Latossolo Vermelho Escuro argiloso ou dark-red clayey Oxisol).

Des analyses morphologiques détaillées des profils culturaux ont été réalisées (Gautronneau et Manichon, 1987; Blancaneaux et al., 1991). Les paramètres observés sous les différents systèmes de culture sont consignés sur le tableau 1. Des analyses physiques, chimiques et biologiques complémentaires ont été faites au laboratoire. Elles sont consignées sur le même tableau.

**Tableau 1 : Observations au champ et analyses pédologiques au laboratoire.
(Blancaneaux et al., 1994)**

*** Observations au champ**

- Etat structural : nature, netteté, généralisation, type, classe et degré de développement.
- Porosité apparente : quantité, taille, forme et orientation.
- Consistance : à l'état sec (dureté et ténacité),
à l'état humide (friabilité et compacité),
à l'état mouillé (plasticité et adhésivité).
- Racines : abondance, type et grosseur.
- Activité biologique : intensité, type et distribution.
- Résistance à la pénétration (pocket penetrometer).
- Infiltration.
- Caractéristiques biologiques :
 - micro-faune, méso-faune et macro-faune,
 - profil d'enracinement.

*** Analyses physiques, chimiques et biologiques au laboratoire.**

- Microscopie :
 - micro-morphologie, microscopie électronique, tomographie.
- Constituants du sols :
 - granulométrie et minéralogie,
 - statut chimique (acidité, bases échangeables, réserve minérale, fer),
 - statut organique (carbone, azote, fractionnement granulométrique de la matière organique).
- Etat physique et comportement :
 - stabilité structurale,
 - comportement rhéologique,
 - granulométrie des agrégats,
 - espace poral : micro-morphologie, densimétrie, rétractométrie, rétention hydrique et porosimétrie au mercure.

RESULTATS ET DISCUSSION : LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DU SEMIS DIRECT (PD)

Les coûts de production (Tableaux n° 2, 3 et 4)

Comparé au système conventionnel (PC), le système en semis direct (PD) présente des coûts de production plus élevés pour le soja : + 6,1 % les deux premières années et + 1,9 % pour les années suivantes (Tableau n°2).

Pour le maïs, les coûts de production restent très légèrement plus élevés avec le semis direct pour les deux premières années (+ 0,6 %). Ils deviennent ensuite, pour les dix-huit années suivantes, assez nettement inférieurs aux coûts de production du traitement conventionnel des sols (- 2,0 %).

**Tableau n° 2 : Coûts de production comparés des systèmes en semis direct (PD)
et en traitement conventionnel des sols (PC).**

| Culture | Périodes | Coût de production par hectare en \$ US | | | PD - PC en % |
|-------------------|---------------|---|--------|---------|-----------------|
| | | PD | PC | PD - PC | |
| Soja ² | Années 1 et 2 | 275,06 | 259,13 | + 15,9 | + 6,1 |
| Soja | Années 3 à 20 | 264,06 | 259,13 | + 4,9 | + 1,9 |
| Maïs | Années 1 et 2 | 333,93 | 331,82 | + 2,1 | + 0,6 |
| Maïs | Années 3 à 20 | 325,23 | 331,82 | - 6,6 | - 2,0 |

2 - Soja avec millet (petite récolte).

En évaluant, de la même façon que pour les autres systèmes, le système de production irriguée (PI), les coûts sont nettement plus élevés lorsque les fermiers pratiquent le semis direct (+ 37 %). Cependant cette pratique offre la possibilité de réaliser 3 cultures par an.

En détaillant les coûts de production on s'aperçoit que les intrants (engrais, herbicides, semences, insecticides, fongicides) couvrent 70 à 80 % du coût de production contre 20 à 30 % pour l'utilisation des machines (Tableau n° 3).

Tableau n° 3 : Répartition des coûts entre les intrants et l'utilisation du matériel.

| | PD | PC | PI |
|-----------------|------|------|-------------------|
| Intrants | 78,4 | 71,0 | 80,2 |
| Machines | 21,6 | 29,0 | 19,8 ³ |

3 - Avec l'équipement d'irrigation.

Les coûts de l'utilisation du matériel

Les systèmes en semis direct (PD) et irrigué (PI) ont des coûts de production moindres quant à l'utilisation du matériel. La force de traction nécessaire au semis direct est en effet de 33 % inférieure à celle qui est nécessaire au traitement conventionnel du sol avec labour et pulvérisation :

- 0,57 cheval-vapeur par heure pour le traitement conventionnel,
- 0,38 cheval-vapeur par heure pour le semis direct.

Les coûts d'utilisation des machines sont théoriquement les mêmes pour les deux systèmes en semis direct et en irrigation. Cependant la possibilité d'appliquer les pesticides à partir du pivot central fait baisser le coût d'utilisation des machines de 1,8 % en irrigation par rapport au système en semis direct.

Les coûts des intrants

Le coût des intrants apparaît finalement comme la composante la plus importante des coûts de production. Nous avons détaillé sur le tableau n° 4 la répartition des coûts en fonction du type d'intrant.

Tableau n° 4 : Répartition des coûts en fonction du type d'intrant.

| Intrants | PD | PC | PI | PD / PC | PD / PI | PC / PI |
|-------------------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|
| Pesticides | | | | | | |
| Herbicides | 18,7 | 10,97 | 11,9 | + 70,4 | + 57,3 | - 7,7 |
| Insecticides | 3,03 | 2,99 | 6,3 | + 1,3 | - 51,9 | - 52,5 |
| Fongicides | 0,79 | 0,81 | 6,94 | - 2,4 | - 88,9 | - 88,3 |
| Engrais | 43,76 | 44,78 | 49,17 | - 2,2 | - 11,0 | - 8,9 |
| Semences | 12,12 | 11,43 | 5,9 | + 6,0 | + 105,4 | + 93,0 |

Comparés aux coûts des intrants en système conventionnel (PC), les coûts des intrants sont de 7,4 % plus élevés avec le système en semis direct (PD). La culture irriguée de contre-saison (PI) fait croître de 9,42 % le coût du contrôle antiparasitaire par rapport au système en semis direct (PD) (9,44 % par rapport au système conventionnel).

L'historique des cultures et des intrants montre une augmentation de 20 % dans l'utilisation des intrants entre les années 1993 et 1994. Cependant, à cette augmentation de 20 % des intrants, correspond un accroissement de 23 % des rendements en maïs (de 6 à 7,4 tonne par hectare). Cependant, pour évaluer la productivité à long terme des trois systèmes de culture, une prolongation de l'étude est nécessaire.

Les rendements et les revenus

Les rendements agricoles ont été observés pendant 4 ans, de 1989 à 1993.

Pour le maïs pluvial, les rendements varient d'une année à l'autre en fonction de la répartition des précipitations pendant la période de croissance et de maturation du maïs. La figure n° 2 présente les rendements en grains par hectare pour les systèmes de culture conventionnel (PC) et en semis direct (PD). L'écart moyen est de 0,12 tonne par hectare au bénéfice du système conventionnel. Les rendements sont significativement différents pour l'année 1990-91 au bénéfice du système en semis direct (+ 0,55 t/ha) et pour l'année 1992-1993 au détriment du semis direct (- 0,78 t/ha).

Pour le haricot irrigué, les rendements en grain sont présentés sur la figure n°3. Ils montrent très nettement la supériorité du système en semis direct (PD) par rapport au système conventionnel. Sur la période de 4 ans, l'écart moyen annuel au bénéfice du système en semis direct est de 0,60 tonne par hectare. L'écart maximal est observé au cours de la quatrième année (1993) avec un écart de 1,4 t/ha. Le rendement de la culture irriguée du haricot en semis direct fait apparaître une constante augmentation des rendements qui est interprétée comme une amélioration de la structure du sol due aux effets du semis direct. Cette augmentation est confirmée par l'analyse morpho-structurale des sols.

Les figures n° 4 et 5 présentent les revenus nets des productions de maïs pluvial et de haricot irrigué sous les deux systèmes de culture. Les revenus nets sont calculés en éliminant du revenu brut toutes les dépenses de main d'oeuvre, d'irrigation, de labour, d'achat et d'épandage des pesticides, des engrais et des semences.

Pour le maïs pluvial, malgré deux années à revenu nul (1989-90 et 1992-93), le système en semis direct présente un excédent de 68 dollars US par hectare par rapport au système conventionnel. Les revenus moyens sur la période 1989-93 sont :

- de 82,5 \$ US par hectare et par an pour le système conventionnel,
- de 99,5 \$ US par hectare et par an pour le système en semis direct.

Pour la culture irriguée du haricot, les écarts au bénéfice du système en semis direct sont beaucoup plus importants et ce système permet de doubler les revenus par hectare : 394 \$ US par hectare et par an pour le système en semis direct, 173 \$ US par hectare et par an pour le système conventionnel. Les écarts sont particulièrement importants pour la dernière année (1993), pour laquelle le revenu par hectare a été multiplié par 6 avec le système en semis direct.

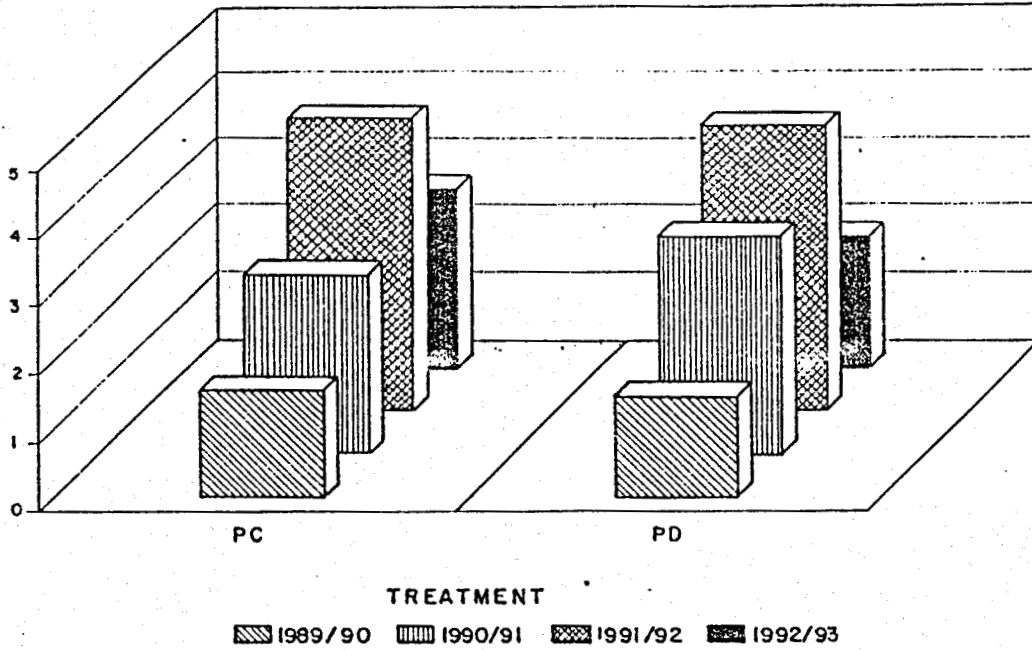


Figure n° 2 : Rendements en grains, en tonnes par hectare, pour le maïs pluvial, cultivé l'été sur la période 1989-1993.

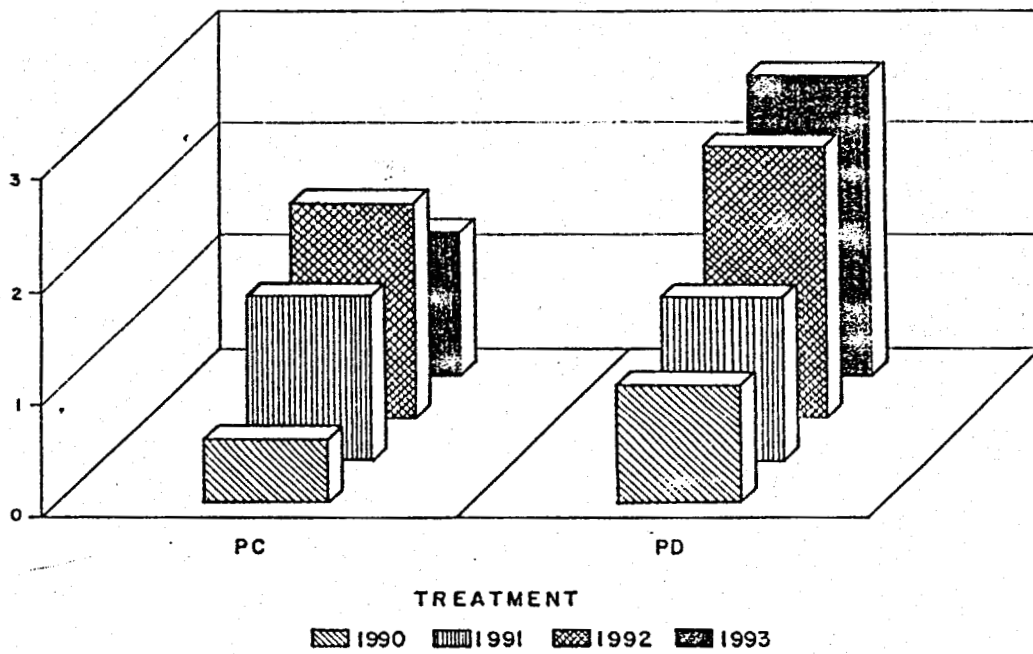


Figure n° 3 : Rendements en grains, en tonnes par hectare, pour le haricot irrigué, cultivé l'hiver sur la période 1989-1993.

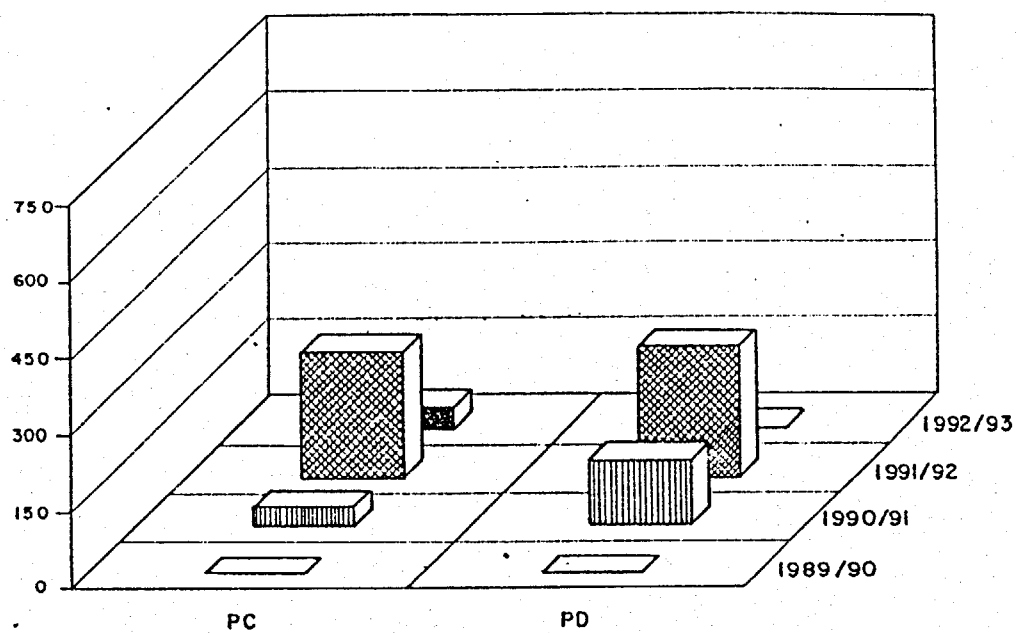


Figure n° 4 : Revenus nets en \$ US par hectare pour la culture du maïs pluvial, sur la période 1989-1993.

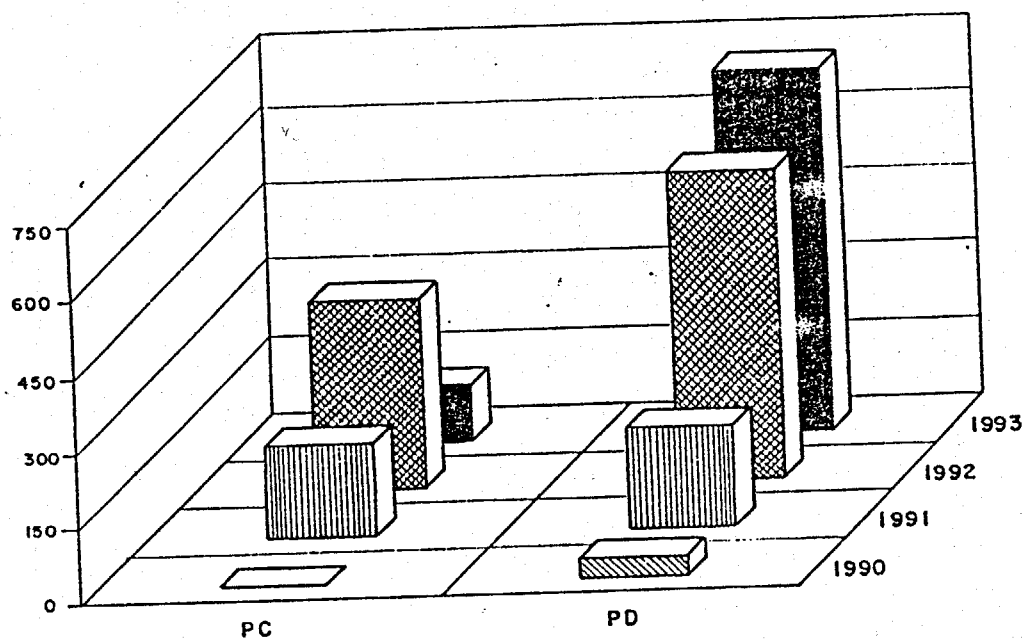


Figure n° 5 : Revenus nets pour la culture du haricot irrigué, en \$ US par hectare, sur la période 1989-1993.

Le taux interne de rentabilité (TIR)

Le tableau n°5 présente les résultats de l'analyse du taux interne de rentabilité pour les deux systèmes de culture en préparation conventionnelle du sol (PC) et en semis direct (PD). Il présente également les résultats d'une analyse de sensibilité dans le calcul du taux interne de rentabilité pour un ensemble de 6 facteurs.

Les figures n° 6, 7 et 8 présentent les résultats de l'analyse de sensibilité dans le calcul du taux interne de rentabilité pour une variation du revenu brut (Figure n°6), pour une variation globale des coûts de production (Figure n° 7) et pour une variation des coûts opérationnels (Figure n° 8).

Tableau n° 5 : Résultats de l'analyse de sensibilité dans le calcul du taux interne de rentabilité (TIR).

| | TIR en % |
|---|----------|
| Situation de base | |
| Préparation conventionnelle PC | 5,29 |
| Semis direct PD | 15,13 |
| Facteurs de sensibilité | |
| Rendements en grains : + 2 % | 15,75 |
| Engrais phosphorés : -20 % | 17,44 |
| Bénéfices de la petite récolte : + 25 \$/ha | 24,89 |
| Coûts d'entretien des machines : - 5 % | 25,66 |
| Ajout de calcaire : - 33 % | 26,83 |
| Ajout d'engrais : - 1 % | 27,22 |

Par rapport au traitement conventionnel, le semis direct permet d'accroître d'environ 10 % le taux interne de rentabilité. L'analyse des facteurs de sensibilité met en évidence, au profit du système en semis direct :

- une diminution de l'investissement initial pour l'achat du matériel,
- une diminution de l'utilisation du matériel par réduction du travail du sol,
- une légère diminution des coûts de production en associant maïs et haricot.

Le semis direct possède toujours un taux interne de rentabilité supérieur au traitement conventionnel lorsqu'on fait varier le revenu brut (Figure n° 6). Il ne possède un taux interne de rentabilité supérieur au système irrigué que pour une variation du revenu supérieure à - 5 %.

Pour une forte diminution du revenu brut, le système irrigué conserve un bon taux de rentabilité interne en raison des rendements beaucoup plus importants obtenus par irrigation. Le taux interne de rentabilité présente une forte sensibilité aux variations des revenus. Pour le système conventionnel, une perte de 20 % des revenus bruts fait chuter le taux de rentabilité de 53,4 % à 5,1 %. Une augmentation des revenus bruts de 20 % fait croître le taux de rentabilité dans les mêmes proportions (de 53,4 à 100 %). C'est le système en semis direct qui présente la plus forte sensibilité du taux interne de rentabilité aux fluctuations des revenus. Par contre, le système irrigué présente une sensibilité nettement plus faible que les deux autres systèmes : sur la figure n° 6, la pente de la droite de variation du TIR est nettement plus faible.

Lorsqu'on fait varier les coûts de production, le semis direct possède toujours un taux interne de rentabilité supérieur au traitement conventionnel (Figures 7 et 8). Dans une seule situation, le système irrigué présente un avantage par rapport au semis direct : cette situation correspond à une augmentation des coûts opérationnels de plus de 10 % (Figure n° 8).

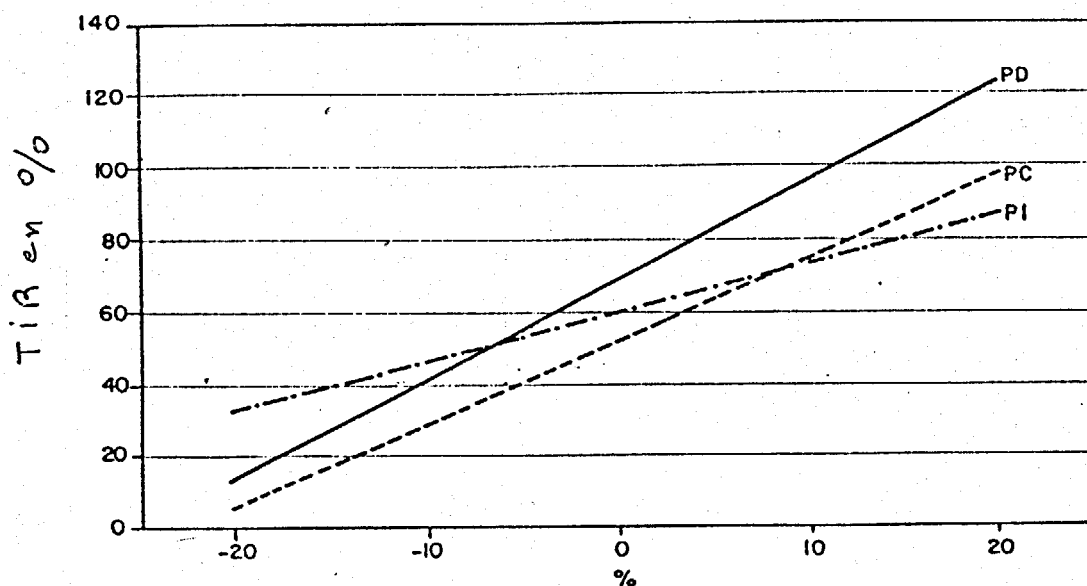


Figure n° 6 : Analyse de sensibilité du taux interne de rentabilité à la fluctuation des revenus bruts.

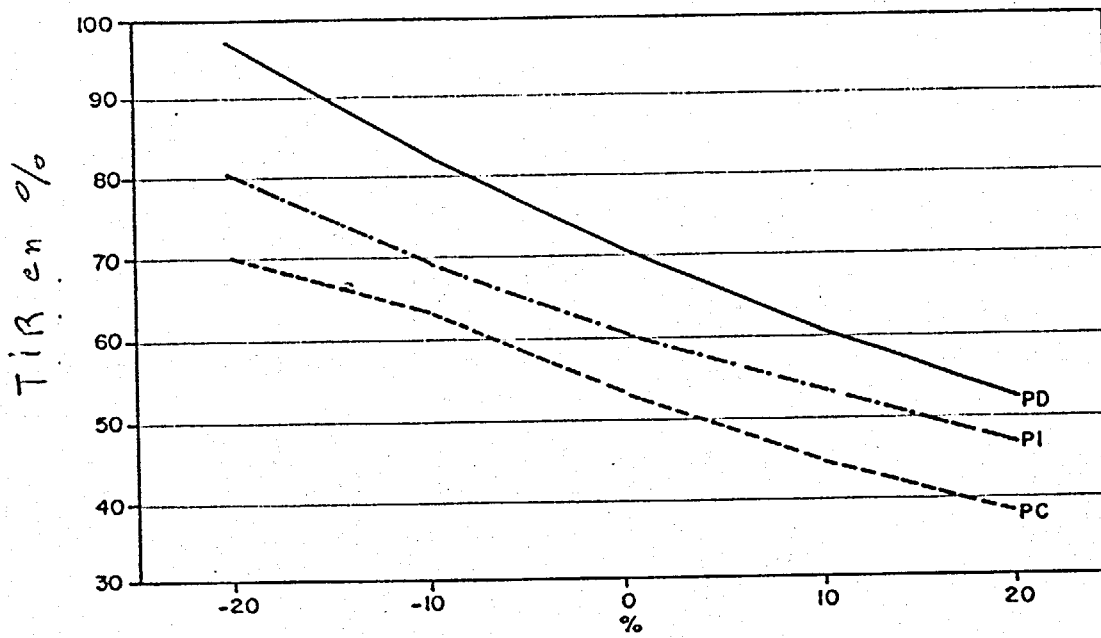


Figure n° 7 : Analyse de sensibilité du taux interne de rentabilité à la fluctuation des coûts d'investissement.

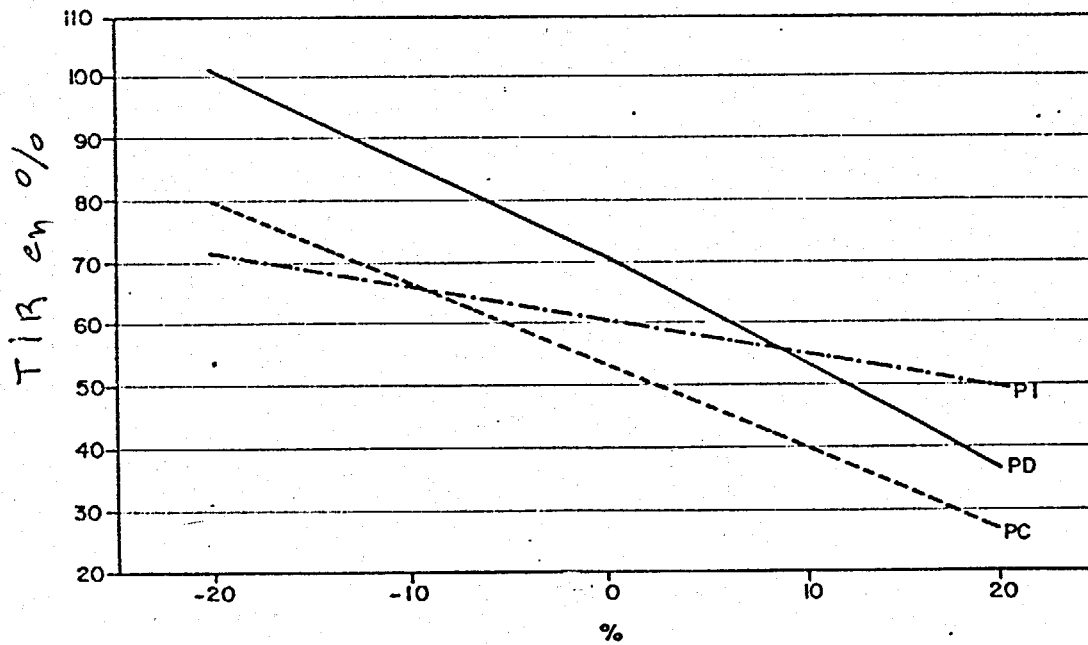


Figure n° 8 : Analyse de sensibilité du taux interne de rentabilité à la fluctuation des coûts opérationnels.

La protection et l'amendement des sols (Tableau n° 6)

Les résultats obtenus montrent tout l'intérêt du système de culture en semis direct. Ce système protège le sol grâce aux résidus de culture et il accroît l'activité biologique du sol tout en améliorant sa fertilité et sa structure (Blancaneaux et al., 1994).

Les observations morphologiques et les analyses de laboratoire montrent :

1 Une augmentation de la densité du sol sous la semelle de labour avec le système conventionnel de préparation du sol (PC). Cette augmentation de la densité du sol traduit un tassement plus important qui provoque une déviation des racines et induit une résistance plus importante à la pénétration.

2 Une activité biologique très élevée avec le système en semis direct (PD). Cette activité biologique produit une forte macroporosité, faite de galeries, de canaux et de cavités, qui favorise l'enracinement.

3 Une conservation de la matière organique du sol avec le système en semis direct (PD).

4 Une diminution de l'évaporation sous irrigation en saison sèche avec le système en semis direct (PD). Le maintien de la couverture végétale morte à la surface du sol, qui caractérise le système en semis direct, contribue à la diminution de l'évaporation (effet mulch). Ainsi le sol reste-t-il humide plus longtemps et sa compacité diminue.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

La technique du semis direct dans les savanes brésiliennes ("Cerrados") renforce l'espoir d'une amélioration des techniques culturales utilisées dans cette région du Brésil, afin de minimiser les effets de l'érosion des sols et d'augmenter la production agricole.

L'utilisation de cette technique par les fermiers est susceptible d'améliorer la durabilité du système de culture des "Cerrados". Le maintien d'une activité agricole à long terme dans les "Cerrados" dépendra en effet de l'aptitude des agriculteurs à gérer les sols afin de maintenir un taux de matière organique stable et suffisant, une structure correcte et un régime hydrique satisfaisant pour les cultures. Cette étude a montré que le système de culture en semis direct présente pour ce faire des avantages indéniables.

Pour l'année 1992, les fermiers brésiliens ont pratiqué le système en semis direct sur une superficie de 1,35 millions d'hectares dont 800 000 ha ont été plantés en soja, 250 000 ha en maïs, 100 000 ha en blé et 200 000 en riz pluvial. Ces chiffres nous ont été fournis par l'APDC (Association pour le développement des semis directs dans la région des "Cerrados").

Pour accélérer le processus de diffusion de la technique du semis direct, qui contribue à protéger efficacement les sols contre l'érosion et protège ainsi le patrimoine national, il est suggéré qu'une aide sociale incitative soit distribuée aux agriculteurs qui adoptent cette technique. Par ailleurs, les avantages intrinsèques de ce système sont susceptibles d'en pérenniser l'utilisation.

Tableau n° 6 : Résultats de l'analyse morphologique de l'état structural d'un sol ferrallitique argileux sous différents systèmes de gestion du sol pour la culture irriguée du haricot. (Hiver 1992 à Goiania, Brésil)

| TRAITEMENT | PC PREPARATION CONVENTIONNELLE | PD SEMIS DIRECT SUR LES RESIDUS DE MAIS |
|---|---|---|
| Séquence des horizons | Ap1 / Ap2 / AB / BA / Bw1 | Ap1 / Ap2 / AB / BA / Bw1 |
| Limite de influence de matière organique (brunes): | 28 cm | 24 cm |
| Abondance de résidus sur la surface: | très peu à peu | abondants |
| Matière organique altérée sur les horizons de surface: | peu à communes | communes |
| Etat structurale | | |
| Horizons superficiels (Ap1 et Ap2): | grumeleuse (fine) et polyédrique subanguleuse (fine et moyenne) | grumeleuse (fine et moyenne) et polyédrique subanguleuse (moyenne) |
| Horizons sub-superficiels: | Polyédrique subanguleuse (polyédrique subanguleuse) | Polyédrique subanguleuse (fine microagregée) |
| Porosité: | très poreux | très poreux, macroporosité abondant |
| Consistance: | semi-rigide, friable | malleable, friable à très friable |
| Enracinement: | concentre sur les horizons superficielles (plus de 80 % des racines de haricot sur le horizon superficielle - Ap1) | très fréquentes sur les horizons superficielles (Ap1 et Ap2) et communes en profondeur |
| Activité Biologique: | très fréquente sur tout le profilé (vermes de terre et termites) | très fréquente sur les horizons superficielles et en profondeur |
| Observations: | horizon AB légèrement tassé, sans restriction au enracinement | vestiges de travaille du sol antérieur à installation d'essai (charrue a soc en profondeur) |

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BLANCANEUX, Ph.; FREITAS, P. L. de; AMABILE, R.F. Sistematização e adaptação da metodologia para caracterização do perfil cultural. *In*: Reuniao técnica sobre a metodologia do perfil cultural, Londrina, PR, Brésil. 1991.
- BLANCANEUX, Ph.; FREITAS, P. L. de; AMABILE, R.F.; CARVALHO, A.M. de. Le « Zerotillage » et les méthodes alternatives comme pratique de conservation des sols sous végétation de « cerrados » du Goias, Brésil. *Cahiers Pédologie ORSTOM*, 1994.
- FREITAS, P. L. de; BLANCANEUX, Ph.; CARVALHO, A.M. de; CORREIA, J.R. Approche méthodologique utilisée pour les recherches agropédologiques dans les Cerrados du Brésil Central et premiers résultats. *In*: Réseau Erosion, 1992.
- FREITAS, P. L. de; BLANCANEUX, Ph.; CARVALHO, A.M. de; CORREIA, J.R. No tillage system as a means to sustainability of tropical Oxisols of « Cerrados » in Center-West Brazil. *In*: World Congress of Soil Science, 15th. Acapulco, Mexico, ISSS, 1994b.
- FREITAS, P. L. de; TEIXEIRA, S. M.; BLANCANEUX, Ph.; NUNES, M. R.; QUEIROZ, C. C. de. Desenvolvimento de sistemas agroecológicos integrados para recuperação e manutenção da qualidade do meio ambiente nos Cerrados. *In*: Reuniao Especial da SBPC, I. « O Cerrado e o Século XXI », Uberlândia (MG), Brésil, 1994c.
- GAUTRONNEAU, Y.; MANICHON, H. Guide méthodologique du profil cultural. Paris, GEARA et CERET, 1987. 71 p.
- SA, J. C. de M. Manejo da fertilidade do solo no plantio direto. Fundação ABC, Castro (PR), Brésil, 1993.
- SANINT, L. R.; RIVAS, L. Improved techniques for Latin America nez economic reality: rice, pasture systems for the acid savannas. *Trends in CIAT commodities*, 1990.

INSTITUTIONS

EMBRAPA - Institut Brésilien de la Recherche Agricole

CNRS - Centre Nationale de Recherche du Sol (Pédologique)

APDC - Association par le développement des semis direct sur le région des « cerrados »

ORSTOM - Institut Français de Recherche Scientifique pour le développement en coopération

CNPq - Conseil National par le développement Scientifique et Technologique

FINEP - Conseil National par le soutien des études et projets

PADCT - Plan annuelle de développement scientifique et technologique du Brésil

EMGOPA - Institut de la Recherche Agricole de Goias (GO), Brésil

THEME 3

PROCESSUS D'EROSION

GESTION DES TERRES ET EAUX

DE LA PARCELLE AU BASSIN VERSANT

POURQUOI LA BANQUETTE CES DIMINUE LES RENDEMENTS ET AUGMENTE L'ÉROSION

B. HEUSCH
Saint Mury, La Tour, F 38240 Meylan

Résumé

Au Niger, en culture traditionnelle, sur terrain à fort coefficient de ruissellement, la banquette de diversion diminue le rendement des récoltes et le temps de concentration de l'écoulement, elle augmente le ruissellement et l'érosion. Le calcul hydraulique justifiant ces résultats, permet de chiffrer l'augmentation de vitesse de circulation de l'eau et la réduction des volumes infiltrés.

Le calcul permet également de démontrer que les éléments de banquette ont une contenance insuffisante pour absorber le ruissellement des pluies érosives, et que la banquette isohypse déborde, les eaux s'écoulant trop lentement.

Sur terrain à fort coefficient d'infiltration, et à faible pouvoir de rétention, les éléments de banquette augmentent les rendements, mais de façon insuffisante pour rentabiliser les investissements.

L'aménagement en banquette (CES) semble provoquer une érosion technocratique et une réduction du niveau de vie des exploitants. Cette technique, préconisée par de nombreux manuels et exécutée, à grand frais, par de multiples organismes, devrait faire l'objet de recherches approfondies pour en vérifier le bien fondé. La méthode de recherche proposée est simple, économique et rapide. Elle utilise des asperseurs du commerce et des paires de parcelles.

La création routinière de périmètres CES dont on attribue l'échec à l'inexpérience des exécutants est une illustration des blocages psychologiques et de l'autocensure engendrée par les lacunes de la formation.

Mots – clés – Niger, banquette, écoulement à surface libre

Introduction

A la demande de Louis Berger SARL nous avons étudié en 1992 un périmètre CES , aménagé suivant les règles de l'art (fossé de garde, bourrelet pavé de pierres plates, nivellement du fossé par un topographe professionnel, seuil de correction avec section du déversoir égal au tiers de la section du ravin) par GTZ à Kounkouzout (Niger).

Sur parcelle expérimentale, lorsqu'on diminue l'érosion, on constate une augmentation des rendements. C'est ainsi qu'en 1973 DELWAULLE signale à Allokoto, dans la même région, que la banquette isohypse, par rapport au témoin (culture traditionnelle) permet de multiplier la production par 2,3 tout en divisant le ruissellement par 37 et l'érosion par 150 (moyenne sur 2 ans et un couple de parcelle de 0,4 ha).

Or les rendements en grain (mil et sorgho) relevés à notre demande par l'agent de vulgarisation local auprès des exploitants sur des parcelles analogues sont les suivants :

INFLUENCE DE LA BANQUETTE SUR LES RENDEMENTS (Kg / Ha)

| Site | Culture traditionnelle | Périmètre CES |
|-------------|-------------------------------|----------------------|
| 1 | 1490 | 779 |
| 2 | 870 | 784 |
| moyenne | 1180 | 781 |

La banquette diminue les rendements de 34%. En utilisant la méthode des appariements et le test de Student, le calcul statistique montre que la probabilité, pour que le traitement diminue les rendements, est de 78% ($r = 0,78$).

Les bourrelets ne sont pas entretenus et plusieurs sont entaillés par des renards. Tous les seuils sont endommagés, comme le constate

aussi BOUZOU (1992). Pendant l'hivernage, le paysan doit impérativement exécuter un labour et deux sarclages sur sa parcelle, soit 100 jours de travail pour une exploitation de 2 ha. Il n'a matériellement pas le temps de réparer les brèches du réseau de banquettes (30 jours de travail) pendant la saison des pluies.

Le coût de l'aménagement est de F 3000 / ha. L'érosion, par entailles linéaires et sapements de berge a été augmentée de 30% d'après nos estimations. Le coût de remise en état des seuils est de l'ordre de F 5000 / ha, car, visiblement, l'aménagement a augmenté les débits de pointe. Il faut démonter les seuils et augmenter la capacité des déversoirs.

Il est d'usage d'admettre que le ruissellement des pluies d'intensité s'écoule en nappe à une vitesse croissante, tout en s'enrichissant en sédiment. Le fossé de la banquette intercepte ce ruissellement et l'évacue sur les exutoires à des vitesses non érosives. Nos constatations nous conduisent à préciser cette théorie à l'origine du traitement en banquettes.

1 - Calcul des vitesses d'écoulement à la parcelle.

Le sol absorbe X mm d'eau avant saturation de la surface, et déclenchement du ruissellement ce qui prend un temps $T_0 = X : I$ (I = intensité pluviométrique en m/s). Si X = 3 mm et I = 1.10^{-5} m/s (36 mm / heure), $T_0 = 3.10^{-3} : 1.10^{-5} = 300$ secondes, soit 5 minutes. A Kounkouzout VUILLAUME (1968) observe que X= 2 à 10 mm.

Le calcul hydraulique permet d'évaluer le temps T_1 que met l'eau à ruisseler du haut en bas d'une parcelle par un écoulement laminaire perturbé par les gouttes de pluie, que nous assimilons à un écoulement torrentiel.

Soit $Q = R.U$ (1)

$Q = I.l$ (2)

$U = K.R^{2/3} . J^{1/2}$ (3) (formule de Manning)

avec $Q =$ débit par m. de large de plan incliné (m^3/s)

R = rayon hydraulique (m)

U = vitesse de la lame d'eau (m/s)

I = intensité pluviométrique (m/s)

l = longueur de la parcelle (m)

K = coefficient de Manning

J = pente de la parcelle

T₁ = temps de concentration (s)

En portant (1) et (2) dans (3) nous éliminons R. Le temps d'écoulement t en s/m est l'inverse de la vitesse U en m/s, donc

$$U^{-1} = t = K^{-3/5} \cdot J^{-3/10} \cdot I^{-2/5} \cdot l^{-2/5} \text{ (s/m)}$$

La somme des temps t de 0 à la longueur maximum L s'écrit:

$$\begin{aligned} T_1 &= \int_0^L t \cdot dl = K^{-3/5} \cdot J^{-3/10} \cdot I^{-2/5} \cdot \int_0^L l^{-2/5} \cdot dl \\ &= 5/3 \cdot K^{-3/5} \cdot J^{-3/10} \cdot I^{-2/5} \cdot L^{3/5} \end{aligned}$$

Soit K = 5 (culture), J = 0,05 (5%), I = 1.10⁻⁵ m/s, L = 45 m,

T₁ = 1530 secondes soit 25 minutes et 30 secondes. La vitesse moyenne du ruissellement sur une parcelle de 45 m de long est de 0,03m/s.

Admettons que la pluie s'arrête au bout de 30 minutes, le ruissellement se concentre alors dans des rigoles de dimension uniforme, calibrées en fonction du débit à évacuer. Dans le cas étudié, ces griffes d'érosion sont de section trapézoïdale, avec un fond large de 0,2 m et une profondeur de 0,1 m. Le rayon hydraulique est de 0,0625 m. Avec K = 10 et J = 0,05 la vitesse de l'eau $U = 10 \cdot 0,0625^{2/3} \cdot 0,05^{1/2} = 0,35$ m/s (équation 3). KALMAN (1976) avait mesuré une vitesse moyenne de 0,4 m/s. Si la longueur du versant est de 400 m, le temps mis par l'eau à descendre est de

$$T_2 = 400 : 0,35 = 1143 \text{ secondes soit } 19 \text{ minutes et } 3 \text{ secondes.}$$

Le ruissellement a donc mis un temps total

$$T = T_0 + T_1 + T_2 = 5' + 25'30'' + 19'3'' = 49 \text{ minutes } 33$$

secondes, après le début de la pluie, pour atteindre le pied du versant.

VUILLAUME (1968) a mesuré à Kounkouzout un temps de montée de crue de 55 minutes sur un bassin versant de 1372 ha. Nous constatons que la vitesse de l'écoulement dans les griffes d'érosion est dix fois plus forte que la vitesse de l'écoulement en nappe.

2 - Calcul des vitesses d'écoulement dans la banquette.

La banquette a pour objet d'intercepter l'écoulement en nappe. Rappelons que, pour être étanche, le centre du bourrelet compacté à 95% de l'optimum Proctor, doit rester constamment humide, puisque les argiles se rétractent en séchant. Il faut donc que le noyau étanche soit à

une distance d'au moins 1 m des parois, pour tenir compte de la vitesse des remontées capillaires. Ce n'est généralement pas le cas et les renards, dans le bourrelet, sont inévitables.

Le fossé collecteur de la banquette a une largeur moyenne A (m) et une longueur b (m). Nous écrivons:

$$Q = R \cdot A \cdot U \quad (5)$$

$$Q = L \cdot b \cdot I \quad (6)$$

$$U = K \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \quad (7) \text{ et nous déduisons, comme précédemment}$$

$$T_3 = 5/3 \cdot K^{-3/5} \cdot J^{-3/10} \cdot L^{-2/5} \cdot I^{-2/5} \cdot A^{2/5} \cdot B^{3/5}$$

Soit $K = 45$, $J = 0,005$ (0,5%), $L = 45$, $I = 1,10^{-5}$ m/s, $A = 1$ m,
 $B = 200$ m,

$$T_3 = 436 \text{ secondes soit } 7 \text{ minutes et } 16 \text{ secondes.}$$

A partir des équations (5) (6) et (7) nous calculons le rayon hydraulique R à l'exutoire, qui est de 0,12 m, soit un tirant d'eau de 0,3 m environ. Le fossé de la banquette déverse dans un chenal rectangulaire, large de 2 m et profond de 1 m, calibré en fonction du volume des crues.

Pour $K = 10$, $R = 0,5$ et $J = 0,05$, d'après (7)

$$U = 10 \cdot 0,5^{2/3} \cdot 0,05^{1/2} = 1,4 \text{ m/s.}$$

Pour parcourir les 400 m du ravin creusé dans le versant, l'eau va mettre $T_4 = 400 : 1,4 = 286$ s soit 4 minutes 46 secondes, à une vitesse 4 fois plus forte que dans les griffes d'érosion.

Avant intervention le temps de circulation de l'eau est de $T_1 + T_2 = 44$ minutes 33 secondes. Après aménagement ce temps est réduit à $T_3 + T_4 = 12$ minutes 2 secondes soit 4 fois moins.

3 - Conséquences sur l'infiltration et l'érosion.

Nous estimons que l'infiltration sous écoulement boueux en nappe est de 1 mm, car les pores sont colmatés. Par contre, dans les griffes d'érosion, la force tractrice est suffisante pour remettre les boues en suspension. Le coefficient de ruissellement est de l'ordre de 60%. Dans le fossé collecteur de la banquette les boues colmatent et l'infiltration est voisine de 5 mm / h. Enfin le chenal de la ravine, au fond tapissé de sable et de graviers, a une perméabilité forte, de l'ordre de 60 mm / h. Avec ces hypothèses, pour une pluie de 18 mm, durée 30 minutes, dressons le bilan de l'infiltration pour une parcelle de 45. 200 = 9 000 m²:

Infiltration avant ruissellement (T_0) $3 \cdot 10^{-3} \cdot 9\,000 \text{ m}^3$

Infiltration pendant l'écoulement en nappe (T₁) $1.10^{-3} \cdot 9\ 000\ m^3$
 Infiltration dans les grilles d'érosion en contrebas (T₂) $18.04 \cdot 9\ 000\ m^3$
 Infiltration dans le fossé de la banquette (T₃) $(30' + 7'16'') : 60\ m^3$
 Infiltration dans le ravin exutoire, dont 1/25 provient de la parcelle
 (T₄) $400 \cdot 2 (30' + 7'16'' + 4'46'') : 25\ 000\ m^3$
 ou, si l'on préfère raisonner en mm:

T₀ = 3 mm, T₁ = 1 mm, T₂ = 7,2 mm, T₃ = 0,1 mm, T₄ = 0,1 mm

Au total, sans aménagement, pour les périodes T₀, T₁, T₂, l'infiltration est de 11,2 mm, soit un coefficient de ruissellement de $(18 - 11,2) : 18 = 38\%$. Pour une pluie de 42,5 mm (crue annuelle) VUILLAUME (1969) observe un coefficient de ruissellement moyen de 35%. Après aménagement, l'infiltration tombe pour les périodes T₀, T₁, T₃ et T₄, à 4,2 mm, soit un coefficient de ruissellement $(18 - 4,3) : 18 = 77\%$. Le coefficient de ruissellement double, car peu d'eau s'infiltré dans le fossé de la banquette, et l'eau s'écoule très rapidement dans le ravin. Le réseau de banquettes draine rapidement le versant, réduisant l'infiltration, ce qui explique:

- la chute des rendements de 34%
- l'augmentation des érosions de 30%.

4 - Considérations sur les banquettes isohypses.

A juste titre, le périmètre étudié ne comporte ni élément de banquette (fossé aveugle), ni banquette en courbe de niveau (canal à fond horizontal et à écoulement libre).

Etudions le cas du fossé aveugle. Soit D la lame ruisselée et H la profondeur du fossé. L'interception exige:

$$D \cdot L = A \cdot H$$

Soit H = 0,4 m et comme précédemment L = 45 m et A = 1 m, on en déduit D = 0,009 m ou 9 mm. En admettant un coefficient de ruissellement de 78% $(18 - (3 + 1) : 18)$ cela correspond à une lame précipitée et interceptée égale au maximum à $9 : 0,78 = 12\ mm$. Ce calcul conduit au résultat cocasse que seul sont interceptées les pluies non érosives, inférieures à 12 mm.

Etudions le cas du canal isohypse. En l'absence de pente du fond, nous utilisons la méthode de PORCHET (1932) en considérant que le débit réel est égal à 0,36 fois le débit calculé par la formule (7). La pente

de la ligne d'énergie se déduit du débit collecté dans le canal. Avec les mêmes hypothèses que précédemment, le débit au déversoir est de $0,09 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui correspond à une hauteur d'eau, calculée par la formule de BAZIN, de $0,14 \text{ m}$. Le tirant d'eau passe 25 m en amont à $0,3 \text{ m}$, puis $0,6 \text{ m}$ à 100 m et enfin à $0,65 \text{ m}$ sur les 50 premiers mètres du canal. L'eau s'écoule avec une accélération constante, et la vitesse croit progressivement. Il faut 10 minutes pour parcourir les premiers 50 mètres et 2 minutes pour les derniers 50 mètres, soit un temps total d'écoulement de 19 minutes. C'est donc paradoxalement à l'endroit (figure) où l'apport du versant en eau est nul, que le niveau dans le fossé est le plus élevé. Dans la pratique la banquette déborde ou renarde, transformant un ruissellement en nappe peu agressive en entailles linéaires concentrées, très agressives. S'il n'y a pas de débordement, la durée de l'écoulement augmente de 10% , mais le coefficient de ruissellement est doublé.

Et pourtant l'observation montre qu'en général les périmètres CES sont réussis, c'est à dire que les banquettes ne sont pas immédiatement détruites par l'érosion. En fait, dans la plupart des bassins versants de montagne les mesures de débit solide montrent (HEUSCH 1980) que 10% du bassin versant fournit 90% du transport solide, c'est à dire que l'érosion spécifique est, en valeur relative, de 1 sur 90% du bassin, et de 81 sur 10% du bassin, avec peu de valeurs intermédiaires.

Soit S la surface du bassin, dont 10% couvert par la forme d'érosion a et 90% par la forme d'érosion b . Le débit solide de a , $Q_a = 90$, le débit solide de b , $Q_b = 10$; $S = a + b$.

Le rapport des érosions spécifiques $Q_a / a : Q_b / b$ s'écrit:

$$90 / 10 : 10 / 90 = 81.$$

L'érosion spécifique de valeur 1 , avec peu de ruissellement et des pertes en terre compensées par les apports éoliens, est localisée sur des versants stables. La plupart des périmètres CES sont réalisés sans aucune enquête géomorphologique préalable et sont donc, 9 fois sur 10 , localisés sur versant stable et leur comportement est bon, car il y a peu de ruissellement. Par exemple, à Kounkouzout, GTZ a réalisé des réseaux d'éléments de banquette sur un plateau à carapace ferrallitique du Continental terminal, qualifié d'endoréique par VUILLAUME (1969). La vitesse d'infiltration est de $5 \text{ mm} / \text{h}$, les eaux circulent lentement et mettent une journée à s'évacuer. Elles ont largement le temps de s'infiltrer en quasi-totalité. L'observation des laisses montre que les crues issues du

plateau sont négligeables. Les rendements en zone non aménagée, mesurés par GTZ, sont de l'ordre de 50 Kg de mil par ha; avec aménagement, le rendement est de 100 Kg / ha (15 parcelles sur deux ans). La rentabilité est de l'ordre de 1%.

Conclusions

1) le calcul hydraulique permet de visualiser le comportement de l'eau tel qu'il est (et non tel qu'il devrait être) à partir de mesures de vitesse d'infiltration.

2) Les considérations "aquatiques" qui précèdent vont laisser perplexe mais sceptique, le lecteur peu familiarisé avec ce genre de calcul.

3) Rien ne l'empêche de refaire un sondage sur un plus grand nombre de parcelles, pour améliorer la précision du calcul statistique.

4) Si l'on admet qu'un coefficient de couvert végétal de 0,3 suffit pour annuler l'énergie cinétique des pluies érosives, il est possible de simuler l'effet des pluies intenses sur une culture avec un système d'irrigation par aspersion du commerce. Pour une parcelle de 100 m², et à condition de disposer d'une source d'eau à proximité le coût d'achat du matériel est de F 20 000. (devis détaillé disponible).

5) Il est difficile d'admettre que l'argent du contribuable a été dépensé pour un résultat contraire au but recherché, mais il est encore plus compliqué, si l'on rejette nos calculs, d'expliquer pourquoi l'agriculteur ne construit de banquettes que s'il est payé pour le faire, ne les entretient pas, et se dépêche de les détruire dès qu'il en a la possibilité.

Références

BOUZOU (I) 1992. *Défense et restauration des sols dans l'Adar (Niger)*. Bulletin érosion n° 12, pp 275 – 291, ORSTOM.

DELWAULLE (JC) 1973. *Résultats de six ans d'observation sur l'érosion au Niger. Bois et forêts des tropiques*, n° 150, pp 15 – 37.

HEUSCH (B) 1980. *Erosion in the Ader Dutchi massif (Niger)*. *Assessment of erosion*, ed. De Boedt and Gabriels, pp 521 – 529, J. Wiley and sons, Chichester, UK.

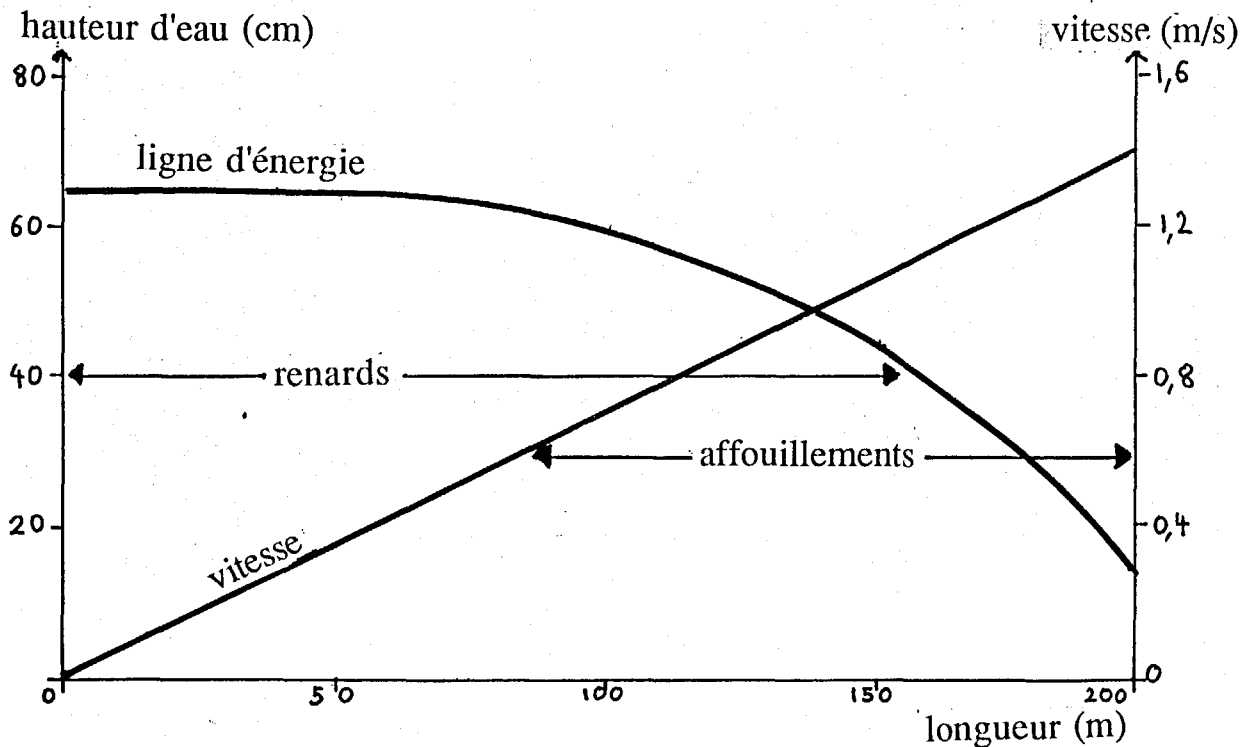
KALMAN (R) 1976. *Etude expérimentale de l'érosion par griffes*. *Revue de géographie physique et géologie dynamique* (2) vol. 18, fasc. 5, pp 395 – 406.

PORCHET (L) 1932. *Calcul des débits des petits canaux en terre de section transversale trapézoïdale et à fond horizontal*. *Annales du Ministère de l'Agriculture*, fasc. 61.

VUILLAUME (G) 1968. *Premiers résultats d'une étude analytique de ruissellement et de l'érosion en zone sahélienne: bassin représentatif de Kountkouzout (Niger)*. *Cah. ORSTOM, sér. hydrol*, vol. 5, n° 2, pp 33 – 47.

VUILLAUME (G) 1969. *Analyse quantitative du rôle du milieu physico-climatique sur le ruissellement et l'érosion à l'issue de bassins de quelques hectares en zone sahélienne (Bassin de Kountkouzout, Niger)*. *Cah. ORSTOM, sér. hydrol*, vol. 6, n° 4, pp 87 – 132.

ORIGINE DES DÉSORDRES OBSERVÉS SUR BANQUETTE ISOHYPSE



**AZONTONDE Hessou Anastase. Chef division érosion et conservation des sols et des eaux.
Cotonou. Bénin**

**L'impact de l'homme sur la dynamique érosive des sols ferrugineux du nord et centre Bénin
et mesures conservatrices.**

Le point des recherches réalisées sur l'érosion des sols ferrugineux tropicaux répartis dans le centre et le nord du Bénin montre que l'érosion sur pente faible à moyenne est de l'ordre de 36 t/ha/an sur ces sols développés sur embréchite ou gneiss plus ou moins granitisé et qui contiennent 30 à 60% de graviers de quartz. Cette érosion sélective particulièrement dangereuse est due à la surexploitation des terres et à l'utilisation des méthodes culturales mal adaptées basée essentiellement sur la culture itinérante sur brûlis qui ne garantissent pas une bonne couverture du sol et détruisent la matière organique. Sous ces conditions, des installations anti-érosives mécaniques comme les fossés d'absorption et des banquettes ne semblent pas être la solution au problème d'érosion qui au vu des contraintes socio-économiques et écologiques de ces zones de savane ne peut pas être considéré de manière isolée du problème de la dégradation des sols.

La stratégie actuelle de régénération et conservation des sols ferrugineux tropicaux du centre et du nord Bénin est la promotion des mesures biologiques à travers une agroforesterie bien adaptée au relief de la parcelle. La méthode la plus utilisée est la culture en couloirs entre les haies isohypses de vétiver pur ou des haies isohypses de vétiver alternées avec des légumineuses telles que le Leucacua- l'Acacia et le Glyricidia. Ces méthodes réduisent considérablement l'érosion hydraulique en même temps qu'elles garantissent un recyclage des éléments nutritifs et approvisionnent continuellement le sol en matière organique. Il s'ensuit une stabilité des agrégats et une régénération des sols.

Mots clés: fossés d'absorption- mesures biologiques- haies isohypses- vétiver- surexploitation.

APPROCHE D'UNE MESURE DE L'EROSION CAS DU BASSIN VERSANT DE MOUDA (NORD CAMEROUN)

**B. THEBE - Laboratoire d'Hydrologie - ORSTOM - BP 5045
34032 - Montpellier Cedex**

Dans le cadre d'un projet européen, l'auteur s'est intéressé à l'hydrodynamique de quelques sols du Nord Cameroun et aux problèmes de l'érosion.

L'ensemble de ces études a été mené sur un bassin versant de 18 km² représentatif de la région de MAROUA, près du village de MOUDA. A l'intérieur de celui-ci, a été défini un micro bassin de 3000 m², délimité par une levée de terre compactée.

On a tout d'abord déterminé les caractéristiques hydrodynamiques propres à chaque type de sol et leur sensibilité à l'érosion hydrique, à l'aide d'un mini simulateur de pluie sur des parcelles élémentaires de 1 m², mais également en conditions naturelles. Ne prenant pas en compte, à cette échelle, les problèmes liés à la longueur des versants, à la concentration du ruissellement, etc..., nous parlerons ici de détachabilité ou de d'érodibilité.

De l'ensemble des résultats obtenus sur parcelles au cours de trois campagnes de simulation, nous n'avons pas pu dégager de relation globale explicative de l'érosion, mais tirer un certain nombre d'enseignements sur les processus. En particulier, la comparaison des résultats sous pluies simulées et en conditions naturelles a montré, sur ces sols argileux, l'effet du nombre de cycles humectation - dessiccation (en conditions naturelles) sur la dissolution des agrégats. Cela traduit un phénomène de "mémoire du sol" qui entraîne une réduction de sa stabilité structurale à mesure que le nombre de cycles augmente.

Par ailleurs, et dans tous les cas expérimentaux, nous avons pu apprécier et quantifier l'effet du couvert végétal qui minore l'érodibilité (dans un rapport de 1 à 200) ou du labour, qui à l'inverse fragilise à l'extrême les sols, même s'il y a diminution très forte du ruissellement.

A l'échelle du micro bassin de 3000 m², nous avons pu mesurer l'érosion globale, et définir une fonction explicative de celle-ci. Un suivi fin du développement de la végétation sur deux années a montré qu'un stress hydrique sévère étant intervenu en début de saison pluvieuse la 1^{ère} année, au moment des germinations, a entraîné une augmentation très forte de l'érosion annuelle. En effet, le couvert végétal étant relativement peu développé, les sols étaient anormalement exposés, et nous avons obtenu une érosion spécifique de 2100 T/Km²/an pour l'année à faible hydraulicité, et 1100 T/Km²/an en année humide.

L'individualisation des mesures par crue a mis en évidence la violence des phénomènes érosifs qui sont engendrés par les événements pluvieux les plus intenses. On observe que dans la plupart des cas, les cinq plus fortes averses provoquent 50 à 60% de l'érosion annuelle.

Sur le bassin versant de 18 km², l'appréciation de l'érosion été faite à partir des prises d'échantillons en rivière lors de chaque crue .

L'érosion spécifique sur ce bassin a été de l'ordre de $523 \text{ T/km}^2/\text{an}$, ce qui représente une valeur double de celles trouvées sur d'autres bassins similaires de la région. On peut considérer que ce bassin est représentatif des zones à forte pression anthropique, aggravée durant ces années par la dégradation du régime pluviométrique.

L'évolution de l'érosion au fil de la saison des pluies peut être perçue par l'analyse des concentrations moyennes par crue. Il ressort que la saison des pluies peut être divisée en trois périodes bien distinctes :

- de début mai à mi-juin : les valeurs assez fortes des concentrations (4 g/l) sont le fait du "nettoyage" des sols, en particulier des dépôts éoliens de saison sèche.

- de mi-juin à mi-juillet : une augmentation forte des concentrations, avec une moyenne de 8 g/l et des maxima supérieurs à 15 g/l. C'est à ce moment que débutent les travaux agricoles, les terres humidifiées sont labourées et les semis mis en place. Les tests sur parcelles élémentaires ont montré l'extrême fragilisation due au travail du sol.

- après la mi-juillet : une décroissance très forte et régulière des concentrations qui atteignent un minimum en septembre (1 à 2 g/l). Ceci traduit parfaitement l'évolution du développement du couvert herbacé sur ce bassin.

Ont également été recherchés les facteurs explicatifs de l'érosion. Si la relation lame ruisselée / érosion est pseudo-linéaire pour les valeurs faibles à moyennes de la lame ruisselée, on observe que la masse de matières transportées croît de moins en moins vite pour des lames ruisselées importantes. Il apparaît ainsi, que l'on tend pour une crue donnée, vers une valeur limite de concentration, qui peut être considérée comme caractéristique du bassin versant.

CONCLUSION

L'approche de la mesure de l'érosion à différentes échelles spatiales et temporelles permet de mieux comprendre les mécanismes et d'appréhender les facteurs prépondérants.

Les observations sur parcelles élémentaires ont permis :

- d'étudier pour un sol donné, en fonction du type d'occupation de la surface, sa sensibilité à l'érosion hydrique,
- de classer les sols selon leur taux d'érodabilité.

La quantification et la modélisation de l'érosion n'est possible qu'à l'échelle du champ ou du bassin versant, mais reste dans tous les cas un exercice difficile.

MILIEU PHYSIQUE, ENVIRONNEMENT HUMAIN ET DEGRADATION DES SOLS
EN PAYS BAMILEKE DE L'OUEST DU CAMEROUN.

MOISE TSAYEM DEMAZE , Département de géographie, Université de Yaoundé I. S/C BP 8360 Yaoundé, Cameroun.

Résumé: L'article présente une synthèse des données et des premières observations faites en pays bamiléké dans le cadre d'une recherche en cours. L'auteur relève la multiplicité des facteurs naturels et humains qui concourent çà et là à la dégradation des sols à l'Ouest du Cameroun. S'il s'avère difficile de classer par ordre d'importance la part de chaque facteur de dégradation, il est néanmoins plus significatif de constater que la combinaison de tous ces facteurs se traduit par une accentuation des processus morphogénitiques.

Mots-clés: Milieu physique, environnement humain, dégradation accélérée, antropomorphogénèse, érodibilité, pays bamiléké.

Le pays bamiléké est situé entre le 5ème et le 6ème degrés de latitudes Nord, et entre le 10ème et le 11ème parallèles de longitude Est. Il occupe une partie de l'Ouest du Cameroun (fig1). C'est une région géomorphologique remarquable, faisant partie des Hautes Terres de l'Ouest du Cameroun. Cet ensemble est individualisé dans la région par son relief particulièrement tourmenté.

Le pays bamiléké est un espace intercratonique. En effet, il appartient à la "zone mobile d'Afrique Centrale" qui est un espace coïncé entre les cratons congolais et ouest-africain et est caractérisé par la vigueur des mouvements structuraux et tectoniques qui ont affecté son histoire géomorphologique. Plus précisément, le pays bamiléké occupe une partie sud-est d'un secteur de cette "zone mobile" appelé "Ligne du Cameroun". Encore appelée "Dorsale Camerounaise", cette "Ligne du Cameroun", orientée SW-NE, est le siège d'importants massifs et appareils volcaniques et subvolcaniques. A cause de ses reliefs très accidentés dûs à l'importance de la dynamique structurale et tectonique (phénomène moins accusé ailleurs en Afrique Centrale), Jean Louis DONGMO (1981), a qualifié le pays bamiléké de "morceau d'Afrique orientale égaré aux confins de l'Afrique Occidentale et de l'Afrique Centrale".

Cependant, ce trait caractéristique majeur se double d'une autre originalité tant sur le plan physique que sur celui de l'environnement humain. En fait l'apparence d'homogénéité régionale cache mal les dissymétries et les disparités locales. Peut-être est-ce une autre originalité lorsque les microenvironnements locaux s'imbriquent et offrent à l'échelle régionale un milieu uniformisé. La dégradation des sols dans la région s'inscrit dans ce processus qui bénéficie d'un milieu physique caractéristique.

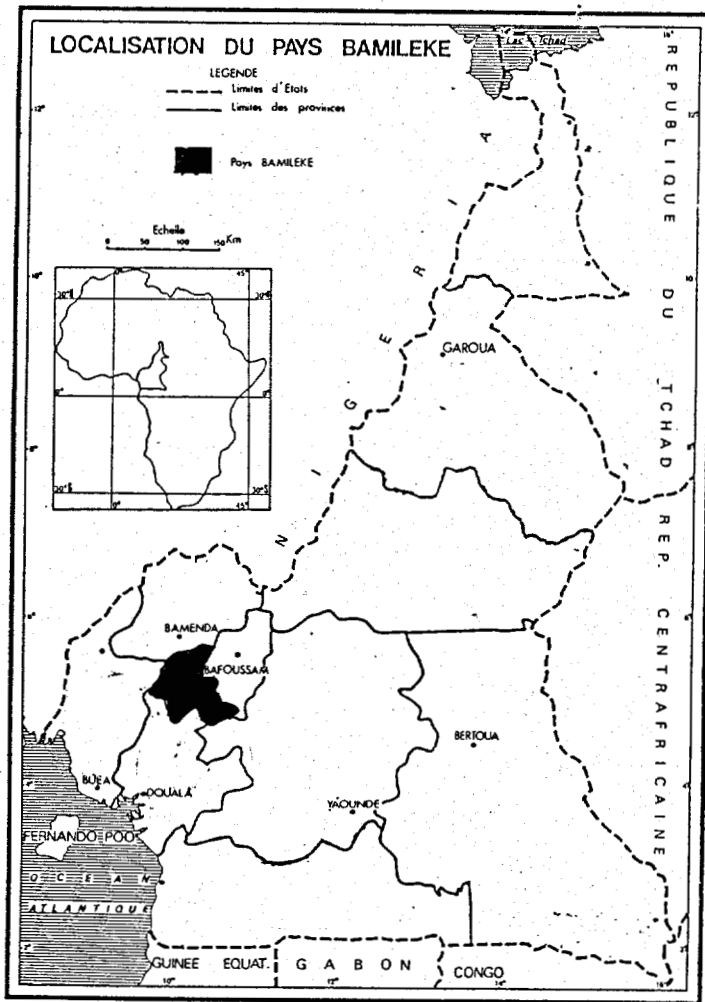
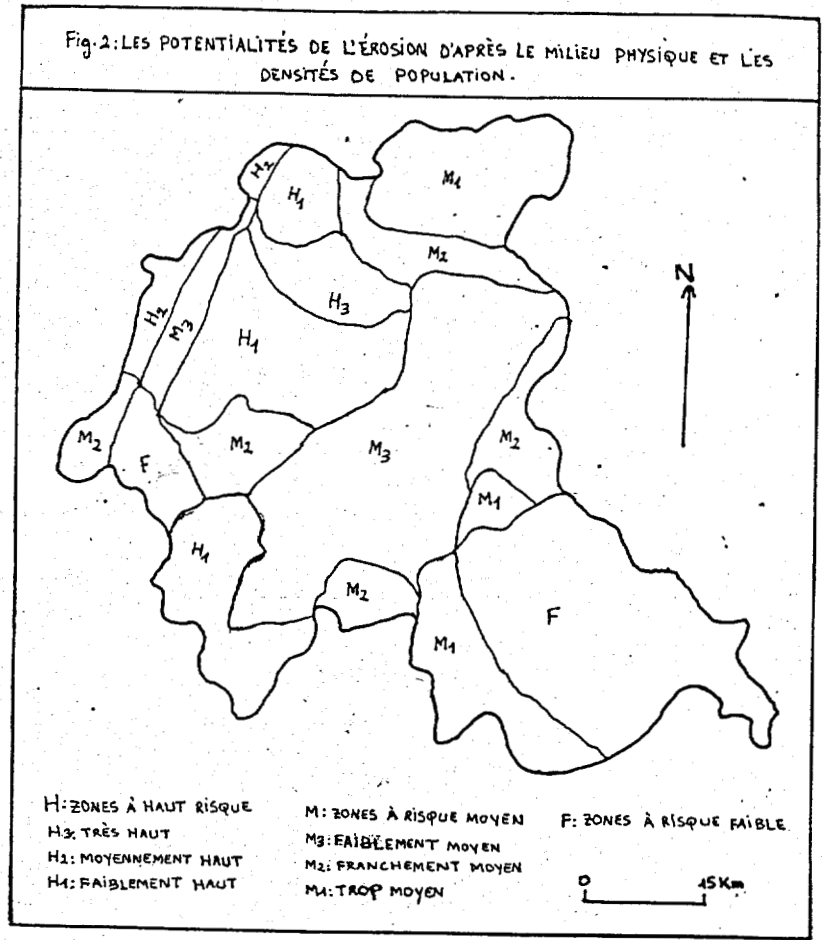


Fig.1



I / Un milieu physique favorable aux phénomènes morphogénitiques

Le cadre naturel du pays bamiléké, résultat d'une histoire géologique mouvementée, présente depuis la bordure orientale de la "Ligne du Cameroun", un ensemble de relief dont l'élément majeur est le plateau bamiléké.

1 - Un relief imposant

La topographie du pays bamiléké est très heurtée. Des massifs aux toits polyconvexes dominent quelques dépressions par des escarpements longs et des pentes très fortes.

a) Le plateau Bamiléké

Il a 1450m d'altitude moyenne. Il se termine au nord-ouest du pays aux pieds du massif des Bamboutos (2740m). Au sud affleure le socle constitué de roches cristallines de massif et métamorphiques (granite, gneiss). Ici, la topographie est plus complexe et tourmentée, et le plateau se termine par des escarpements très abrupts ("falaises") qui surpassent les plaines périphériques. Au total, ce plateau présente des massifs aux versants longs et aux pentes fortes. Dans le Bamiléké méridional, TCHAWA (1993) estime à 70% la surface occupée par les pentes dont la déclivité dépasse 25%; alors que cette même superficie est de 51% (S. Valet, 1980) pour l'ensemble des Hautes Terres de l'Ouest. La partie nord, basaltique se caractérise par la relative faiblesse de ses pentes par rapport au sud. FOTSING (1992) écrit que les pentes inférieures à 12% y occupent 57% des surfaces contre 18% pour les pentes fortes. Sur les massifs (Bani: 1921m; Fotouni: 1725m; Batié-Bangou: 1889m; Bana-Batcha: 2097m) qui émergent de cette partie sud, cet auteur note une prédominance des pentes fortes (87% des versants ayant une pente supérieure à 25%). Enfin sur le mont Bamboutos au nord-ouest, il observe que les pentes supérieures à 25% occupent 64% de l'espace, contre 20% pour les pentes inférieures à 12%. Ces faibles valeurs de pente s'observent également dans quelques zones basses périphériques.

b) Les plaines périphériques

- La plaine du Noun: située à l'est, elle se rattache au plateau Bamiléké par un escarpement qui atteint progressivement 200 à 400m de long. Cette plaine a une altitude moyenne d'environ 1000m. Elle s'élève progressivement vers l'est où elle devient le plateau Bamoun. Elle est marécageuse dans certains secteurs du nord du pays Bamiléké.

- La plaine des Mbos: elle se situe en contrebas de l'escarpement méridional du pays bamiléké qui le domine d'une manière brutale par un commandement d'environ 400m. Seule sa bande septentrionale appartient au pays bamiléké. Son altitude moyenne est de 700m. Elle est souvent rendue marécageuse par les crues du Nkam qui la draine.

D'une manière générale, ce relief porte les traces d'une morphogénèse naturelle plus ou moins accentuée. Sur le plateau on observe les boutonnières ou les fenêtres de socle; sur les coupoles des massifs et les parois des escarpements, les dénudations, les échancrures, les indentations, les affleurements, les exhumations, les foirages, les glissements de terrains, les ravinements... sont fréquents et traduisent l'ampleur des phénomènes de rhéxistase. Ces formes sont en relation étroite avec le climat.

2 - Le climat du pays bamiléké

a) Présentation

Comme le relief, le climat du pays bamiléké subit des nuances locales plus ou moins prononcées. D'une manière générale, on observe comme pour le relief, une variation sud-nord et ouest-est du fait de l'altitude, de l'exposition ou non aux vents et de la latitude. Ce climat présente deux saisons: une saison pluvieuse qui va de mars à novembre, et une saison sèche de trois mois. Cette situation est particulière aux Hautes Terres de l'Ouest Cameroun situées en zone subéquatoriale. En fait on devrait avoir ici une année climatique à 4 saisons: 2 pluvieuses et 2 sèches; mais le schéma zonal est modifié par des perturbations régionales et locales. De ce fait, DONGMO (1981) a qualifié ce climat de "pseudo-tropical d'altitude" avec deux saisons seulement et des températures fraîches. Les précipitations diminuent de la bordure de la dorsale Camerounaise à l'ouest vers l'est de la région. Les zones situées à l'ouest de la dorsale sont exposées au vent et sont arrosées, contrairement à la partie est sous le vent du fait de l'érection de la dorsale. La partie sud-ouest est très pluvieuse du fait de la proximité de la côte atlantique. SUCHEL (1971) l'a qualifiée d'"empire de la mousson". Cependant la partie sud-est, moins pluvieuse, s'apparente au nord-est qui est frappé par l'harmattan. On observe aussi une baisse de la pluviosité de la base au sommet des interfluves, phénomène dissociable de l'ensemble des Hautes Terres. Dschang situé au centre du flanc Ouest reçoit en moyenne 1900mm par an ; Bakou au sud-ouest enregistre 3000mm annuellement. Bafoussam un peu plus à l'est reçoit 1700mm et Bangangté, la station la moins arrosée, reçoit 1400mm par an au sud-est. Ces variations sont également perceptibles sur les dégradations des terres dont l'un des facteurs principaux est l'agressivité du climat.

b) L'agressivité climatique en Pays Bamiléké

Elle peut être présentée par des paramètres tels que la durée de la saison des pluies, les types de pluie, les totaux annuels et mensuels de précipitation, le nombre de jours de pluie par an et l'indice de FOURNIER.

La saison pluvieuse dure généralement 9 mois en pays bamiléké, de mars à mi novembre. Cet espace de temps est très long pour un milieu qui doit recevoir continuellement des pluies plus ou moins abondantes. A cela s'ajoute l'étroitesse de la saison sèche (2 à 3 mois), ce qui constitue une contrainte pour le couvert végétal appelé à protéger le sol.

Divers types de pluie sont observés en pays bamiléké. Leur efficacité érosive est variable. TSALEFAC (1983) y a observé et analysé la bruine, les averses et les orages pluvieux. S'il est difficile de les classer par ordre d'agressivité (compte tenu de leurs durées et intensités différentes), il est tout à fait notable que leur alternance ou succession se traduit par l'exacerbation des processus de dégradation. Pour la station de Dschang (tableau1), on remarque que les pluies faibles et persistantes sont devancées par les précipitations généralement de courte durée mais de fortes intensités.

Les totaux annuels de précipitation (tableau2) sont généralement supérieurs à 1500mm, sauf au sud-est, alors qu'il atteignent parfois 4000mm au sud-ouest (Bakou en 1978-1979). Ce tableau ne reflète pas la réalité actuelle, car il correspond à une période d'années sèches au Cameroun. Le tableau3 montre que dans les 6 stations considérées, les mois de mars et d'avril reçoivent près de 16% d'eau précipitée; il s'agit des mois pendant lesquels les sols agricoles sont nus. Pour le nombre de jours de pluies par an (tableau4), on constate qu'il est très élevé. A Penka Michel par exemple, entre 1975 et 1980, il a plu en moyenne 177 jours par an, soit à peu près un jour sur deux.

Nous avons également calculé l'indice de FOURNIER (tableau5). Il permet d'apprécier l'agressivité des précipitations. Il s'obtient en posant P^2/P (TCHAWA 1993) où P^2 représente le carré de la pluviométrie du mois le plus arrosé et P la pluviométrie annuelle. Il ne varie pas assez. Cependant, par le fait que nos données proviennent des stations parmi les moins arrosées du pays bamiléké, cet indice paraît sous évalué. En effet, dans la partie méridionale qui est la plus pluvieuse, TCHAWA (1993) a trouvé une valeur ^{moindre} de 136,4 représentant l'indice de FOURNIER à Bakou pour 11 années consécutives.

Les alternances saisonnières de déficit et d'excès d'eau exacerbent souvent l'agressivité du climat. les pluies unitaires agressives sont très fréquentes. TCHAWA (1993) note qu'à Bakou plus de la moitié des précipitations unitaires ont une intensité supérieure à 20mm (seuil à partir du quel une pluie

devient érosive d'après E. ROOSE (1978) et M. MIETTON (1980) pour des études faites en Afrique de l'ouest. J.C. OLIVRY a proposé le seuil de 12mm en 24 heures pour les Hautes Terres de l'ouest Cameroun). Sur l'ensemble du pays bamiléké, les pluies unitaires dépassant 30mm en 24 heures sont fréquentes dès le mois de mai. L'érosion est d'autant plus considérable en pays bamiléké que ROOSE (1977) la situe entre les plus grandes valeurs (900 - 1500 unités U.S) de l'indice R de WISCHMEIER pour l'Afrique Occidentale et Centrale. Cet indice de WISCHMEIER est d'autant plus réaliste qu'il s'efforce d'intégrer aussi bien la pluviosité, les techniques culturales que les facteurs pédologiques et la végétation.

3 - Les sols et le couvert végétal du pays bamiléké

D'une manière générale, on distingue trois principaux groupes de sols. Sur le socle constitué de granite et de gneiss, on rencontre les sols ferrallitiques. Localisés dans la partie méridionale et surtout dans la marge est, ces sols se subdivisent en sols indurés ou cuirassés, sols remaniés à pseudo-sables et sols ferrallitiques humifères d'altitude. Cependant on rencontre aussi des sols ferrallitiques et humifères en dehors du plateau granito-gneissique: il s'agit des sols ferrallitiques sur basalte, trachytes et autres roches volcaniques. Puis il y a le groupe des sols intermédiaires entre ceux ferrallitiques et ceux peu évolués et jeunes. Volcanique ou peu volcanique, ce groupe comprend les andosols et les sols d'érosion. Enfin sur les zones de dépression on note les phénomènes d'hydromorphie qui donnent lieu à des sols hydromorphes. Le relief (topographie et pente) et le climat sont les facteurs essentiels de l'érosion naturelle des terres.

La couverture végétale quant à elle est marquée sporadiquement par les traces de l'altitude et de l'anthropisation. Du sud au nord du pays bamiléké on distingue successivement d'après la carte de la végétation du Cameroun (LETOUZEY 1979), la forêt biafréenne qui a pour aire naturelle le bamiléké méridional (les 2/3 sud des départements du Haut-Nkam et du Ndé), et la marge sud-est du département de la Ménoua. Au nord de cette formation se situe l'aire de la forêt semi-décidue, qui est suivie plus au nord par celle des formations montagnardes et sub-montagnardes qui occupent tout le bamiléké central et pénètre dans la partie nord où elle entre en contact avec une savanne périforestière au nord-est des Bamboutos. Les aires de distribution ont été modifiées par les incursions des groupements humains en zone de couverture végétale dense.

En somme, le milieu physique du pays bamiléké connaît une évolution naturelle à laquelle les groupements humains interviennent de plus en plus et impriment leurs marques.

II / L'environnement humain

Plusieurs études ont été consacrées à la perception et à l'appropriation de l'espace par les bamiléké, à la manière par laquelle ils aménagent, utilisent et occupent leur milieu. D'emblée on observe comme sur le plan physique des micro-changements au fur et à mesure qu'on quitte l'échelle régionale. Mais ces modifications de détails s'évanouissent lorsqu'on agrandit le champ d'observation; ce qui confère une originalité à la région, résultat d'une civilisation ayant plusieurs traits caractéristiques.

1 - La pression démographique

D'après le recensement démographique de 1987 (auquel FOTSING (1992) a émis des réserves), le pays bamiléké compte environ 12% de la population du Cameroun, soit 1.046.066 habitants sur presque 3% du territoire Camerounais. La densité provinciale est de 96 habitants au Km², contre une densité nationale de 23 habitants au Km². Mais ce chiffre dissimule les densités locales encore plus fortes, notamment sur les sols fertiles: 420 habitants au Km² à Bangang par exemple. FOTSING (1992) a observé des densités suivantes: 485 habitants au Km² à Bawoua, 1395 habitants au Km² à Balefe. De telles densités sont responsables d'une occupation intégrale et continue de l'espace rural d'où le fractionnement de l'espace en microparcelles, accentué par les migrations de retour et la rurbanisation.

2 - Contexte socio économique

Il est prononcé en pays bamiléké. La dynamique de l'occupation de l'espace est fille de la situation socio économique; l'appât du gain en est le moteur. Par exemple après les baisses des prix du café, on a noté un délaissement de la caféiculture au profit des cultures vivrières et autres reboisements spéculatifs. Certains paysans ont même arraché les plants de caféier dans leurs champs. avec la dévaluation du FCFA et le renchérissement des prix du café, l'on note déjà un regain d'intérêt pour la caféiculture. La notion de gain est bien encrée dans les formes d'utilisation de l'espace. En plus, les faits sociaux apportent leur pierre à l'édification de l'environnement humain du pays bamiléké. Parmi ces faits, ceux qui ont un impact sur la dynamique spatiale concernent l'enclavement, le manque de main d'oeuvre, le manque de terres cultivables, la mévente des récoltes, le manque d'engrais, la faible proportion des jeunes dans la population rurale, la part négligeable du sexe masculin dans l'agriculture paysanne, le manque de prise de conscience sur la pénestabilité sinon l'instabilité des milieux. Par exemple, la croissance démographique n'inquiète outre mesure. L'impact de ces

facteurs sociaux sur la dégradation des sols a amené MORIN (1983) à conclure que l'érosion en pays bamiléké est le résultat d'une "crise sociale". Cette érosion est d'autant plus croissante que les pratiques culturales deviennent défectueuses.

3 - L'inefficacité des pratiques culturales

Elle se traduit par l'intérêt de plus en plus décroissant que les bamiléké accordent aux pratiques qui ont rendu leur monde rural célèbre. On note de plus en plus l'abandon du bocage et des haies vives, une baisse considérable sinon l'abandon de la jachère, une réduction considérable de l'espace pastoral, une difficulté sinon un refus de l'intégration des innovations culturales d'où persistance des billons orientés dans le sens des pentes fortes; une dégradation exacerbée du couvert végétal mal compensée par des boisements spéculatifs d'eucalyptus. Pour ces boisements, TCHAWA (1993) les classe comme sixième facteur par ordre croissant de dégradation sur huit facteurs liés à la végétation et aux activités agricoles. Mais la dégradation des sols ne s'accélère et ne devient inquiétante que lorsqu'au cadre physique tourmenté se superpose cet environnement humain de plus en plus incompatible avec l'équilibre du milieu. Il y a lieu de redouter alors un emballement des processus d'érosion dû à une insertion de plus en plus inadaptée de l'homme dans le fonctionnement des milieux.

III / Les risques de dégradation accélérée des sols

L'occurrence des faits physiques et l'inadéquation du contexte humain se traduisent simultanément par une anthropomorphogénèse dont la dégradation latente ou accélérée des sols n'est qu'un aspect. De prime abord, la situation ne semble pas franchement catastrophique, même si par endroit des signes avant coureurs sont observables. ROGER NGOUFO (1989) a enregistré en cas de pluies d'érosion, des dégradations spécifiques de 309,8 kg/ha, 433,33 kg/ha, 2559 kg/ha, 562 kg/ha en 8 jours pour des pluies qui n'étaient ni vraiment intenses ni franchement abondantes. A l'érodibilité des sols s'ajoutent la prépondérance des facteurs hydriques, la déclivité et la longueur de la pente, la forme des versants et l'état du couvert végétal. Pour résumer les risques de dégradation, nous avons procédé à une cartographie (fig2) des potentialités de dégradation des sols en superposant la carte des densités humaines sur celle du milieu physique (relief et précipitations). En supposant que l'érosion augmente lorsqu'à l'élévation progressive du relief et des précipitations s'ajoute une forte densité de population, nous avons dégagé les zones à haut, moyen et faible risques de dégradation des sols.

En définitive, les sols du pays bamiléké, bien que passant rapidement de la stabilité à la pénestabilité puis à la dégradation accélérée n'ont pas encore atteint vraisemblablement le stade de l'irréversibilité. La restauration est encore possible et ne doit négliger aucun facteur tant naturel que psychosociologique. Il importe au préalable que les bamiléké prennent conscience des enjeux et des menaces liées à la dégradation de leurs sols et manifestent le désir de remédier à la situation. La carte des zones de dégradation (fig2) avec pour facteurs discriminants le relief, le climat et les densités de population n'est pas loin de la réalité observée sur le terrain. Dans l'ensemble, les zones à hauts risques concernent les pentes sud du massif des Bamboutos et quelques secteurs du bamiléké central et occidental; les versants des massifs du bamiléké méridional. Elle par exemple correspond aux zones ayant la moyenne la plus élevée des trois paramètres utilisés: c'est à dire les zones cumulant les grandes valeurs d'altitude, de précipitations annuelles et de densité de population.

Bibliographie

Anonyme., 1980.- Rép. du Cameroun: Précipitations journalières de 1973 à 1980. CIEH - ASECNA - ORSTOM, 497 p.

Anonyme., 1991.- L'environnement au Cameroun: Problèmes environnementaux des zones montagneuses de l'Ouest - Cameroun. Centre de Coopération Cameroun - Canada, Yaoundé: CEPER, 24p.

Anonyme., 1993.- DEMO 87. Résultats Bruts. Tome 9: Province de l'ouest. RGPH 87, Yaoundé, 232p.

DONGMO, J.L., 1981.- Le dynamisme Bamiléké. Tome 1: La maîtrise de l'espace agraire. Yaoundé: CEPER, 424p.

FOTSING, J.M., 1992.- Stratégies paysannes de gestion des terroirs et de lutte anti érosive en pays Bamiléké (Ouest - Cameroun). in Réseau Erosion, bulletin n° 12, p.p. 241 - 254.

MORIN, S., 1993. - Colonisation agraire, espaces pastoraux et dégradation des milieux dans les Hautes Terres de l'Ouest Cameroun. in bulletin du réseau Erosion n° 13, p.p. 112 - 129.

NGOUFO, R. 1989. - Les Monts Bamboutos: Environnement et utilisation de l'espace. Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle: Université de Yaoundé, département de géographie, vol.1, 349 p.

ROOSE, E.J., 1977. - Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. Paris: ORSTOM, 108 p. (Travaux et Documents ORSTOM, 78).

TCHAWA, P., 1990. - La dynamique des paysages sur la retombée méridionale des Hauts plateaux de l'ouest-Cameroun. Thèse de Doctorat de l'université de Bordeaux III. Bordeaux, 400p.

TCHAWA, P., 1993. - La dégradation des sols dans le Bamiléké méridional, conditions naturelles et facteurs anthropiques. in Cahiers d'outre-mer, 46(181) janvier-mars 1993, p.p. 75 - 104.

TSALEFAC, M., 1983 - L'ambiance climatique des Hautes Terres de l'Ouest du Cameroun. Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle de géographie, université de yaoundé, département de géographie, 398p.

LES TABLEAUX

| Types de pluie | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | TOTAL |
|-------------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|-------|
| Bruine | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 11 |
| Averses | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 13 |
| Orages avec pluie | 1 | 3 | 12 | 17 | 13 | 14 | 13 | 11 | 18 | 15 | 3 | 1 | 120 |

Tableau 1 : répartition moyenne annuelle (1970 - 1980) du nombre de jours

des différents types de pluie .(données de TSALEFAC (1983)).

| Stations | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | \bar{X} |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| BAFOUSSAM | 1691,7 | 1900,8 | 1881,9 | 1117,6 | 1899,1 | 1796,0 | 2102,4 | 1560,7 | 1507,0 | 1687,9 | 1749 | 1717,6 |
| Bamena | 1351,8 | 1772,4 | 1241,3 | 1354,2 | 1515,8 | 1353,6 | 1699,6 | 1302,7 | 1477,6 | 1269,8 | 1254,1 | 1417,5 |
| Bandjoun | 1496,2 | 1634,9 | 1046,9 | 1280,6 | 1575,9 | 1657,3 | 1703,5 | 1206,5 | 1713,2 | - | 1641,7 | 1495,6 |
| BANGANGTE | 1402,3 | 1277,3 | 1166,3 | 1368,0 | 1376,6 | 1305,5 | 1361,3 | 1135,8 | 1438,4 | 1250,3 | 1198,1 | 1298,1 |
| Bansoa (PENKA-Michel) | 1428,5 | 1770,3 | 1734,9 | 1619,7 | 1506,3 | 1874,8 | 1732,4 | 1332,5 | 1596,1 | 1481,3 | 1785,8 | 1623,8 |

Tableau 2 . les totaux annuels de précipitation(doc.anonyme (1990))

| Stations | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | TOTAL |
|--------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|------|--------|
| Bafoussam | 7,7 | 28,8 | 112,8 | 167,6 | 159,8 | 177,3 | 241,1 | 279,4 | 272,0 | 281,3 | 68,1 | 4,1 | 1800,0 |
| Bamena | 2,8 | 19,6 | 77,9 | 140,1 | 152,4 | 123,2 | 138,8 | 201,0 | 260,2 | 252,4 | 46,8 | 4,2 | 1419,4 |
| Bandjoun | 1,6 | 19,6 | 95,9 | 144,7 | 143,3 | 123,1 | 203,1 | 224,9 | 276,0 | 245,5 | 58,7 | 9,6 | 1546,0 |
| Bangangté | 3,4 | 15,8 | 78,2 | 127,2 | 151,0 | 120,9 | 129,2 | 165,5 | 241,7 | 234,6 | 58,9 | 3,8 | 1330,2 |
| Bansoa (Penka-Michel) | 18,5 | 40,2 | 109,8 | 137,7 | 173,5 | 181,9 | 197,4 | 207,0 | 290,0 | 231,8 | 45,2 | 14,1 | 1646,3 |
| TOTAL | 34 | 124 | 474,6 | 717,3 | 780 | 725,6 | 909,6 | 1077,8 | 1339,9 | 1245,6 | 277,7 | 35,8 | 7741,9 |

Tableau 3 : Moyennes mensuelles des précipitations (1966-1980).

| Stations | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | \bar{X} |
|----------------|------|------|------|------|------|------|-----------|
| Bafoussam | 123 | 166 | 126 | 133 | 144 | 146 | 140 |
| Bamena | 128 | 137 | 113 | 111 | 123 | 104 | 120 |
| Bansoa | | | | | | | |
| (Penka-Michel) | 160 | 223 | 148 | 166 | 184 | 182 | 177 |

Tableau 4 : Nombre de jours de pluie par an

| Stations | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | \bar{X} |
|------------------|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|-----------|
| Bafoussam | 89,3 | 76,6 | 68,9 | 54,8 | 75,1 | 102,9 | 86,2 | 75,7 | 38,5 | 48,6 | 70,3 | 71,5 |
| Bamena | 107,9 | 69,5 | 49,5 | 38,7 | 93,4 | 61,4 | 144,9 | 72,4 | 64,3 | 35,7 | 47,7 | 71,4 |
| Bansoa | | | | | | | | | | | | |
| (Penka - Michel) | 76 | 82,9 | 83,3 | 64,6 | 61,4 | 73,5 | 54,8 | 76,7 | 50,4 | 43,8 | 67,2 | 66,7 |

Tableau 5 : Indice de FOURNIER pour quelques stations entre 1970 et 1980 .

L'HOMME GESTIONNAIRE DE SON MILIEU FACE A L'ÉROSION EN LAVAKA AU LAC ALAOTRA (MADAGASCAR)

Jacques TASSIN
CIRAD-Forêt

1. INTRODUCTION

La région du Lac Alaotra, qui s'intègre à la bordure nord-orientale des Hautes Terres de Madagascar, est le siège d'une érosion intense dite en *lavaka*. Le processus de "lavakisation", qui génère des faciès érosifs spectaculaires sur les altérites issues de roches quartzieuses, bouleverse profondément les paysages (ROUGERIE, 1965 ; RAUNET, 1984). Il donne lieu à une redistribution des matériaux depuis les bassins versants vers la cuvette lacustre, théâtre d'une importante activité rizicole.

Envisagée sous l'angle de la relation de l'homme à son milieu, la lavakisation des bassins versants suscite une triple interrogation :

- Quelle est la part de l'homme dans la génèse, voire l'activation de ce processus ?
- Quelles en sont les conséquences socio-économiques sur l'activité agricole ?
- Comment l'homme s'est-il parfois mobilisé pour tenter d'enrayer ce phénomène ?

2. ORIGINE ANTHROPIQUE DU LAVAKA

Le Lac Alaotra constitue un ensemble "morphopédo-climatique" naturellement prédisposant à l'érosion en *lavaka* : fragilité des couvertures forestières et agressivité du climat, aptitude au cisaillement des horizons superficiels, présence d'altérites sableuses déstabilisées par l'affaissement du niveau des nappes phréatiques.

La part de l'homme et, surtout, le poids relatif de son intervention dans l'ensemble du processus de lavakisation à Madagascar font l'objet de nombreuses controverses (PETIT ET BOURGEAT, 1985 ; HOEBLICH 1992).

Néanmoins, au Lac Alaotra, l'homme a indéniablement participé à l'initiation et à l'activation des *lavaka* en adoptant successivement des modes de mise en valeur du milieu agressifs et miniers :

- économie de rente forestière (agriculture sur défriche forestière) jusqu'à disparition quasi-complète de la forêt ;
- économie de rente fourragère (élevage extensif du dix-septième siècle jusqu'à il y a une vingtaine d'années) s'accompagnant d'une très forte dégradation des couvertures herbeuses succédant à la forêt d'origine ;
- économie de rente ripoicole (défriche des marais soumis à une riziculture ne prévoyant aucune restitution de la fertilité), qui a entraîné depuis 40 ans un

assèchement des altérites par la descente générale des nappes phréatiques et n'est sans doute pas étrangère au fait que c'est précisément au Lac Alaotra (grenier à riz de Madagascar) que l'on observe les plus grands *lavaka*.

La destruction des couvertures végétales et la perturbation des flux hydriques ainsi provoquée revêtent une importance essentielle dans la genèse des *lavaka*. Le processus de lavakisation s'est précipité plus encore lorsqu'ont pu s'adjoindre des cisaillements d'origine anthropique : fossés d'évacuation des eaux, pistes, chemins empruntés par les troupeaux, carrières (RIQUIER, 1954).

D'autre part, la plupart des formations de phragmites situées en amont des gouttières d'alluvionnement des *lavaka* ont été défrichées pour laisser la place à des cultures pluviales (manioc essentiellement). Cette transformation des paysages agraires semblerait dater d'une quarantaine d'années, période à partir de laquelle le Lac Alaotra a connu le plus fort taux d'accroissement démographique de Madagascar. Les filtres végétaux qui participaient au tri granulométrique ont aujourd'hui presque tous disparu. Il est donc probable que les ensablements se ressentent aujourd'hui plus en aval qu'autrefois.

3. CONSEQUENCES SUR L'ACTIVITE AGRICOLE

Le remodellement des bassins versants que génère l'érosion en *lavaka* donne lieu à une toposéquence caractéristique qui recouvre cinq unités principales : reste du bassin versant, front de recul du *lavaka*, *lavaka* proprement dit (comprenant une "tête" et un exutoire), chenal de déviation des eaux et cône d'épandage des matériaux (*baiboho*).

Dans la très grande majorité des cas, le recul du *lavaka*, produit par érosion régressive et effondrement des parois périmétrales, n'affecte que des terrains voués à l'élevage extensif. Les conséquences pastorales du *lavaka* restent plutôt négligeables. La tête du *lavaka* est parfois même utilisée comme parc à zébus quand elle n'est pas directement cultivée.

Cependant, le fonctionnement en "chasse d'eau" des *lavaka* (RAUNET, 1984) provoque une divagation quasi-permanente du chenal d'évacuation des eaux collectées. Des débordements brutaux donnent alors lieu à des épandages sableux qui condamnent des rizières entières. Depuis les premiers aménagement hydro-rizicoles réalisés à partir des années 50, ce seraient plus de 500 ha de rizières qui auraient été définitivement ensablées. Ce sont jusqu'aux égouts de la ville d'Ambatondrazaka, chef-lieu de l'Alaotra, qui sont aujourd'hui bouchés !

Le coût potentiel d'entretien des réseaux et ouvrages associés à l'irrigation est énorme puisque dans les années 70, on évaluait déjà à plus de 650.000 m³ le volume de curage annuellement nécessaire. Actuellement, les structures susceptibles d'assurer un tel entretien n'existent pas.

4. LA "CORRECTION" DES LAVAKA

Dans les années 50 et 60, le formidable essor de la riziculture en Alaotra (en partie lié au déclin des autres cultures de rente) a provoqué la multiplication des ouvrages de retenue. Les problèmes d'ensablement ne se sont pas faits attendre et le Bureau des Sols, puis la Section de Défense et Restauration des Sols ont mis en place un très important programme de lutte contre l'érosion.

Plusieurs *lavaka* ont alors été stabilisés, essentiellement en recourant à de petits ouvrages de sédimentation qui ont permis de stopper l'érosion régressive (de VERGNETTE et BAILLY, 1961). Les techniques alors utilisées, bien qu'assez coûteuses, demeurent valables mais semblent ne pas avoir été intégrées à la "mémoire" du Lac Alaotra.

Aujourd'hui, avec la paupérisation croissante des populations rurales, le déclin des activités pastorales (lié en partie à l'insécurité), la raréfaction des surfaces rizicultivables encore disponibles et l'absence de structure de gestion des aménagements véritablement opérationnelle, de nombreux paysans de l'Alaotra tentent de réduire eux-mêmes les ensablements qui compromettent leur propre survie. Certains riziculteurs se sont groupés pour endiguer des réseaux entiers de rizières menacées. Ces aménagements se sont malheureusement révélés souvent inefficaces.

Des groupements se sont structurés à la faveur de projets ou sous l'impulsion d'ONGs. On a ainsi enregistré des taux de mobilisation atteignant plus de 80 % dans le cadre du Projet d'Aménagement des Vallées du Sud-Est. Là encore, et malgré des efforts sans doute exemplaires, un constat d'échec reste cependant à déplorer.

Certains ont parfois même agi seuls, sans perdre l'espoir de stabiliser les *lavaka* auxquels ils se sont affrontés, et en recourant à des barrages en bambous et à des plantations diverses sur les zones d'excavation. On ne peut pas ne pas mentionner ici l'opiniâtreté d'un riziculteur d'Amparafaravola (M. RABEFAHARY), qui a provoqué l'admiration de tous ceux qui l'ont connu pour avoir essayé de tenir tête à l'un des plus grands *lavaka* présents sur cette zone. Cet exemple, aussi magnifique soit-il, illustre en une cruelle dérision le déséquilibre total des forces en présence.

5. CONCLUSION

Nul doute que les *lavaka* ne constituent pas un phénomène véritablement récent, même si leur formation reste toujours liée à l'activité de l'homme et demeure donc postérieure à son apparition sur l'île. Nul doute non plus que jusqu'à il y a une vingtaine ou une trentaine d'années, les paysans de l'Alaotra semblaient s'accommoder d'une érosion qui ne compromettait pas leurs systèmes de production encore largement centrés sur l'élevage. Nul doute cependant qu'aujourd'hui, le phénomène de lavakisation revêt une importance économique de plus en plus forte et remet en question la viabilité de communautés villageoises entières.

En conséquence, la représentation paysanne des *lavaka* s'est sensiblement modifiée au cours du temps, tout particulièrement depuis environ une trentaine d'années. Il est significatif que de nombreux paysans affirment avoir vu se développer des *lavaka* en quelques années, là où les photos aériennes de 1965 et de 1988 montrent qu'il n'y a eu aucune évolution visible durant ce même temps.

La sensibilisation mais aussi la mobilisation des paysans face aux problèmes des *lavaka* ne font que s'accroître. Cependant, tout laisse penser que le processus de lavakisation a atteint une telle ampleur (certains versants sont "éventrés" à plus de 20 % de leur surface) que rien ne saurait plus enrayer leur lente progression.

Il est donc à peu près certain que dans les années à venir, on assistera à des mutations des systèmes de production agricole dans les zones les plus affectées par les *lavaka*. L'essor du maraîchage en quelques points de ces mêmes zones en représente peut-être le premier signe, comme ceci a pu être également remarqué dans les environs d'Antananarivo (RAMBOARISON, 1990).

Quant aux *lavaka* de demain...

BIBLIOGRAPHIE

HOEBLICH J.M., 1992. Le *lavaka* malgache, une forme d'érosion parfois utilisable. in Bulletin n° 12 du Réseau Erosion. ORSTOM, Montpellier, pp. 255-268.

RAMBOARISON R., 1990. Stérilisation des terres par les sables alluviaux, leur recolonisation par la végétation et leur récupération par les paysans dans le cadre du bassin versant de la Sisaony. Mémoire de maîtrise de Géographie. Antananarivo, Université d'Antananarivo, 183 p.

RAUNET M., 1984. Le milieu physique de la région du Lac Alaotra: Système et structure. Montpellier, IRAT, 226 p.

RIQUIER J., 1954. Etude sur les *lavaka*. Mémoires IRSM, série D, n° 4, pp.169-189.

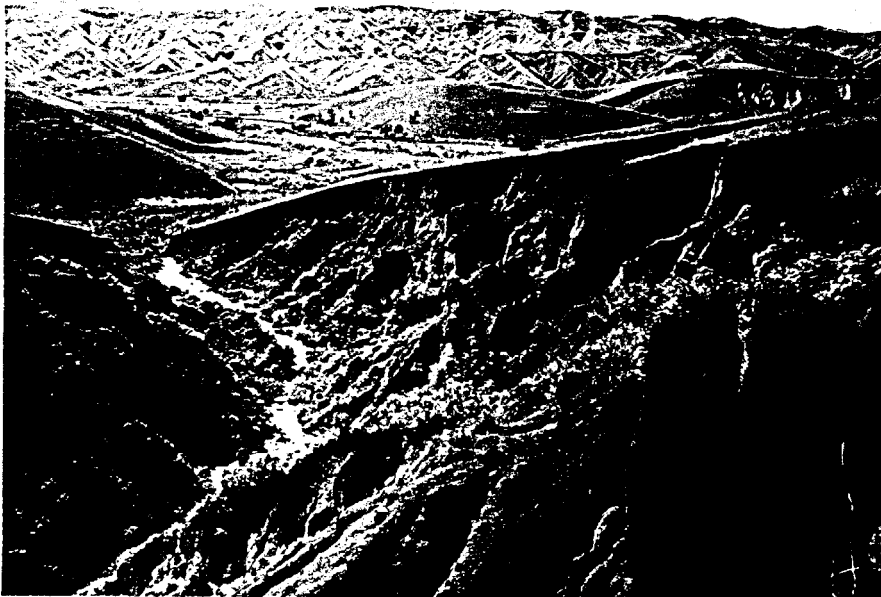
ROUGERIE G., 1965. Les *lavaka* dans l'évolution des versants à Madagascar. Bulletin de l'Association des Géographes Français, n° 332-333, pp.15-28.

TASSIN J., 1993. Place de la végétation dans le traitement des *lavaka* au Lac Alaotra (Madagascar). Akon'ny Ala. Bulletin du département des Eaux et Forêts de l'ESSA. Tananarive, n° 11, pp.40-49.

de VERGNETTE J, BAILLY C., 1961. Ouvrages anti-érosifs : la correction des *lavaka*. Section de Défense et Restauration des Sols, Antananarivo, 9 p. + annexes.



Après avoir été presque entièrement déforesté, le Lac Alaotra est devenu une terre de transhumance pour laquelle les *lavaka* (en arrière-plan de la photo) n'avaient guère d'incidence défavorable ; ...



... mais de ces évenements qui couvrent parfois chacune plusieurs dizaines d'hectares de bassins versants s'évacuent des matériaux quartzeux qui confluent en gouttières d'ensablement et compromettent gravement l'avenir des rizières situées en aval ; ...



... l'impact sur le monde agricole est tel que les paysans se mobilisent aujourd'hui volontiers pour participer à des travaux visant à réduire les ensablements. Une goutte d'eau dans un fleuve de sable qui, tôt ou tard, entraînera un changement des systèmes de production agricole des zones les plus affectées.

EROSION HISTORIQUE ET ACTUELLE ET ENVIRONNEMENT HUMAIN DANS LE SUD DU DESERT ARABIQUE (Yémen du Sud)

Brigitte COQUE-DELHUILLE

Laboratoire de Géographie physique, URA 141 CNRS, 1, Place A. Briand, 92195 Meudon (France).

Pierre GENTELLE

UPR 315, Archéologie de l'Asie centrale, CNRS, 27, rue Damesme, 75013 Paris (France).

Résumé

Les larges vallées yéménites qui s'ouvrent sur le désert arabe, de l'ancien Royaume de Saba à celui d'Hadramawt, offrent un exemple significatif de la variabilité de l'environnement humain sur l'érosion.

Grâce à des crues allogènes et une parfaite maîtrise des eaux, ces vallées arides ont connu, dans l'Antiquité sudarabique (8^e s. Av.-3^e s. Ap.), une irrigation de crue ou sayl. Un remarquable équilibre Homme/Milieu existait alors, avec une érosion positive, marquée par une sédimentation limoneuse contrôlée (anthrosols).

Actuellement, si l'érosion naturelle se manifeste surtout aux dépens des formations meubles des périmètres d'irrigation antiques par érosion hydrique (ravinement, suffosion) et éolienne (néostratification, yardangs), ce sont surtout les actions anthropiques qui exercent une action négative sur le milieu physique, marquée par la progression de l'ensablement et un rapide abaissement de la nappe phréatique, surexploitée pour l'irrigation.

Summary

The broad yemeni valleys wide opened towards the arabic desert, between the ancient Saba Kingdom and those of Hadramawt, give a significant example of the human impact variability upon erosion.

Owing to allogeneous flash-floods and a remarkable water control, a sayl irrigation was developed in these arid valleys, during the south-arabic Antiquity (8th century BC - 3rd century AD). There was then a noticeable equilibrium between Man activity and physical environment, with a positive erosion, characterized by silty controlled deposits (anthrosols).

At the present time, if natural erosion is working especially on the loose formations of the ancient irrigation perimeters by hydric erosion (gullying, piping) and eolian erosion (neostratification, yardangs), it's mainly Man activity that has a negative influence upon physical environment, with the progression of sanding up and a swift fall of the water-table level, due to an overexploitation for irrigation.

Mots-clés : Erosion historique, Périmètres d'irrigation antiques, Erosion anthropique actuelle, Ensablement, Désert arabe, Yémen du Sud.

Key-words : Historic erosion, Ancient irrigation perimeters, Recent human impact, Sanding up, Arabic desert, South Yemen.

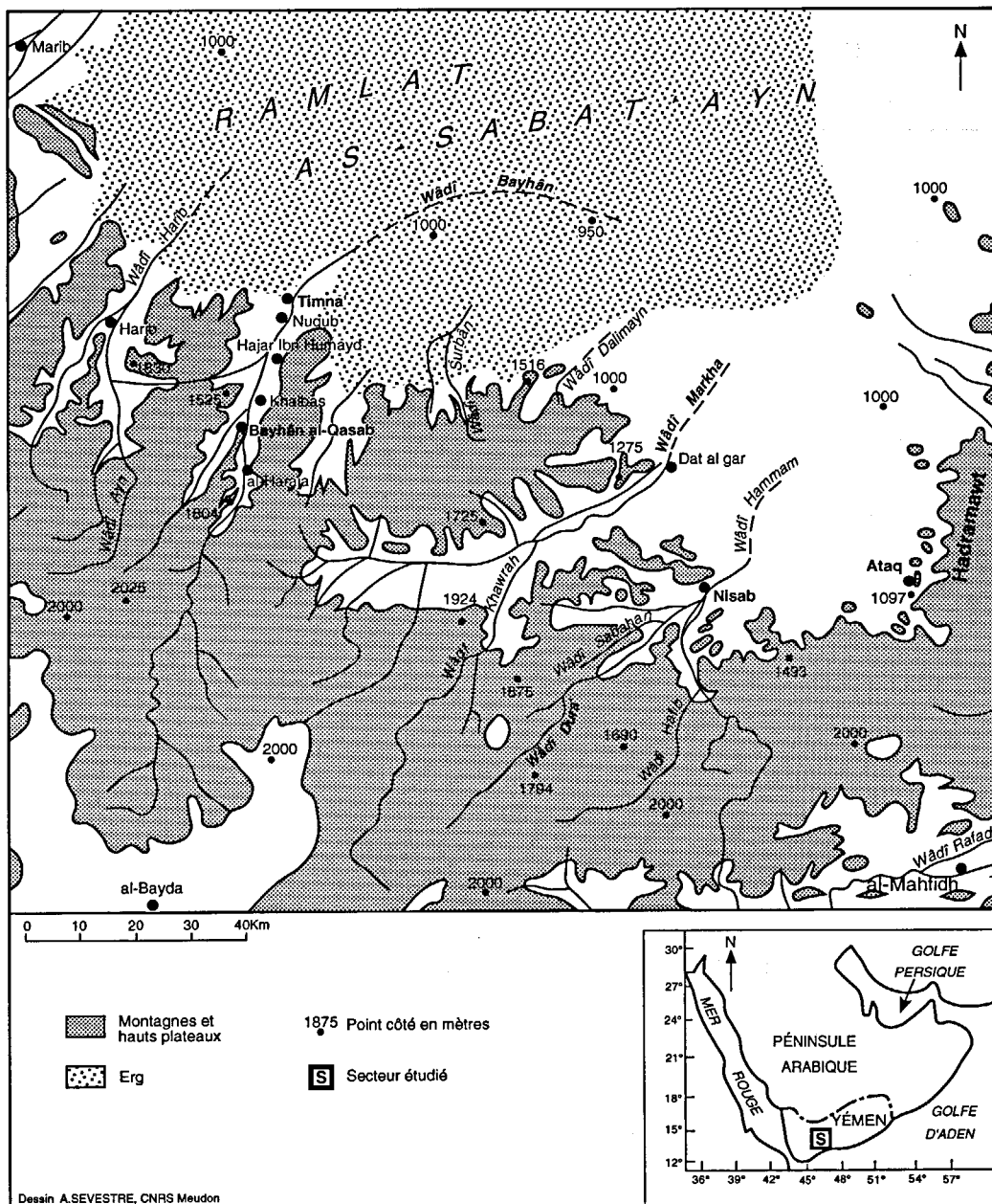


Fig.1 - Localisation et orohydrographie de la région étudiée

Au Yémen du Sud, sur la frange méridionale du désert arabe, du wâdî Harîb au wâdî Hammam, les larges vallées qui s'inscrivent dans des reliefs montagneux de socle (14°30' à 15°N. et 45°40' à 46°30'E.) illustrent clairement la variabilité de l'impact humain sur un milieu physique fragile (Fig.1). Au cours de l'Antiquité sudarabique (8è s. Av. - 3è s. ap.) marquée par l'épanouissement des royaumes de Saba, Qataban, Awsan et Hadramawt, l'érosion peut être qualifiée de positive, avec une sédimentation contrôlée par l'Homme, liée à une parfaite maîtrise des crues. A l'inverse, dans un environnement humain très différent, marqué par une forte pression démographique, l'érosion actuelle révèle des aspects négatifs de l'action anthropique.

I - CONTRAINTES ET POTENTIALITES DU MILIEU PHYSIQUE

Dans un environnement naturel contraignant, le Yémen aride présente néanmoins des potentialités, des conditions favorables dans le rapport fondamental que l'Homme entretient avec l'eau et la terre.

1 - Un milieu naturel contraignant

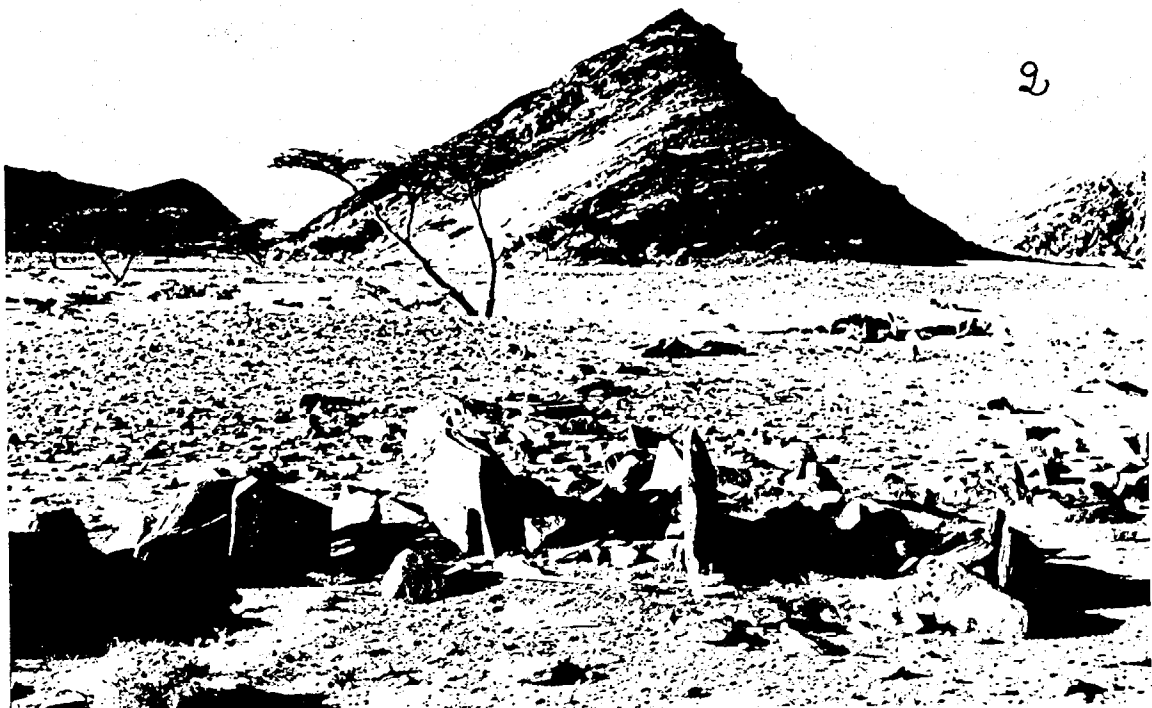
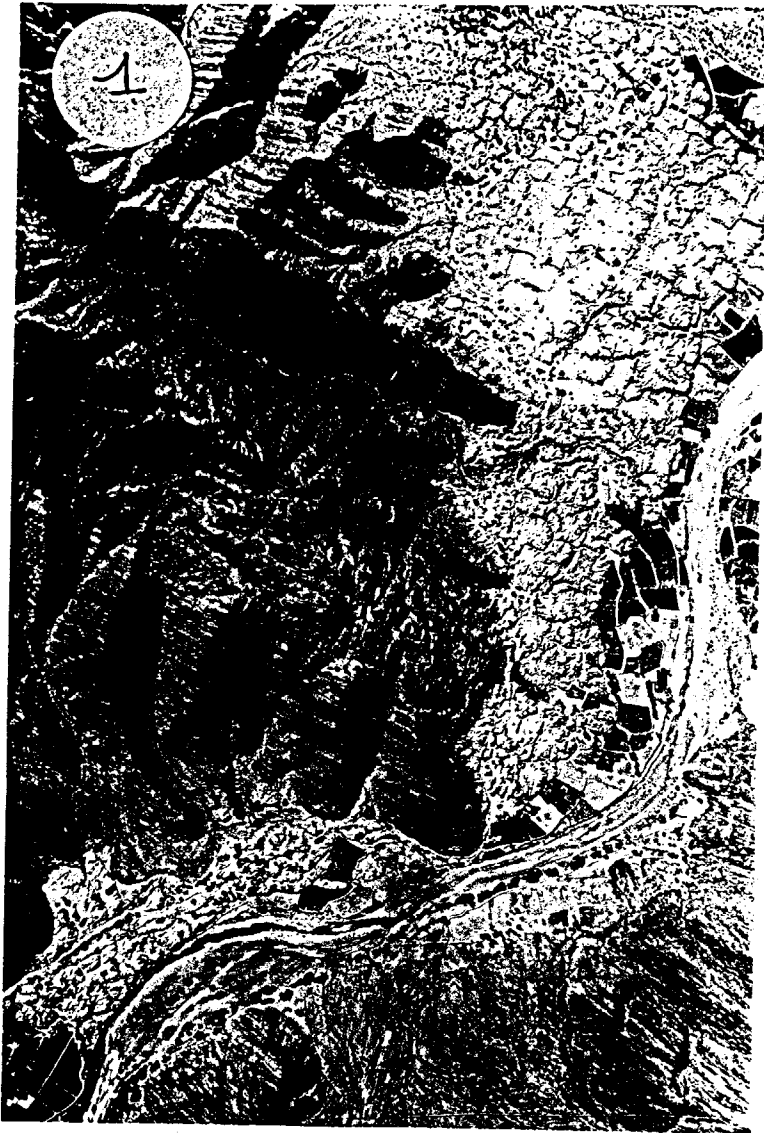
1.1 - Un bioclimat aride

Du Wâdî Bayhân au wâdî Hammam, la région d'étude appartient au domaine aride, voire hyperaride pour les marges de l'erg du Ramlat as-Sabat'ayn et la partie aval des grandes vallées (1). Les seules données précises dont nous disposons concernent les stations météorologiques de Bayhân et de Nuqub (wâdî Bayhân) pour la période 1982-1991.

En dépit de leur altitude de 1000 à 1100m, les parties aval des vallées connaissent des températures élevées toute l'année, avec des moyennes mensuelles de 18,7 à 22,3°C en hiver, et de 30,7 à 32°C en été, avec des maxima absolus de 42-43°C. La valeur moyenne des précipitations annuelles est de 64mm, mais avec une forte variabilité interannuelle allant de 20,4mm en 1985 à 144,6mm en 1990 (Fig.2). L'indice d'aridité UNESCO/FAO (P/ETP en mm) se situe vers 0,03-0,04, soit la limite de l'hyperaridité.

Ce caractère fortement aride a pour expression biologique une végétation rare, contractée aux lits des wâdîs (acacias, tamaris, *callotropis procera...*), tandis que les versants sont dénudés.

1.2 - Un relief montagneux compartimenté et la bordure du Ramlat as-Sabat'ayn



Le cadre géomorphologique oppose des reliefs montagneux très disséqués à pentes vigoureuses, dont l'altitude se situe entre 1500 et 2300m et de larges vallées NNE-SSW à NE-SW, vers 1000-1100m (Fig.1 et Ph.1). Ces reliefs se développent dans le socle arabe précambrien, constitué par un ensemble métamorphique complexe ("Aden metamorphic Group") et des granites intrusifs (Greenwood et Bleackley, 1967).

Au Nord, la région jouxte le Ramlat as-Sabat'ayn ou erg de Saba, dans lequel disparaissent les eaux de plusieurs wâdîs (Harîb, Bayhân, Surbân...). Cet erg relativement ancien, remontant au moins à la dernière phase très aride vers 17000-11000 ans BP, ou celle de 60000-28000 ans BP (données pour le Rub al Khali, d'après Andon, in Jado et Zötl, 1984; P. Sanlaville, 1992), constituait déjà une troisième unité du paysage désertique au cours de l'Antiquité sud-arabique (Coque-Delhuille, in Breton et al.). Obstacle à la circulation, il ne présente toutefois que des risques mineurs d'ensablement sur ses marges.

2 - Les éléments favorables du milieu.

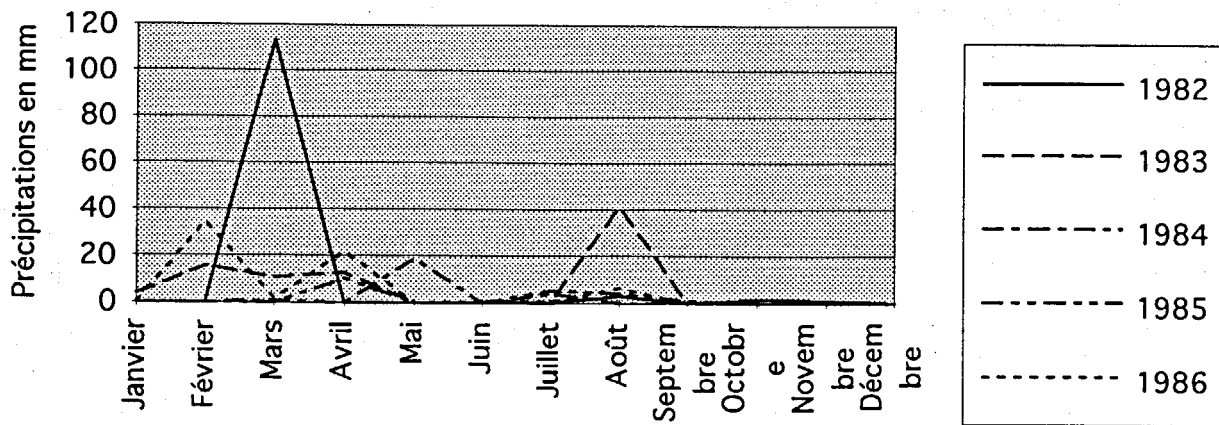
2.1 - De larges vallées à remplissage sédimentaire

D'amples vallées s'inscrivent dans cette montagne de socle, d'une largeur atteignant jusqu'à 5km dans la partie aval du wâdî Bayhân. En dépit de la présence de quelques grands cônes alluviaux à surface de regs (Bayhân) et de l'absence de dépôts naturels fins continus, ces vallées offrent des espaces agricoles favorables, correspondant à des surfaces de remblaiement. Elles sont comblées par des sédiments continentaux quaternaires (ou/et antérieurs), sables et galets alluviaux à niveaux carbonatés indurés en profondeur. Leur épaisseur excède 100m (observations à partir de puits en cours de creusement), permettant la présence de nappes phréatiques. Ces alluvions s'étendent, d'ailleurs, bien au-delà des zones extrêmes atteintes aujourd'hui par les crues, déposées lors d'épisodes quaternaires plus humides (Caton-Thompson et Gardner, 1939; Bunker, 1953; Cleuziou et al., 1992). Utilisés modestement dans l'Antiquité, ces aquifères alluviaux sont exploités actuellement de manière intensive pour l'irrigation par pompage.

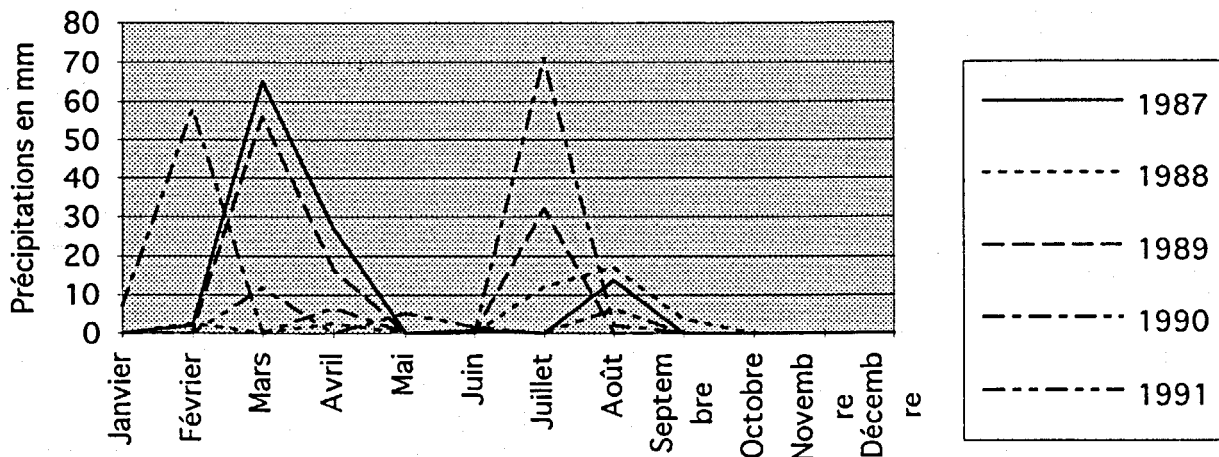
2.2 - Les crues allogènes des wâdîs

Les crues qui affectent en mars-avril et juillet-août les parties aval des vallées, très arides, ne s'expliquent que par la présence d'un impluvium montagneux puissant (>2300m au SE), semi-aride, subissant les fortes pluies de mousson (précipitations de 300-400mm/an ou plus? Les données font cruellement défaut), et des bassins-versants de grande taille (3900km² pour le

Fig. 2 - Courbes des précipitations mensuelles à Nuqub (Bayhân)



2a - Période 1982-1986



2b - Période 1987-1991

wâdî Bayhân), aux pentes fortes et dénudées, en roches cristallines imperméables, induisant de forts coefficients d'écoulement.

Ces crues brutales, de type *flash-flood*, se caractérisent aussi par leur violence, la rapidité de la montée des eaux (2,40m en deux heures le 12 avril 1990 à al-Haraja), avec un débit annuel moyen de 50 millions de m³ pour cette station. Il faut souligner, par ailleurs, la diminution rapide du nombre de crues et de leur intensité de l'amont vers l'aval. Ainsi, au débouché des gorges du wâdî Dura', se produit chaque année une crue de 6-7m de hauteur et plusieurs autres petites crues, alors que l'aval de son collecteur, le wâdî Hammam, ne connaît qu'une crue tous les dix ans environ (An Nudan, dernière crue en 1982).

II - IRRIGATION DE CRUE (SAYL) ET SEDIMENTATION CONTROLÉE AU COURS DE L'ANTIQUITE SUDARABIQUE

Au cours de l'Antiquité sudarabique, s'établit un premier type de rapports Homme/milieu dans le désert yéménite, avec une action positive des sociétés humaines sur leur environnement physique. Les eaux allogènes étaient maîtrisées et utilisées avec beaucoup d'ingéniosité, permettant le dépôt des particules les plus fines transportées par le wâdî au sein de périmètres d'irrigation préparés à l'avance pour les cultures.

1 - Maîtrise des crues et périmètres d'irrigation antiques

Maîtriser le flot de crue, en détourner une partie pour que l'eau puisse s'infiltrer et déposer les limons qu'elle transporte, s'opère au moyen de différents types d'ouvrages hydrauliques depuis le lit du wâdî jusqu'aux champs (Ph.2). Le fonctionnement de ces irrigations antiques, dont les vestiges subsistent dans tout le Sud de la péninsule arabique, a été décrit dans la vallée de Bayhân (Bowen, in Albright, 1958; P. Gentelle, in Breton et al.), à Marîb (Schmidt, 1982) et à Shabwa, dans l'Hadramawt (P. Gentelle, 1991).

A partir de petits "barrages" dans le lit du wâdî, cassant la vitesse du flot tout en élevant le plan d'eau, et de déflecteurs de crue construits à la sortie d'un méandre, l'eau est dirigée, à partir d'une berge concave, vers un aqueduc de terre ou canal d'aménée, parfois renforcé de pierres, aboutissant à un chapelet de champs. D'autres ouvrages permettent la régulation du flot dans chaque périmètre et évitent sa destruction (partiteurs, vannes, déversoirs de trop-plein... (P. Gentelle, 1991).

Les eaux ainsi détournées et guidées par ce système hydraulique arrivaient au niveau des champs avec une vitesse fortement réduite et une compétence très

affaiblie, limitée au transport de sables fins, de limons et d'argiles. Avec l'étalement du flot, puis son infiltration, ces particules fines se déposent. C'est là tout le génie du système : l'eau apporte le champ. Ainsi, dans ces larges vallées sans dépôts naturels fins étendus, l'Homme qui disposait d'eau a su constituer des "sols", des terres cultivables.

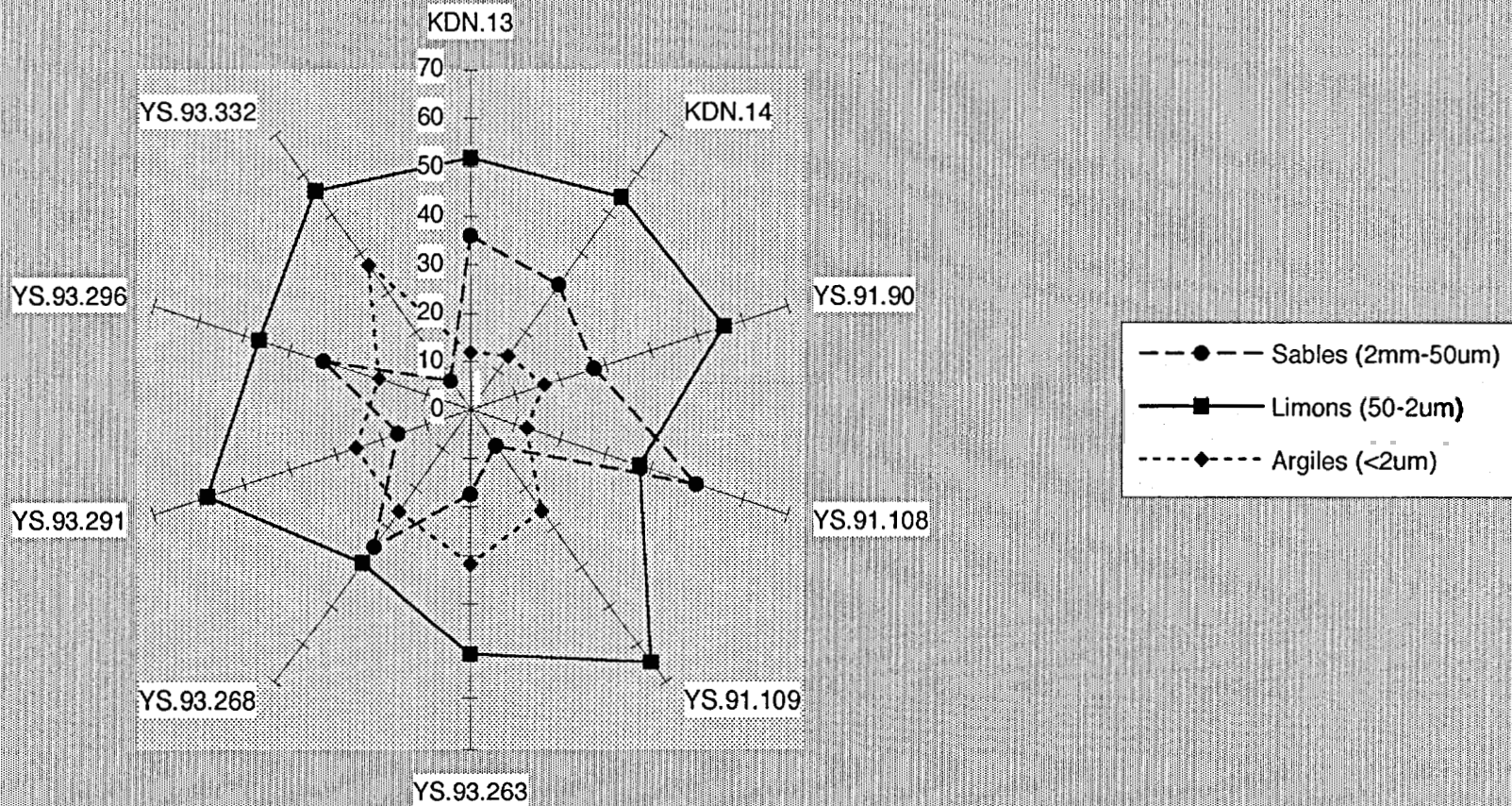
Ces périmètres d'irrigation antiques (PIA) reposent généralement sur la basse terrasse des wâdîs. Leur base se situe entre 1 et 3m au-dessus du lit actuel, un peu plus, semble-t-il, dans l'Antiquité comme en témoigne un exhaussement du lit dans la partie aval des vallées, illustré par l'enfouissement de la base de certains ouvrages hydrauliques sous des dépôts alluviaux (wâdî Dura'). Ces PIA s'identifient aisément par leur couleur claire et leur aspect en damier, calqué sur la trame orthogonale des anciens canaux de terre érodés (Ph.1). Souvent longilignes, ils prennent une forme beaucoup plus ample dans de vastes rentrants topographiques comme à Am Mukail (wâdî Dura'). Larges de 200-300m en moyenne, mais pouvant atteindre jusqu'à 3km, ils s'allongent sur quelques centaines de mètres à 6 ou 7km, leur longueur s'accroissant vers l'aval (Ph.3).

2 -La sédimentation contrôlée : les anthrosols

Au fil des siècles, à raison de quelques millimètres par an, la sédimentation contrôlée (anthrosols) au sein des PIA a édifié des terrasses limoneuses anthropiques dont la hauteur peut atteindre jusqu'à 15m (al-Haraja, wâdî Bayhân; al-Hinwa, wâdî Dura'). Aucun PIA n'a pu être calé strictement dans le temps par datations radiométriques conjointes de sa base et de son sommet. Pour le site d'al-Haraja où des anthrosols surmontent des couches archéologiques riches en charbons de bois, datés au ^{14}C de 2203 ± 123 ans BP (2), soit 352-212 Av. en datation calibrée, la vitesse de l'alluvionnement contrôlé serait de 1,30 à 2m par siècle (Coque-Delhuille et Gentelle, in Breton et al.). Cette estimation qui n'a qu'une stricte valeur locale, dans un site au débouché de la montagne bénéficiant d'une sédimentation de crue importante, est, semble-t-il, supérieure aux valeurs moyennes admises, de l'ordre de 50cm à 1m par siècle.

Les anthrosols sudarabiques présentent un certain nombre de caractéristiques sédimentologiques que nous avons précisées. La micro stratification subhorizontale originelle a été gommée par les labours successifs dont subsistent quelques microstructures perturbées. Les coupes montrent les traces d'anciens canaux de terre comblés de sables ou de sables limoneux, tandis que les champs antiques présentent une texture fine à dominante limoneuse (37 à 65% de limons de 2 à $50\mu\text{m}$ et de 12 à 38% d'argile $< 2\mu\text{m}$; Fig.3) (3). L'irrigation de crue (*sayl*) opère donc une très nette sélection dimensionnelle des alluvions.

Fig.3 - Diagramme en radar de la granulométrie globale d'anthrosols du Yémen du Sud



A l'intérieur de chaque PIA s'observe une décroissance de la taille des éléments de la base vers le sommet, mais aussi de l'entrée vers la sortie, où les phénomènes de décantation l'emportent. Les discontinuités dans les anthrosols sont rares, mais quelques-unes ont été repérées dans le wâdî Dura', signalant une interruption dans l'irrigation sans valeur générale.

La richesse en carbonates de ces anthrosols (8 à 12% en moyenne) (3) sur un socle acide, très pauvre en CaCO_3 (rares amas de calcite), s'explique par le remaniement par les eaux de ruissellement et celles des wâdîs de formations carbonatées antérieures, avec origine exogène des limons, d'apport éolien (Coque-Delhuille, in Breton et al.).

3 - Une aridité marquée depuis l'Antiquité

Au Yémen, plusieurs arguments plaident en faveur d'un climat aride tout à fait comparable à l'actuel au cours de l'Antiquité sudarabique.

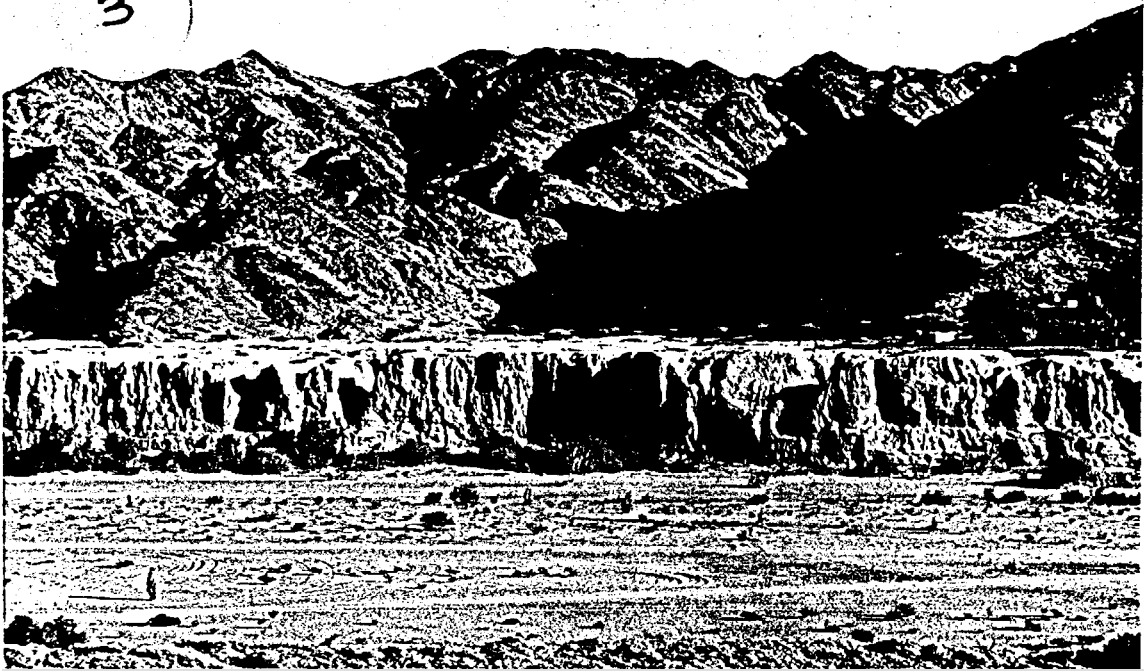
Les anthrosols indiquent l'utilisation de crues allogènes pour l'irrigation, ce qui suppose des conditions climatiques et hydrologiques analogues à l'actuel. Il faut ajouter l'absence de paléosols dans les limons antiques, mais, par contre, les traces d'une activité éolienne au sein de leur sédimentation. Les données palynologiques de mortiers, très fragmentaires, indiquent néanmoins une prédominance d'herbacées de milieux secs. Enfin, la bonne conservation des vestiges archéologiques et des inscriptions sudarabiques signalent, de même, le maintien d'une quasi paralysie des processus d'érosion. Mais, si l'aridité demeure la constante aux temps historiques, des fluctuations climatiques mineures ne sont pas à exclure, même si les preuves sédimentologiques font défaut dans la région étudiée.

Ainsi, au cours de l'Antiquité sudarabique, existait un remarquable équilibre entre ce milieu physique difficile et son aménagement par l'Homme.

III - EROSION ACTUELLE ET ACTIONS ANTHROPIQUES

Depuis la fin de l'époque sudarabique (moins de 2000 ans), si le caractère figé des versants revêtus d'un vernis noir ferro-manganique s'est maintenu (9000-6000 ans BP à titre indicatif, à partir des données paléoclimatiques du Quaternaire récent fournies, pour le Sud du Rub al Khali, par Mc Clure, 1976, 1978 et 1984; Coque-Delhuille, 1994), l'érosion naturelle s'est exercée aux dépens des formations meubles des vallées et notamment celles des PIA. Mais, depuis une vingtaine d'années, c'est surtout l'érosion d'origine anthropique qui retient

3



5



l'attention, avec les premières manifestations d'un déséquilibre Homme/milieu naturel.

1 - L'érosion naturelle hydrique et éolienne

L'érosion naturelle se manifeste surtout par le démantèlement plus ou moins poussé des PIA, les plus récents ayant été abandonnés vers la fin du V^e siècle de notre ère. Mais, leur degré d'érosion dépend d'abord de leur site géomorphologique. Limité dans des secteurs protégés, tel le périmètre d'al-Hinwa enchassé dans un véritable petit bassin hémisphérique, il apparaît plus avancé dans les wâdîs les plus vastes ou au débouché de wâdîs secondaires.

Cette destruction progressive s'opère en deux temps. Tout d'abord, l'érosion hydrique entraîne, en priorité, les sables des anciens canaux de terre plus facilement mobilisables par l'eau. Les limons compactés subissent, parallèlement, une érosion par suffosion (piping). A composante verticale dominante, l'érosion hydrique individualise des piliers limoneux qui s'effondrent par appel au vide en bordure des périmètres, tel celui d'al-Hinwa Ph.4).

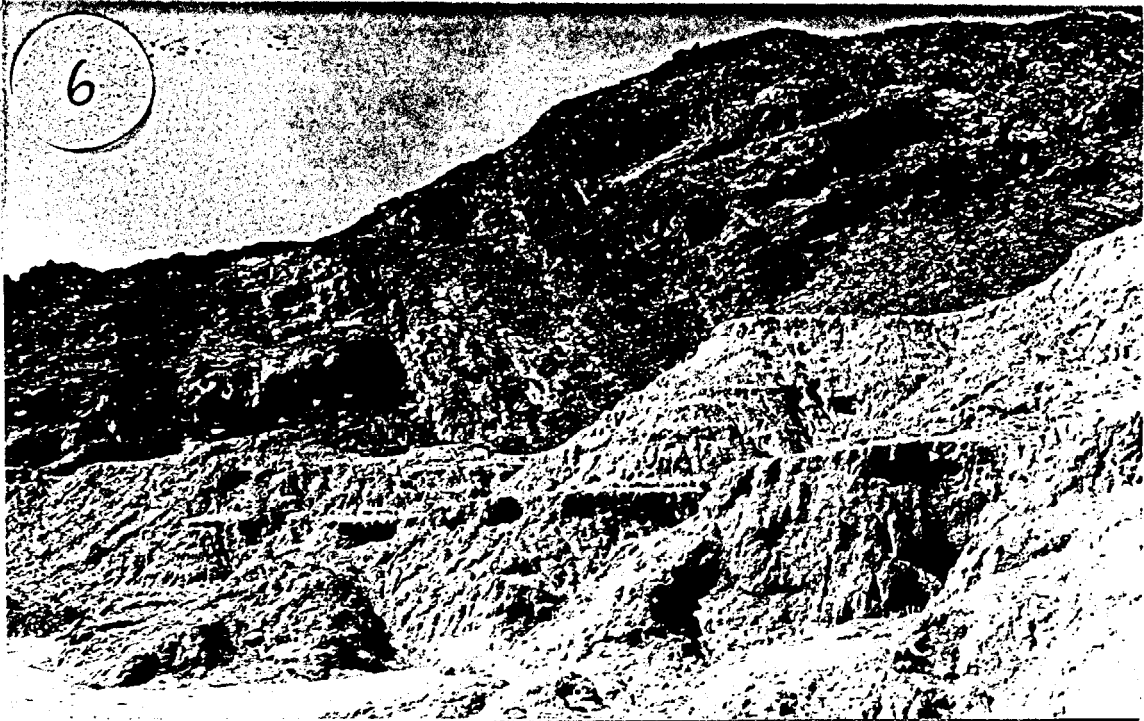
Puis, lorsque des buttes résiduelles d'anthrosols sont bien individualisées, dans les wâdîs largement ouverts aux vents dominants de NE (wâdîs Bayhân, Surbân, Markha, Am-Makhrama, Hijr...), l'érosion éolienne les façonne en yardangs (Ph.5). Le vent fait également apparaître une néostratification subhorizontale, les strates mises en relief, de quelques décimètres d'épaisseur, coïncidant avec des unités limono-argileuses, moins soumises à l'érosion que les niveaux sablo-limoneux (Ph.6). Ces variations granulométriques par strates pourraient signaler des périodes de quelques dizaines d'années de crues plus ou moins compétentes, et par voie de conséquence, des séries d'années un peu plus humides ou un peu plus sèches.

2 - Les aspects anthropiques de l'érosion

Mais actuellement, ce sont surtout les actions anthropiques qui ont un impact négatif sur le milieu physique.

2.1 - L'ensablement

L'activité éolienne n'est certes pas strictement actuelle. Elle fonctionnait aussi dans l'Antiquité, comme l'indique la présence de niveaux sableux d'origine éolienne au sein de quelques dépôts d'irrigation (wâdî Markha). Toutefois, une progression récente de l'extension des dunes mobiles apparaît, notamment dans le wâdî Bayhân, si l'on compare les photographies aériennes de 1977 et la situation observée sur le terrain en 1989 et 1991. Cet ensablement affecte les PIA, les sites archéologiques, mais aussi d'autres secteurs des fonds de vallées, correspondant aux grands couloirs éoliens NE-SW, où il menace des zones actuellement cultivées (Nord de Timna', secteur de Bayhân al-Qasab...).



Les barkhanes en boucliers et les petites chaînes barkhaniques représentent les dunes mobiles les plus fréquemment rencontrées (Ph.7). Leurs sables très fins (médianes de 0,096 à 0,13mm) et non usés diffèrent totalement par leurs caractères granulométriques, minéralogiques, morphoscopiques et exoscopiques de ceux de l'erg du Ramlat as-Sabat'ayn, plus évolués (Coque-Delhuille, in Breton et al.). Leur étude en laboratoire (3) montre qu'ils remanient à faible distance les fractions très fines des sables apportés par les crues des wâdîs, et celles des périmètres d'irrigation antiques.

L'extension des zones cultivées, ainsi que la dégradation de la végétation naturelle, consécutives à la pression démographique, expliquent une prise en charge accrue des particules sableuses fines par le vent.

2.2 - L'abaissement de la nappe phréatique

A l'irrigation de crue ou *sayl* s'est substituée aujourd'hui une irrigation par pompage de l'eau de la nappe phréatique présente dans les alluvions. Depuis une vingtaine d'années, la généralisation de l'utilisation de moto-pompes et l'extension considérable des périmètres de cultures entraînent un abaissement rapide de la nappe. Les enquêtes orales menées tant dans le wâdî Bayhân que dans le wâdî Markha, signalent toutes un abaissement moyen de l'ordre de un mètre par an, depuis environ 20 ans. De plus, les mesures que nous avons faites à partir d'un puits antique déblayé et approfondi en 1985 à al-Manqal (wâdî Dura), démontrent que le niveau de la nappe était resté très stable depuis l'Antiquité jusqu'à une période récente.

Il s'en suit une dégradation accélérée du couvert végétal naturel susceptible d'amplifier les problèmes d'ensablement, et une augmentation de la salinité de l'eau et des terres cultivées. Ces conséquences néfastes, encore limitées, ne peuvent que s'accroître dans un avenir proche, avec le retour d'un million de Yéménites d'Arabie saoudite en 1991. Le besoin en surfaces cultivables est tel que les périmètres d'irrigation antiques sont progressivement nivelés au bulldozer et remis en culture (Ph.8).

NOTES

(1) - Les auteurs ont effectué quatre missions de recherche sur le terrain au Yémen en 1989, 1991, 1992 et 1993, dans le cadre de "La Mission Archéologique Française en République du Yémen" dirigée par Jean-François Breton (CNRS).

(2) - Datations radiométriques ^{14}C , Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie isotopique (Pr. Jean-Charles Fontes), Université de Paris-Sud - Orsay.

(3) - L'ensemble des analyses sédimentologiques (granulométrie, calcimétrie, minéralogie des sables et des argiles, exoscopie des quartz au MEB) ont été réalisées au Laboratoire de Géographie physique de Meudon, URA 141, CNRS.

Bibliographie

ALBRIGHT F. - 1958 - *Archaeological Discoveries in Southern Arabia*, Publications of the American Foundation for the Study of Man, vol. 2, Baltimore, The John Hopkins Press.

BOWEN R.L.B. - 1958 - Irrigation in Ancient Qataban (Beiham), in ALBRIGHT, op. cit., 43-88.

BRETON J.F., ARRAMOND J. Ch., BRON F., COQUE-DELHUILLE B. et GENTELLE P. - 1991 - A la recherche de Qataban, Yémen, *Archeologia*, n°271, 44-49.

BRETON J.Fr., COQUE-DELHUILLE B. et GENTELLE P., avec la collaboration d'ARRAMOND J.Ch., *Une vallée du Yémen antique. Le wâdî Bayhân*. Editions ERC, Paris (à paraître).

BRUNNER U. et HAEFNER H. - 1990 - Altsüdarabische Bewässerungsoasen, *Die Erde*, 121, 135-153.

BUNKER D.G. - 1953 - The South-West borderlands of the Rub'Al Khali. *The Geographical Journal*, 119, 420-430.

CATON-THOMPSON G. et GARDNER E.W. - 1939 - Climate, irrigation and early man in the Hadramaut. *The Geographical Journal*, XCIII, 1, 18-38.

CLEUZIQU S., INIZAN M.L. et MARCOLONGO B. - 1992 - Le peuplement pré- et protohistorique du système fluvial fossile du Jawf-Hadramawt au Yémen (d'après l'interprétation d'images satellite, de photographies aériennes et de prospections). *Paléorient*, vol. 18/2, 5-29.

COQUE-DELHUILLE B. - 1994 - Caractéristiques, genèse et signification des vernis désertiques : l'exemple du Yémen, in *Les milieux arides et semi-arides. Héritages et dynamiques actuelles*, ouvrage en l'honneur de R. COQUE (sous presse).

COQUE-DELHUILLE B., Le milieu naturel de la région de Bayhân, in BRETON et al., op. cit. (à paraître).

COQUE-DELHUILLE B. et GENTELLE P., La sédimentation contrôlée des périmètres d'irrigation antiques, in BRETON et al., op. cit. (à paraître).

GENTELLE P. - 1991 - Les irrigations antiques à Shabwa. Extrait de la revue *SYRIA*, Tome LXVIII, Fasc.1-4, Librairie orientaliste Paul Geuthner, Paris, 5-54.

GENTELLE P., La nature et l'irrigation, in BRETON et al., op. cit., (à paraître).

GREENWOOD J.E. et BLEACKLEY D. - 1967 - *Geology of the Arabian Aden Protectorate*. U.S. Geological Survey, Professional paper 560-C, Washington, 96p.

HEHMEYER I. et SCHMIDT J. - 1991 - *Antike Technologie - Die Sabäische Wasserwirtschaft von Marib*, Verlag Philipp von Zabern, Mainz-am-Rhein.

JADO A.R. et ZOTL J.G. (Ed.) - 1984 - *Quaternary Period in Saudi Arabia* , Vol.2, *Investigations in Western Saudi Arabia* , Springer-Verlag, Wien, 362p.

McCLURE H.A. - 1976 - Radiocarbon chronology of late Quaternary lakes in the Arabian desert, *Nature* , 263, 755-756.

McCLURE H.A. - 1978 - Ar Rub'al Khali, in Al-Sayari S.S. et ZOTL J.G., Ed., *Quaternary Period in Saudi Arabia* , Vol. 1, Springer-Verlag, New York, 252-253.

McCLURE H.A. - 1984 - *Late Quaternary paleoenvironments of the Rub'al Khali* . Unpublished Ph.D. Thesis, University College London, 245p.

OVERSTREET W.C. et GROLIER M.J. - 1988 - *The wâdî al-Jubah. Archaeological Project* , AFSM, Washington, Vol.4, Part 10, 155-288.

SANLAVILLE P. - 1992 - Changements climatiques dans la péninsule arabe durant le Pléistocène supérieur et l'Holocène. *Paléorient* , 18/1, 5-26.

SCHMIDT J., Ed., - 1982 et 1987 - *Archaeologische Berichte aus dem Yemen* , Band I-1982, Band IV-1987, Verlag Philipp von Zabern, Mainz am Rhein.

Légende des figures

Fig. 1 - Localisation et orohydrographie de la région étudiée.

Fig. 2 - Précipitations mensuelles à Nuqub (Bayhân)

2a - Période 1982-1986

2b - Période 1987-1991

Fig. 3 - Diagramme en radar de la granulométrie globale d'anthrosols du Yémen du Sud.

Légende des photographies

Photo 1 - Vue aérienne du secteur d'al-Haraja (wâdî Bayhân). Le relief montagneux orienté NNE-SSW et fortement disséqué, s'inscrit dans le socle métamorphique. Au Nord, le périmètre d'irrigation antique d'al-Haraja se distingue aisément par son aspect clair et en damier, contrastant avec les champs actuels de teinte sombre. La végétation très contractée souligne les chenaux d'écoulement du wâdî (*cliché Lebel, Trinquès et Rives; Toulouse*).

Photo 2 - Ouvrage d'irrigation antique (partiteur à quatre canaux) dans le wâdî Surbân. A l'arrière plan, escarpement de type monoclinal dans les métasédiments précambriens (*cliché des auteurs*).

Photo 3 - Périmètre d'irrigation antique face au tell d'Hajar Am-Dhaibiyya (wâdî Dura'). L'épaisseur des limons d'irrigation (anthrosols) est de 10,60m. Au fond, versant rocheux granitique du côté oriental de la vallée (*cliché des auteurs*).

Photo 4 - Piliers d'anthrosols isolés par l'érosion hydrique, en bordure du périmètre d'irrigation antique d'al-Hinwa (wâdî Dura'); (*cliché des auteurs*).

Photo 5 - Vestige de limons d'irrigation antiques, façonnés par le vent en yardang, dans le wâdî Sabahan. On notera la néostratification de ces anthrosols, mise en évidence par l'action éolienne (*cliché des auteurs*).

Photo 6 - Néostratifications subhorizontales mises en évidence par le vent, dans un périmètre d'irrigation antique démantelé par l'érosion naturelle (wâdî Dura'); (*cliché des auteurs*).

Photo 7 - Ensablement d'une vallée par des petites dunes mobiles, de type bouclier barkhanique, à proximité du site de Rumaha. Les fronts sont orientés N.220-230°E. Le marteau donne l'échelle (*cliché des auteurs*).

Photo 8 - Remise en culture d'anciens périmètres d'irrigation antiques aplanis au bulldozer, dans le wâdî Dura'. Les vestiges d'anthrosols apparaissent de couleur claire (*cliché des auteurs*).

IMPACT DES TRAVAUX ANTI-EROSIFS SUR LES CRUES ET LE TRANSPORT SOLIDE

BERGAOUI MOHAMED (*)

CAMUS HENRI ()**

Résumé : Le but de cette étude est d'analyser l'impact des travaux anti-érosifs sur le comportement hydrologique, en terme de crues et de transport solide, de micro-bassins versants expérimentaux dans la zone semi-aride de Tunisie centrale au cours de six campagnes de mesures (avant aménagement et après aménagement). Le traitement des données observées durant la période 1978-1993 , nous a permis d'aboutir aux résultats suivants :

du point de vue ruissellement, les micro-bassins versants se comportent différemment après la mise en place des travaux anti-érosifs, la forme et les caractéristiques des hydrogrammes de crues ont subi des changements très significatives. Enfin, on note, à la suite des travaux anti-érosifs un nette diminution du transport solide. On présente par ailleurs un essai de modélisation du transport solide.

Mots clés : bassin versant semi-aride précipitation ruissellement transport solide
conservation en eau et en sol

**ABSTRACT : ANTI-EROSIVE WORKS IMPACT ON THE FLOOD AND THE
SEDIMENT TRANSPORT.**

The aim of this study is to analyse the impact of the antierosive works on the hydrologic behaviour, in term of floods and sediment transport, of the experimental micro-catchments in the zone semi-arid of central Tunisia during six companions of measurments(before fittings and after fittings). The treatment of the observed data during the period 1978-1993 permitted us to end at the following results. from point of view runoff, the micro-catchments behave differently after the putting in place of the antierosive works. The form and the characterstics of the hydrogrammes of floods underwent too significant changes. Finally, we note, follwing(after) the antierosive works, a clear decrease of sediment transport. In the same way, we present in this note a trial of modelisation of sediment transport

key words : Catchment Rainfall Runoff Sediment transport semi-arid Preservation
Water ground

(*) Enseignant, Ecole supérieure des ingénieurs de l'équipement Rural Medjez el-bab
9070, Route du kef medjez Tunisie

(**) Hydrologue, Directeur de recherche ORSTOM Tunis

INTRODUCTION

Dans les zones semi-arides, voire arides, caractérisées par une pluviométrie faible et très irrégulière, les facteurs climatiques ont un rôle considérable sur la perte en sol. En effet, en arrivant au sol la pluie agit par ses différentes composantes à savoir : la hauteur de pluie tombée, son intensité, sa distribution spatio-temporelle.

Dans certaines conditions limites, le processus d'érosion peut être déclenché [Camus et Bergaoui, 1993]. Les particules du sol détachées se trouvent par la suite transporter par ruissellement. En absence d'aménagements anti-érosifs, ces particules finiront, en un temps plus ou moins long, par venir se déposer dans les retenues, provoquant ainsi leur engorgement et limitant de ce fait leurs capacités de stockage et également leur durée de vie.

Pour tenter d'atténuer l'ampleur de ces phénomènes et essayer d'agir d'une façon efficace pour sauvegarder le milieu physique, il est nécessaire de connaître avant tout la relation pluie-ruissellement-érosion afin de déterminer les facteurs les plus significatifs, responsables de l'érosion hydrique. une fois cette connaissance acquise, il est possible mettre en évidence l'impact des travaux anti-érosifs.

Les résultats présentés dans cette note sont relatifs aux observations faites sur les micro-bassins expérimentaux de Tebaga au cours de la période 1987-1993. Nous déterminerons dans un premier temps, l'impact des travaux anti-érosifs sur les hydrogrammes de crues leurs caractéristiques et leurs formes et le transport solide. Enfin, en prenant en compte les événements érosifs, nous avons calé un modèle statistique de régression multiple qui donne des résultats satisfaisants.

I - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES MICRO-BASSINS VERSANTS DE TEBAGA

Les micro-bassins versants expérimentaux de TEBAGA sont situés dans le djebel Semmama à une quinzaine de kilomètres de la ville de Sbeitla (Tunisie centrale ; cf. fig). Ils se trouvent inclus dans le bassin versant de l'oued Zioud, qui avec l'oued Dhiar et l'oued Diss constituent en aval l'oued El Hissiane. (cf. fig.n°1).

I 1 Caractéristiques physiques.

Les caractéristiques morphométriques des micro-bassins versants sont résumées dans le tableau n°1 suivant (Camus H.1987, Mouelhi S.1993)

.Tableau n°1 Caractéristiques morphométriques des micro-bassins versants

| Nom du bassin versant | | TEBAGA 1 | TEBAGA 2 | TEBAGA 3 |
|----------------------------------|-----------------|----------|----------|----------|
| Surface | km ² | 0,0081 | 0,0079 | 0,0332 |
| Périmètre | Km | 0,3600 | 0,3600 | 0,7500 |
| Coefficient de forme : Kc | | 1,1300 | 1,2000 | 1,1500 |
| Longueur du rectangle équivalent | Km | 0,1030 | 0,1290 | 0,2290 |
| Largeur du rectangle équivalent | Km | 0,0780 | 0,0610 | 0,1450 |
| Altitude maximale | m | 975 | 960 | 932,5 |
| Altitude minimale | m | 905 | 902,5 | 880,8 |
| Altitude moyenne | m | 937 | 917,7 | 890,6 |
| Indice de pente globale : Ig | mm/h | 0,5670 | 0,4000 | 0,2040 |
| Indice de pente de ROCHE : Ip | m/km | 0,7930 | 0,6650 | 0,4670 |
| Dénivelée spécifique : Ds | m | 0,0510 | 0,0355 | 0,0371 |

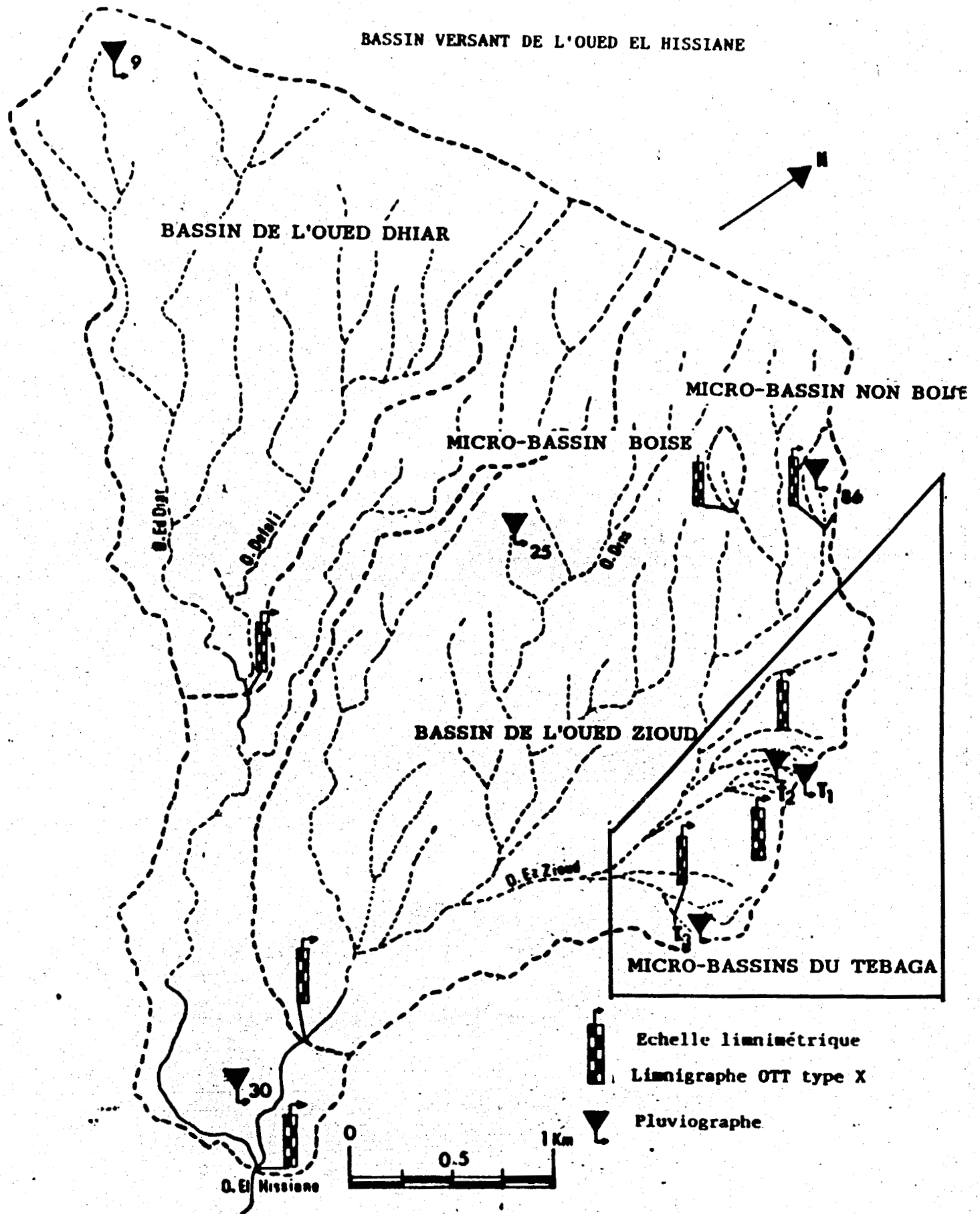


Fig. 1 - Le bassin versant de l'Oued EL HISSIANE

Dans ce tableau, on remarque que les micro-bassins versants de TEBAGA1 et TEBAGA2 sont de taille très voisine.

Les micro-bassins de Tebaga 1 et Tebaga 2 sont caractérisés par un sol brun calcaire (Delhoume et Barbery, 1985). La végétation des trois micro-bassins versants se répartit selon trois classes: ligneux, ligneux bas et herbacées d'après l'étude phyto-écologique globale du bassin versant de l'oued El Hissiane (Joffre, 1987)

Chacun des trois micro-bassins versants est équipé d'appareils de mesure de la pluviométrie, de la limnimétrie et du transport solide [Camus H. et al., 1987]. Ce dernier est récupéré dans une fosse à sédiments, vidée et récurée après chaque crue, dans la mesure où celles-ci ne sont pas trop rapprochées dans le temps. Les dépôts sont séchés à l'air, pour être ensuite pesés et analysés au laboratoire.

I 2 - AMENAGEMENTS ANTI-EROSIFS

Le plan d'aménagement en travaux anti-érosifs des trois micro-bassins versants de Tebaga, a été réalisé en même temps que celui du bassin versant de l'oued Ez-Zioud, sous la direction de l'équipe de la Conservation des Eaux et des Sols de Kasserine en 1990. Les travaux sur les bassins de Tebaga (Tebaga 1 et Tebaga 3) ont été achevés en octobre 1990, ceux de l'oued Ez-Zioud courant 1992.

Une mise en défens avait été tentée sur les deux micro-bassins versants de Tebaga 1 et de Tebaga 3, afin d'éviter le surpâturage ou l'exploitation des ligneux hauts. Ces micro-bassins versants, compte tenu de leur morphologie et surtout de leurs pentes, sont aménagés en travaux de type "cordons, murets ou encore petits barrages en pierres sèches". Le rôle des cordons pierreux est avant tout d'intercepter le ruissellement et surtout de permettre ainsi le stockage des matières solides en amont du cordon. Ces cordons disposés parallèlement aux courbes de niveaux jouent donc un rôle de frein hydraulique en augmentant la rugosité du sol puis en favorisant la formation de zone à faible pente.

II DONNEES

L'étude est développée en se basant sur les données collectées durant la période 1987-1993. Pour Tebaga 2, non aménagé, on dispose ainsi de 7 années de mesures. Pour les deux autres, il y a eu deux campagnes de mesures; une avant aménagement de 1978 à 1990, l'autre après aménagement de 1990 à 1993. Tous les résultats du dépouillement des données brutes se trouvent dans le rapport de Moulhi S., 1994.

Les tableaux n°2 et 3, donnent pour chaque micro-bassin, le nombre total d'événements enregistrés, avant et après aménagement ainsi que le pourcentage d'entre eux ayant engendrés un ruissellement.

tableau n°2 : événements avant aménagement anti-érosif. 1987-1990

| | <i>TEBAGA 1</i> | <i>TEBAGA 2</i> | <i>TEBAGA 3</i> |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|
| <i>Période d'observation</i> | 1987 - 1990 | 1987 - 1990 | 1987 - 1990 |
| <i>Nombre total d'événements</i> | 110 | 110 | 102 |
| <i>Nombre d'événements engendrant un ruissellement</i> | 44 (40%) | 44 (40%) | 29 (28%) |
| <i>Hauteur ruisselée (mm)</i> | 22,80 | 26,51 | 26,31 |
| <i>Hauteur ruisselée maximale (mm)</i> | 3,70 (08/08/1989) | 4,89 (08/08/1989) | 5,17 (22/08/1989) |

Le pourcentage des averses ayant provoqué un ruissellement sur TEBAGA 1 est identique à celui de TEBAGA2. Ceci n'est pas surprenant compte tenu de leur proximité et de leurs caractéristiques physiques et géomorphologiques très semblables.

La somme des hauteurs ruisselées sur TEBAGA1 et TEBAGA 2 est quasi identique. La faible différence est peut-être à attribuer, en partie, aux petites erreurs de mesures.

tableau n° 3 : événements après aménagement anti-érosif. 1990-1993

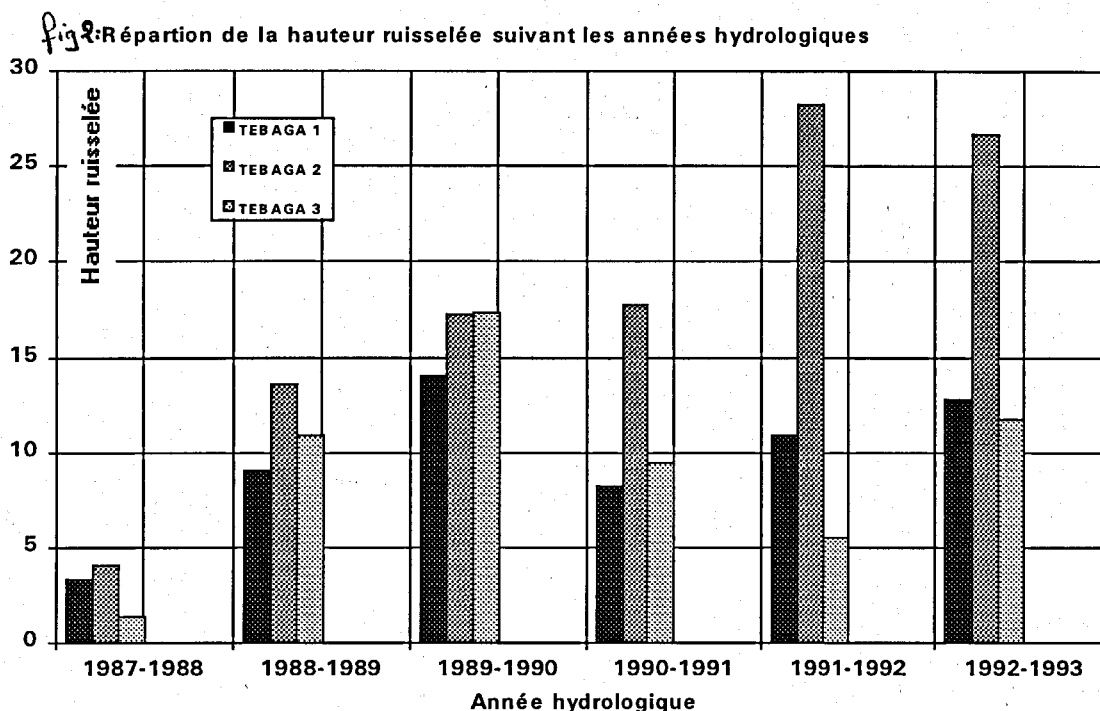
| | <i>TEBAGA 1</i> | <i>TEBAGA 2</i> | <i>TEBAGA 3</i> |
|--|----------------------|-----------------------|----------------------|
| <i>Période d'observation</i> | 1990 - 1993 | 1990 - 1993 | 1990 - 1993 |
| <i>Nombre total d'événements</i> | 155 | 155 | 132 |
| <i>Nombre d'événements engendrant un ruissellement</i> | 51 (33%) | 51 (33%) | 31 (23%) |
| <i>Hauteur ruisselée (mm)</i> | 38,10 | 79,82 | 30,78 |
| <i>Hauteur ruisselée maximale (mm)</i> | 5,46 (06/11/1992) | 14,07 (06/11/1992) | 7,72 (06/11/1992) |

Le pourcentage des crues engendrant un ruissellement sur TEBAGA3, que ce soit avant ou après aménagement, est inférieur à celui relatif à TEBAGA1 ou TEBAGA2. Ceci montre bien, l'effet des caractéristiques physiques en général et de la pente en particulier.

Au cours de la seconde phase après aménagement des TEBAGA1 et 3, on constate une différence significative dans le comportement hydrologique de ces deux bassins. La hauteur ruisselée égale à 38,1 mm pour TEBAGA1 atteint 79,8 mm sur TEBAGA2, soit une diminution de l'ordre 52%.

Les lames ruisselées maximales observées sur TEBAGA1 et TEBAGA2, toutes deux liées à la crue du 06/11/92, sont respectivement de 5,46 mm et 14,07 mm. Pendant cette deuxième phase, on assiste donc à une diminution par événement, de l'ordre de 61%.

Nous avons porté sur le graphique ci-dessous, figure n°2, pour chaque micro-bassin versant, les valeurs des hauteurs ruisselées correspondants à chaque année hydrologique afin de montrer l'impact des travaux anti-érosifs sur le ruissellement.



On observe qu'en l'absence de traitement anti-érosif, les valeurs des hauteurs ruisselées pour chaque micro-bassin versant sont très voisines. Par contre, après aménagement de Tebaga 1 et 3, la diminution est très significative.

On peut d'ores et déjà conclure que les travaux de conservation des eaux et des sols permettent une réduction globale significative du ruissellement, dépassant 52%, réduction pouvant dépasser 60% pour les crues les plus fortes.

III IMPACT SUR LES HYDROGRAMMES DE CRUES

Par définition, la crue est la réponse d'un bassin à une averse ou à un épisode pluvieux (ROCHE, 1986). Son étude est liée à des grandeurs qui, d'une part, décrivent la variation du débit et, d'autre part, caractérisent l'événement pluvieux qui en est la cause.

L'objectif de cette partie de l'étude est d'obtenir une représentation globale de la forme et des caractéristiques moyennes et maximales des crues observées, afin de quantifier l'impact des travaux anti-érosifs réalisés sur deux des trois micro-basins versants expérimentaux étudiés.

III .1 Analyse des crues :

Après un examen de toutes les crues observées, et au vu du tracé des hydrogrammes, nous avons pu classer l'ensemble des crues en deux groupes:

- crues complexes, résultant d'une averse complexe, à plusieurs pics ;
- crues à pointe unique provoquées par une averse de courte durée et de forte intensité.

Dans cette partie de l'étude, on s'est intéressé uniquement à l'étude des crues simples.

Pour cela, nous avons tracé, pour chaque micro-bassin, les hydrogrammes enveloppes et médians.

La méthodologie adoptée est la suivante:

Les hydrogrammes sont tous centrés sur la pointe maximale de crue. Ensuite, on prend les valeurs maximales par tranche pour l'hydrogramme enveloppe, et la moyenne des valeurs pour l'hydrogramme médian. Sur les averses correspondantes à ses hydrogrammes, nous avons procédé de la même façon pour tracer les hydrogrammes médians et enveloppes.

L'examen des hydrogrammes tracés, figure n°3 et n°4, montre que les crues sont écrêtées après aménagement du micro-bassin versant. En effet, l'hydrogramme passe d'une forme très aigue à une autre plus étalée (cas des Tebaga 1 et 3). Cette diminution du débit maximum s'accompagne d'une augmentation du temps de base et d'une diminution du volume ruisselé. Les conclusions suivantes sont à retenir :

- une diminution significative du débit maximum (variation en moyenne de l'ordre de 32% jusqu'à un maximum de 50%) ;
- une augmentation du temps de montée de l'ordre de 3 à 5 minutes ;
- une augmentation du temps de base de l'ordre de 20 à 35 minutes.

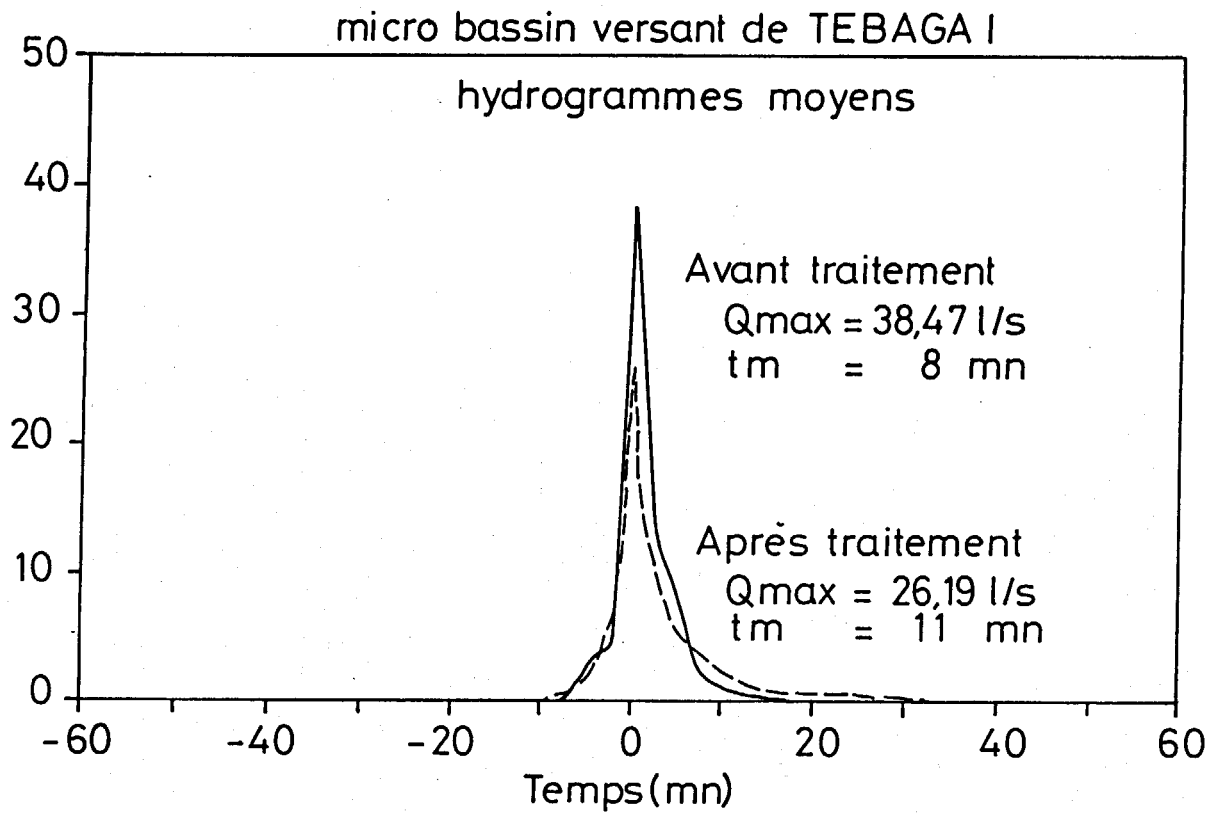
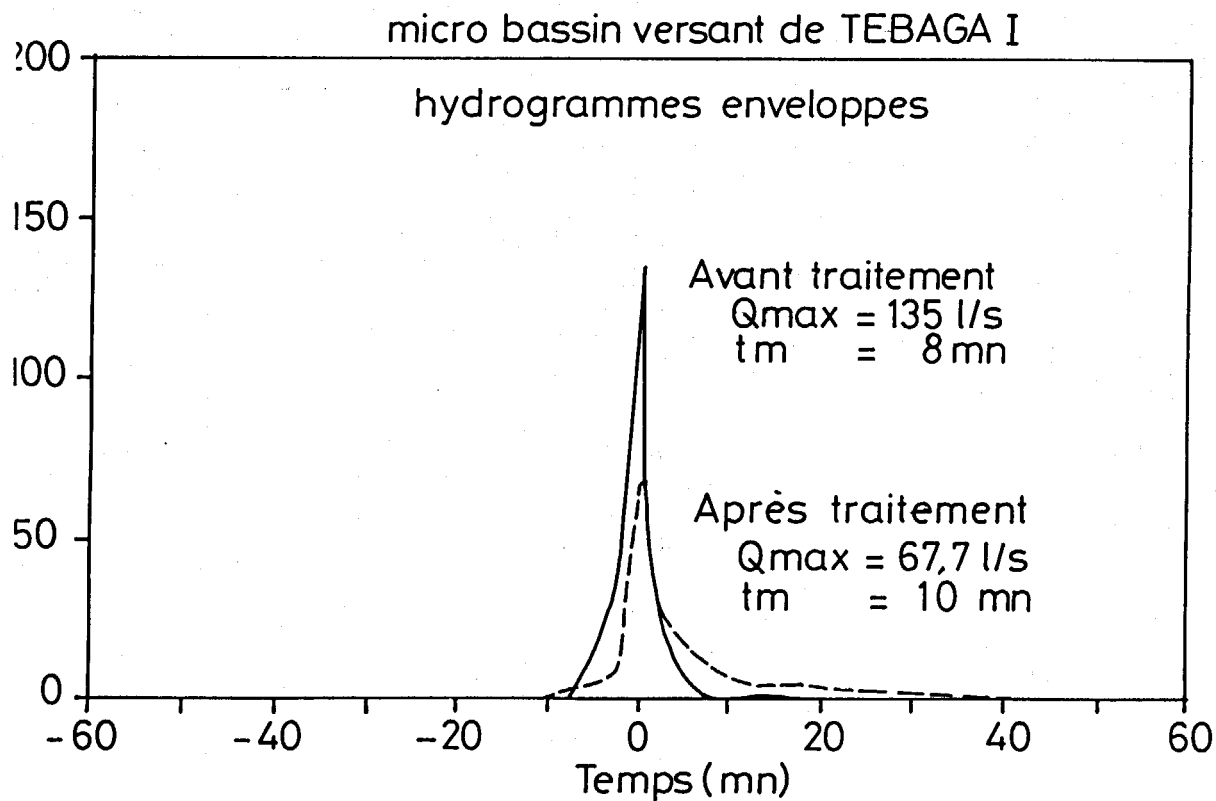


Fig. 3_ hydrogrammes moyens et enveloppes



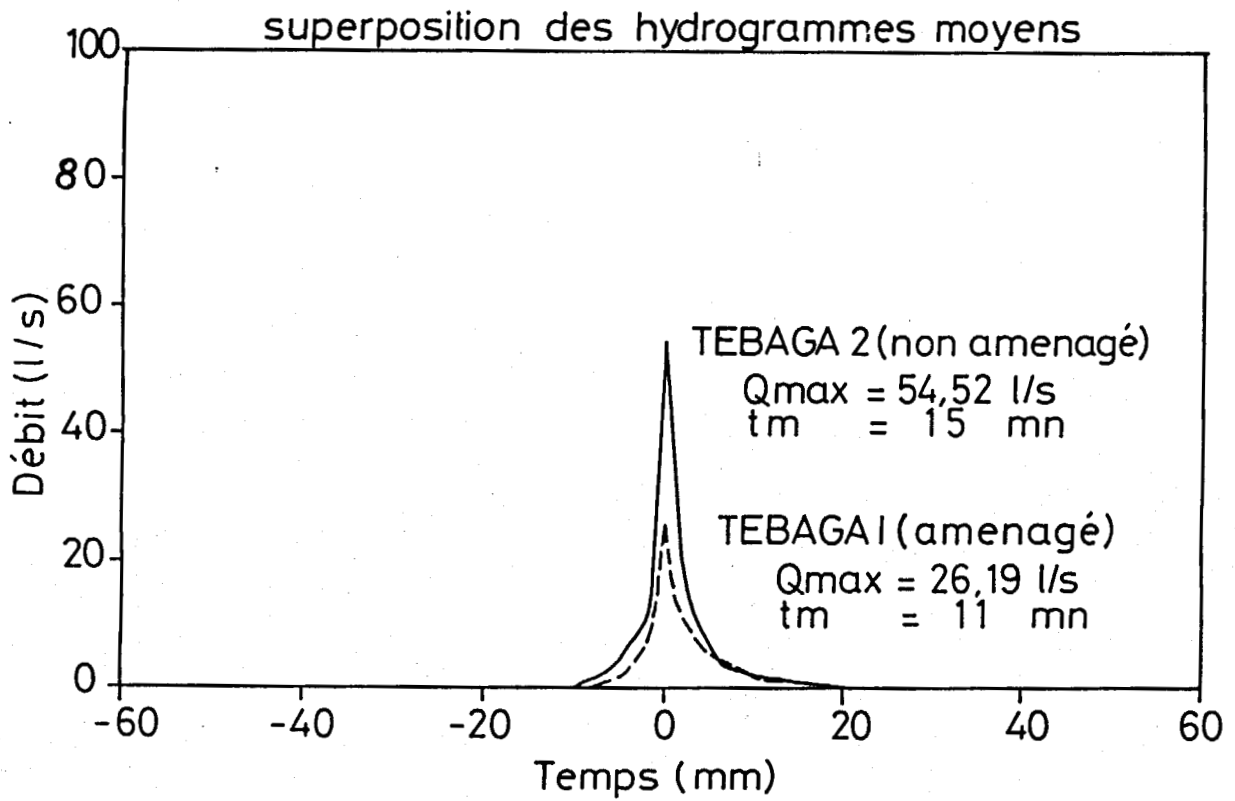
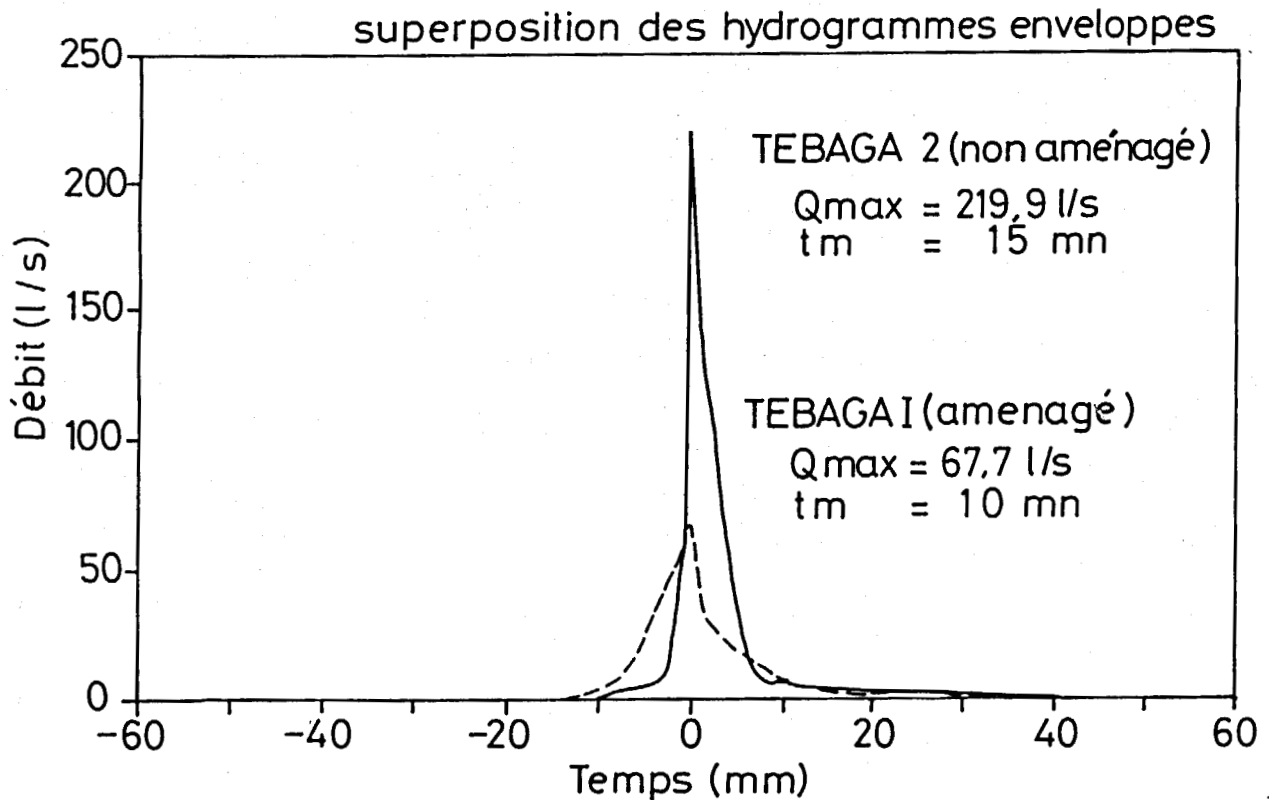


Fig.4 - superposition des hydrogrammes moyens et enveloppes



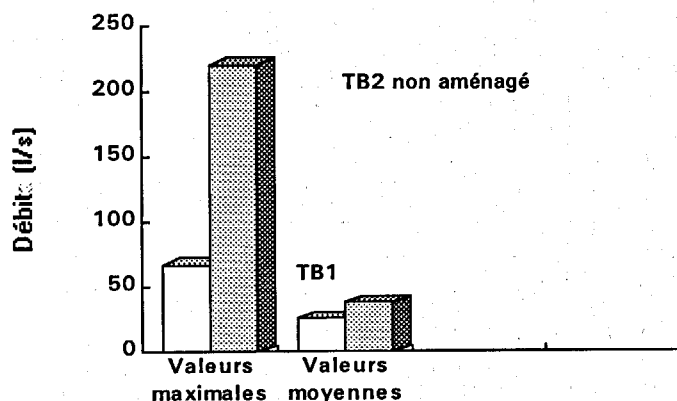
La superposition des hydrogrammes obtenus pour TEBAGA1 après aménagement et pour TEBAGA2, bassin témoin, figure n°4, nous a permis de tirer les résultats suivants, regroupés dans le tableau n°4.

Tableau n°4: Comparaison des débits maximums observés à tebaga 1 et 2.

| | <i>TEBAGA 1 (Après aménagement)</i> | <i>TEBAGA 2 (Non aménagé)</i> | <i>Rapport % Q1/Q2</i> | <i>Ecart relatif % (Q2-Q1)/Q2</i> |
|--|---|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| <i>Débit maximum (l/s) (Hydrog. enveloppe)</i> | 67,7 | 219,9 | 31 | 69 |
| <i>Débit maximum (l/s) (Hydrog. moyen)</i> | 26,19 | 54,52 | 48 | 52 |

Le graphique de la figure n°5, donnée ci-dessous, montre l'impact des travaux de conservation des eaux et des sols sur le débit maximum.

Fig 5: IMPACT DES TRAVAUX DE C. E. S SUR LE DEBIT MAXIMUM DE CRUE



Suite aux travaux de conservation des eaux et du sol, les débits maximums ont subis une diminution très nette. L'écart relatif, par rapport au bassin témoin, varie de 52% (en moyenne) à 69%(au maximum). En ce qui concerne le volume ruisselé, on a constaté une baisse de l'ordre de 30%.

IV - IMPACT DES TRAVAUX ANTI-EROSIFS SUR LE TRANSPORT SOLIDE

Pour montrer l'impact significatif des travaux anti-érosifs sur le transport solide, nous donnons dans le tableau ci dessous la valeur du transport solide spécifique annuel (tonne/ha) mesurée sur les trois micro-bassins versants.

Tableau n°5 : transport solide spécifique annuel(t/ha)

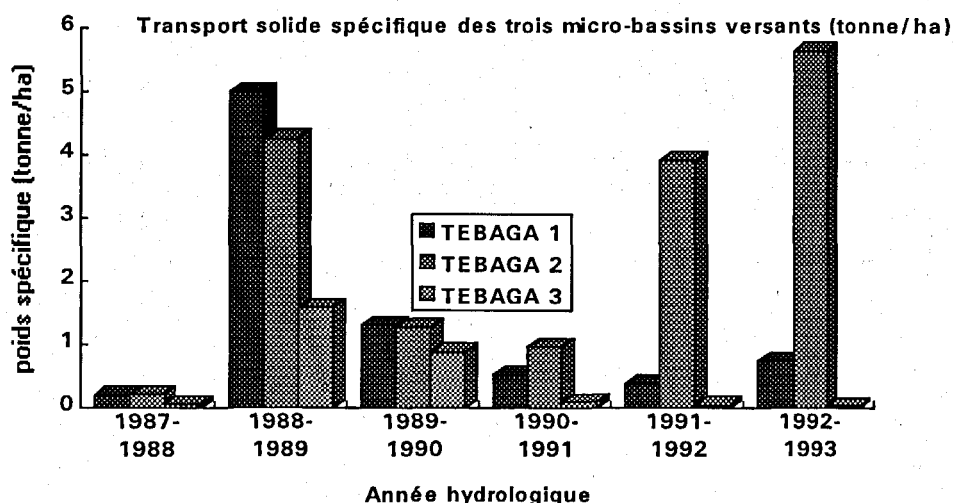
| | 1987-1988 | 1988-1989 | 1989-1990 | 1990-1991 | 1991-1992 | 1992-1993 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| TEBAGA1 | 0,195 | 5,001 | 1,308 | 0,518 | 0,390 | 0,748 |
| TEBAGA2 | 0,204 | 4,265 | 1,276 | 0,964 | 3,918 | 5,649 |
| TEBAGA3 | 0,063 | 1,585 | 0,892 | 0,088 | 0,035 | 0,032 |
| R12 % | 96 | 117 | 102 | 54 | 10 | 13 |
| R32 % | 31 | 37 | 70 | 9 | 1 | 0,6 |

On remarque que les rapports R1/2 (Tebaga1/tebaga2) et R3/2 (Tebaga3/tebaga2) diminuent très sensiblement à partir de 1990-1991.

L'érosion sur le micro-bassin versant de TEBAGA1 semble un peu plus importante que sur le TEBAGA2 pour les trois années correspondant à l'absence d'aménagements. En effet, un rapport moyen de 1,05 existe entre le transport solide spécifique annuel à TEBAGA1 par rapport à TEBAGA2, mais après aménagement, ce rapport n'est plus que de 0,26. Ce qui signifie qu'après aménagement, le transport solide a subi une réduction de l'ordre de 79%. Sur Tebaga3, le transport solide diminue également très sensiblement après aménagement, passant de 1.6 tonne par hectare en 1988 à 0.032 tonne par hectare en 1992.

Dans le but de mieux visualiser le rôle des travaux anti-érosifs, nous avons représenté sur le graphique de la figure n°6, les variations du transport solide durant toute la période d'observation 87- 93.

Figure n°6:



On peut noter qu'à partir de la quatrième année les valeurs de transport solide restent fortes sur TEBAGA2, alors qu'elles diminuent sensiblement sur le TEBAGA1 et Tebaga 3.

Ainsi, après aménagement des micro-bassins, le transport solide a subi une réduction de l'ordre de 79%. Les particules transportées au cours des crues se trouvent piégées en amont des différents cordons et barrages en pierres sèches

V) ESSAI DE MODELISATION DU TRANSPORT SOLIDE

Dans le but de déterminer les paramètres explicatifs du transport solide, en tenant compte des aménagements, et de proposer un modèle simple basé sur une approche statistique, nous avons basé notre démarche sur l'analyse des corrélations multiples entre la variable à expliquer (transport solide) et les variables explicatives (pluie, débit,...).

Le transport solide nécessite comme toute action une source d'énergie. En ce qui concerne l'érosion hydrique, cela commence par la pluie et s'étend au ruissellement. Tous les auteurs confirment que le facteur essentiel de l'érosion est la pluie (Smith et Wischmeir 1978, Henensal 1986, Keith et Cooley, 1980). L'énergie des gouttes de pluie désagrège les fines particules du sol qui peuvent ensuite être entraînées par le ruissellement.

Certes, ce mécanisme est observé sur les terrains de pentes moyennes ou plates (ELLISON, 1944 et 1945), ou s'observe un ruissellement en nappe. Très rapidement, surtout lorsque les pentes sont relativement fortes, se créent des rigoles puis des ravines ou le rôle érosif du ruissellement peu devenir très important.

V 1 ETUDE DES CORRELATIONS MULTIPLES.

Le phénomène de transport solide se manifeste lors d'un événement averse-crue. C'est à dire, lorsque la pluie engendre du ruissellement. Il est donc important de s'appuyer sur un certain nombre de paramètres définissant la séquence averse-crue.

Le traitement a été fait sur les données observées au niveau des micro-bassins versants de TEBAGA1 (avant et après aménagement) et TEBAGA2 (1987-1993). Pour ce dernier, la taille de l'échantillon est de 32 valeurs, tandis que pour celui de TEBAGA1, elle est de 16 avant aménagement et 19 après aménagement. Les événements analysés correspondent à ceux utilisés lors de l'étude des hydrogrammes des crues.

V..1.1 - Cas de TEBAGA1 avant aménagement :

Dans un premier temps nous avons procédé à une analyse de la matrice de corrélations partielles liant toutes les variables sélectionnées, afin d'analyser leur indépendance et d'évaluer le poids de chacune des variables explicatives dans la détermination de la variable à expliquer. Ensuite, ont été testés plusieurs modèles de régressions multiples en utilisant comme critère de validation le coefficient de détermination et le graphique des résidus.

le modèle retenu, dans le cas du Tebaga1, est le suivant :

$$Pt = (50,29 + 0,18*Qm + 126,19*Lr^2 + 0,07*130^3) - 1,32 *130^2$$

Figure n°7: corrélation entre valeurs observées et valeurs estimées.
Tebaga 1 avant aménagement

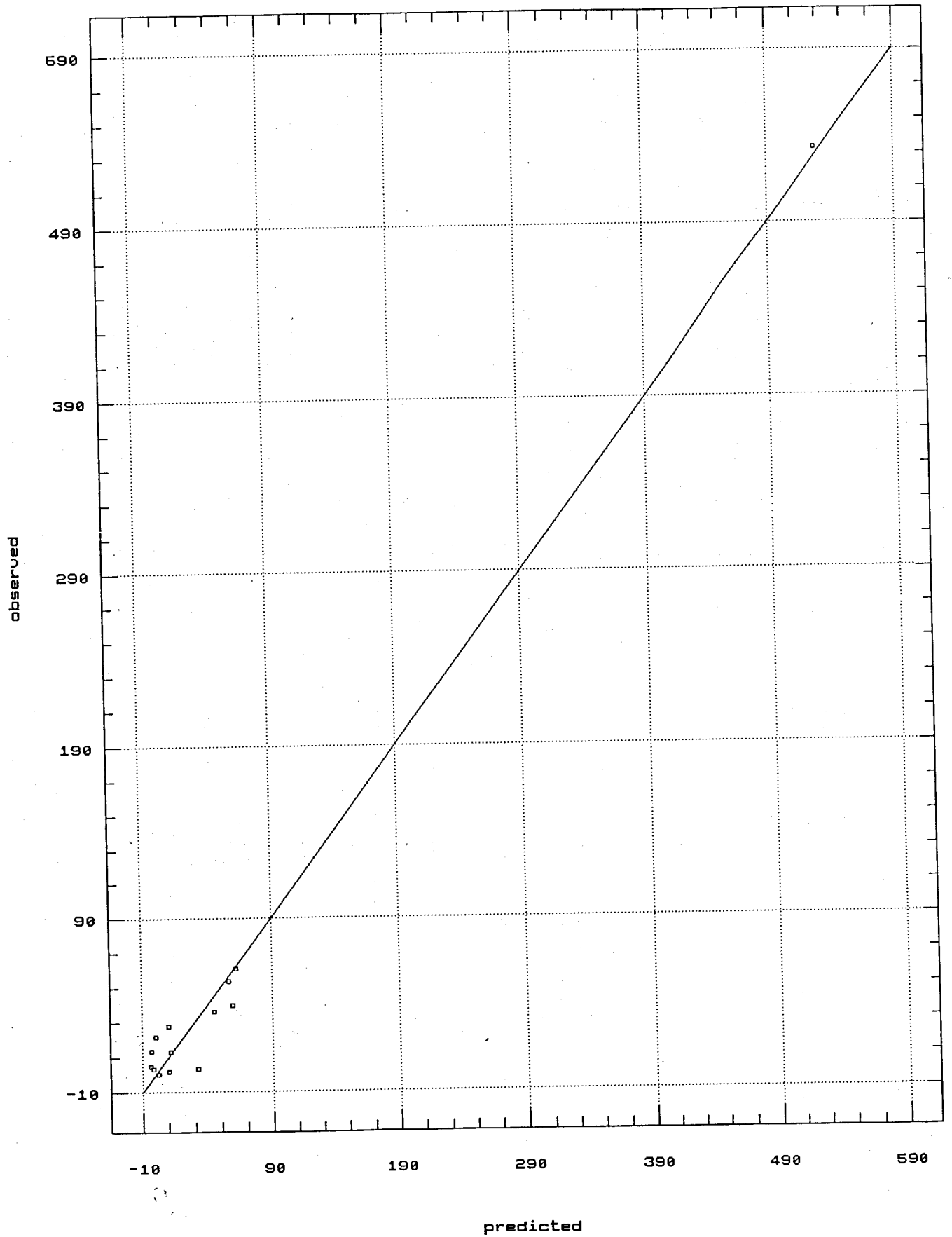
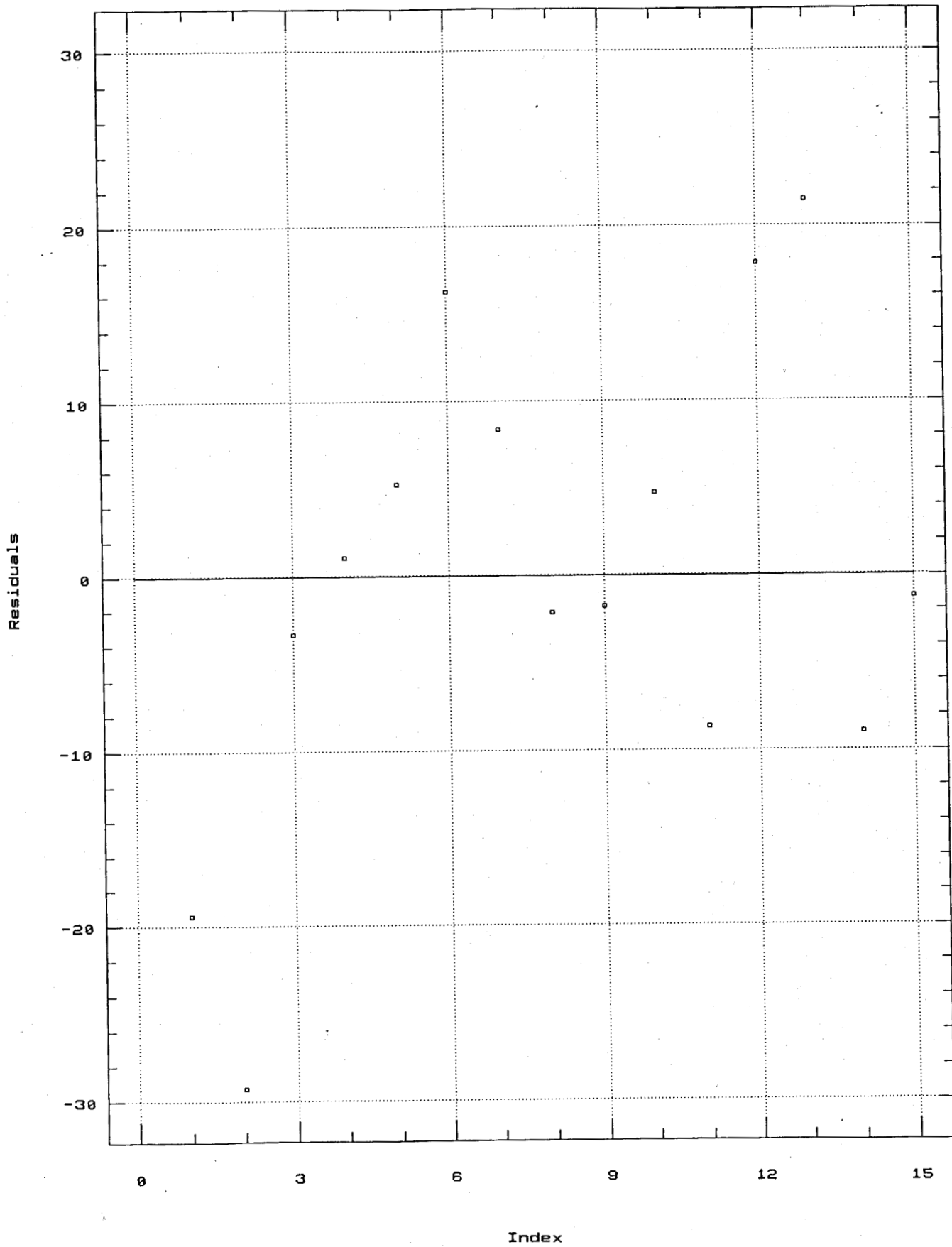


Figure n° 7 (suite) : graphique des résidus



avec:

Pt: poids du transport solide, en kg

Qm: débit maximal de crue, en l/s

Lr: hauteur de la lame ruissellée, en mm

I30: intensité maximal en 30 minutes, en mm/h

Pour un nombre de 16 observations le coefficient de détermination est de 98%, sachant toutefois que la lame ruissellée explique à elle seule 92 % de la variance du transport solide.

Le graphique des résidus confirme la qualité de la régression retenue (fig 7).

VI .1.2 - Cas de TEBAGA1 après aménagement :

En procédant de la même façon pour Tebaga1 après aménagement, nous avons constaté que le débit maximum (Qm) était la variable explicative principale du transport solide, suivie de l'intensité, mais que la lame ruissellée n'avait aucune influence.

Le modèle retenu est le suivant :

$$Pt = (8,38*Qm + 0,01*I30^3) - 0,14*I30^2$$

avec un coefficient de détermination de 97% et un nombre d'observation de 19 (fig n° 21).

Le graphique des résidus montre bien une allure aléatoire, ce qui confirme la régression retenue. (fig n° 8)

VI .1.3 - Cas de TEBAGA2 (non aménagé) :

Pour le micro-bassin de TEBAGA2 (non aménagé), nous constatons que les variables les plus explicatives sont la lame ruissellée (Lr) et le débit maximum (Qm). Elles expliquent 98% de la variance du transport solide.

Le modèle retenu est le suivant :

$$Pt = (5,96Qm + 21,8*Lr^2 + 0,003*I30^3) - 0,1*I30^2$$

avec un coefficient de détermination de 98% calé avec 32 valeurs.

Le graphique de la figure n°9 ci-après, illustre la qualité du modèle.

Figure n°8: corrélation entre valeurs observées et valeurs estimées.
Tebaga 1 après aménagement

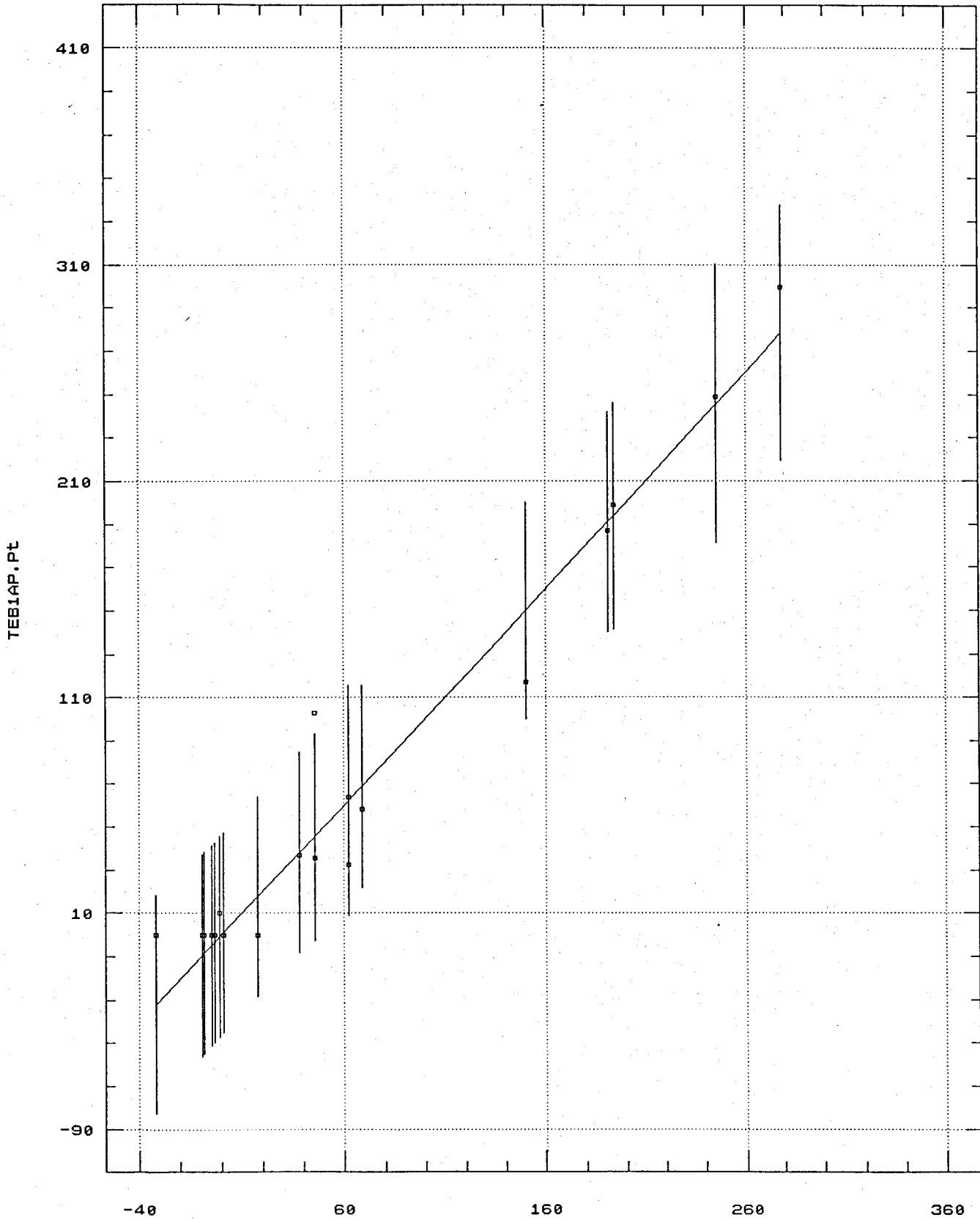


Figure n° 8 (suite) : graphique des résidus

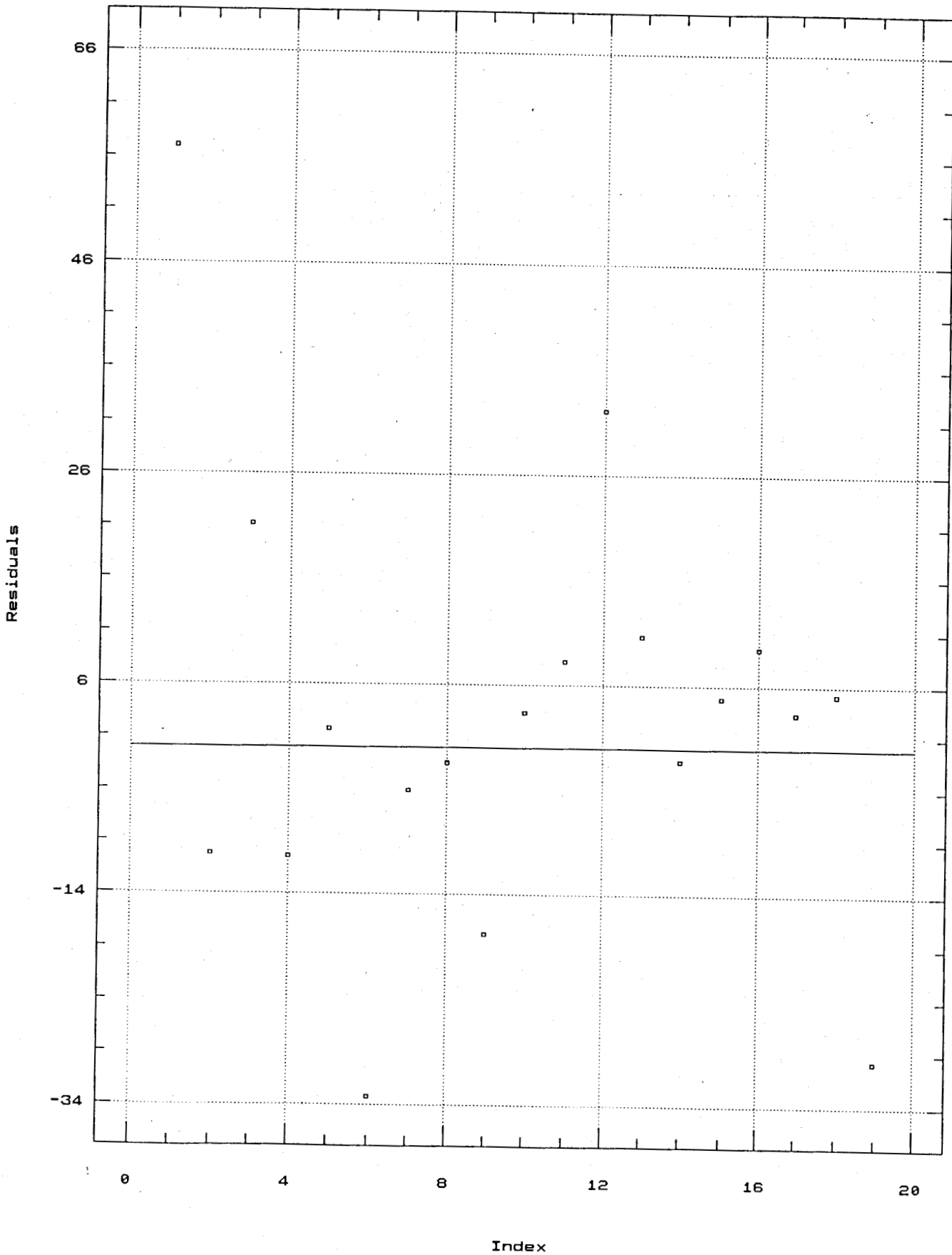
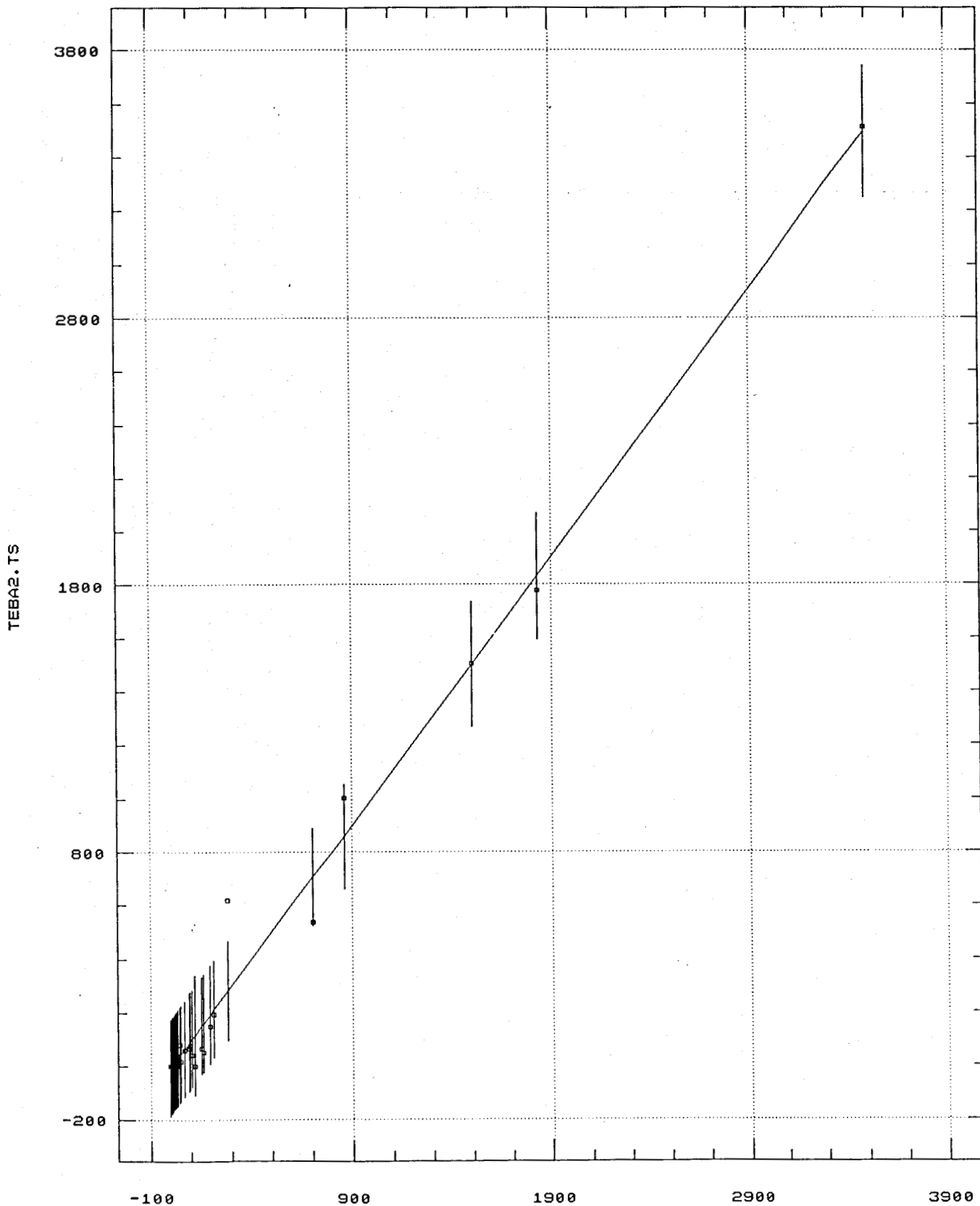


Figure n° 9 :

Predicted and Observed Values
with 95% intervals for predictions

— Fitted

◻ Observed



Predicted

379

V.2 - Interprétations :

Pour les différents modèles proposés, la partie positive représente le poids des particules arrachées par splash ou par ruissellement, tandis que la partie négative représente le transport qui s'est sans doute redéposé avant d'arriver à l'exutoire. Certes les modèles retenus semblent expliquer correctement les variations du transport solide. Cependant, il faudrait optimiser les paramètres des modèles ajustés empiriquement (Rosenbrock, 1960) et les valider. Il serait intéressant, de plus, de vérifier leur transposabilité à des bassins versants. Par ailleurs, on a constaté qu'avant aménagement des micro-bassins versants, le paramètre qui explique le plus le transport solide est la lame ruisselée. Par contre, après aménagement la lame ruisselée est remplacée par le débit maximum en premier lieu, puis à l'intensité en 30 minutes. Ce qui laisserait à penser que les plus forts débits jouent alors un rôle important, une partie du ruissellement restant peu actifs.

Ceci peut s'expliquer par le fait que le ruissellement se trouve freiné par les différents traitements de conservation des eaux et du sol sauf dans le cas de crues suffisamment fortes (débit et intensité importants).

Dans notre approche, nous n'avons pas inclus le couvert végétal du sol, qui joue un rôle important dans les phénomènes d'érosion hydrique. Il faut préciser que sur les bassins étudiés, la végétation croît d'une manière significative que lors des années de bonne pluviosité. En règle générale le sol est presque nu.

CONCLUSION

La comparaison du comportement hydrologique et du transport solide observés sur les micro-bassins de Tebaga durant deux campagnes de mesures, avant traitement (87/90) et après traitement (90/93), nous a permis d'aboutir aux résultats suivants :

- avant aménagement l'hydrogramme (enveloppe et médian) de crue présente un seul pic avec un temps de montée très court, une phase de décrue rapide et un débit de pointe très important. Après aménagement, la forme de l'hydrogramme est plus étalée, le temps de réponse est beaucoup plus long avec surtout un temps de base plus important et un débit de pointe (Q_m) réduit de 50%.

- diminution du volume ruisselé évalué à près de 30%.

- diminution très nette du transport solide évalué à près de 80%. Il reste à savoir si au fil des années, l'impact de ces travaux n'ira pas en s'aggravant.

- le transport solide pourrait être expliqué par la lame ruisselée, le débit maximum et l'intensité maximale de pluie en 30 minutes (I_{30}). En effet, l'érosion hydrique observée est due essentiellement au détachement des particules du sol par les précipitations (Intensité) et le ruissellement, ce dernier étant lui-même lié aux précipitations.

Certes, notre approche globale nous a permis de mettre en évidence l'impact des travaux anti-érosifs sur le ruissellement et l'érosion. Toutefois, une analyse par événement averse-crue devrait être envisagée afin de déterminer:

- la position de l'intensité maximale de l'averse ainsi que la forme et les caractéristiques de l'hydrogramme type.

- la quantité de sédiments, transportés par charriage, redéposée au cours d'une averse.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bergaoui Med., Camus H. 1994 Etude statistique des averses sur le bassin versant de l'oued ez-zhoud (Djebel semmama, Tunisie centrale). Les Annales Maghrébines de l'Ingénieur 8(2):19 p.

Camus H. et al. 1987-Rapport d'installation de 3 micro-bassins versants expérimentaux dans la région de Sbeitla pour l'évaluation de l'impact des travaux anti-érosifs de la CES. DGRE/ORSTOM/CEs, 26p. Tunis

Mouelhi S. 1993 Impact des travaux antiérosifs. Micro-bassin de tebaga. Stage d'été, Juillet - Aout 1993. ORSTOM-Tunis, pp..

Ellison W.D. 1945. Two devices for measuring erosion. Agr. Engr. 25:53-55

Henensal P. 1986 L'érosion externe des sols par l'eau. Approche quantitative et mécanismes. Rapport de recherche du laboratoire des ponts et chaussées .n° 138, 76p.

Delhoume J.P. , Barbery J 1985. Etude en milieu méditerranéen semi-aride (de Djebel semmama). Ruissellement et érosion en zone montagneuse en Tunisie centrale. Résultats 1975-1978.

Joffre R. 1987. Notice des cartes de la végétation du bassin versant de l'oued el hissiane. Centre ORSTOM -Tunis, multigr. 16p. Tunis

Keith R. et Cooley R. 1980 Erosivity values for individual design storms. J. of Irr. and Dra., vol. 106, (Juin), pp. 135-145

Roche M. 1963 hydrologie de surface. Ed. Gauthier, Villars, multigr., n 424p. Paris

Rosenbrock H.H. 1960. An automatic method of finding the greatest of least value of function. Computer J., Vol. 3, pp. 175-184.

Rampon A. 1987. Sédimentation et barrages. Erosion et transport. Les dépôts dans les barrages. Division mécanique des sols et génie civil. CEMAGREF, antony. mémoire n°18, 210p.

Wischmeir W.H. et Smith D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. Guide to conservation planning U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook n° 537, 58p.

**EFFETS DE QUELQUES SYSTEMES DE CULTURE
SUR L' EROSION HYDRIQUE, LE RUISSELLEMENT ET LA FERTILITE DU SOL
DANS LE SEMI-ARIDE TUNISIEN**

M. KAABIA

INRAT - Laboratoire d'Agronomie
Rue Hédi Karray, 2049-Ariana, TUNIS.

RESUME

Un grand nombre de régions agricoles du nord ouest de la Tunisie sont gravement confrontées à tous les aspects de l'érosion hydrique. Ce travail vise à étudier son effet sur les terres agricoles en pente. L'expérimentation a porté sur différentes cultures en assolements biennaux sur une exploitation agricole. Des dispositifs métalliques de collecte de sédiments érodés et de ruissellement ont été implantés à l'amont et à l'aval des parcelles. La comparaison des différentes cultures a permis de dégager des quantités de terre érodée et d'eau ruisselée très élevées sur la jachère traditionnelle avec une différence significative au seuil de 5% par rapport aux autres types de cultures. Par contre, la jachère en courbes de niveau et le médicago ont enregistré un faible taux d'érosion hydrique. Les assolements blé-médicago et blé-jachère en courbes de niveau ont présenté les quantités les plus faibles de transport solide et de ruissellement en comparaison avec les autres assolements préconisés. La perte de taux de matière organique, d'éléments minéraux (N, P, K) et d'argile par l'érosion hydrique est considérable dans les terres cultivées en pente.

Un système de culture approprié sur les terres en pente est nécessaire afin d'assurer une meilleure viabilité de l'exploitation agricole.

Mots clés : Erosion, Ruissellement, Fertilité du sol, Systèmes de culture, Semi-aride.

ABSTRACT

Effects of Water Erosion on Agricultural Lands

A good few of agricultural lands of the north western region of Tunisia are seriously affected by all aspects of water erosion.

The objective of this work is to study the effect of water erosion in agricultural lands on slope. The experiment has been conducted for different crops with a two year rotation on a

farm land and a sheet metallic design has been installed at the upper and lower parts of the plots in order to measure soil loss and runoff.

The comparison between the different crops allowed to show up a big amount of eroded soil and runoff on the traditional fallow with a significant difference at 5% in comparison with the remaining crops. In contrast, the fallow on contour lines and the medicago have registered a low rate of water erosion. Crop rotations of wheat-medicago and wheat-fallow plowed on contour lines have had the lowest rates of soil loss and runoff as compared with the other rotations considered. Finally, the loss of organic matter, mineral nutrients (N, P, K) and clay caused by water erosion is considerable in agricultural lands on slope. It seems necessary to apply an appropriate farming system in lands on slope so as to guarantee a better viability of the farm exploitation.

Key words : Erosion, Runoff, Soil fertility, Cultural systems, Semi-arid.

1. Introduction

L'érosion est l'un des problèmes majeurs dans les terres agricoles en pente du nord ouest de la Tunisie. Ces régions, appartenant tout aussi bien à la frange du semi-aride, sont à vocation agricole basée essentiellement sur la céréaliculture et l'élevage ovin, ces derniers constituent une source vitale pour les revenus des agriculteurs.

Un grand nombre de ces régions agricoles sont gravement confrontées à tous les aspects de l'érosion hydrique causant ainsi un transport solide important (Min. de l'Agri. , 1991). Ceci est dû à la présence d'un relief accidenté, à l'agressivité des pluies et à une surexploitation des réserves végétales naturelles par l'homme et l'animal par suite de l'inadaptation des techniques culturales aux conditions écologiques locales.

En outre, les terres agricoles en pente non protégées par des techniques anti-érosives adéquates et des assolements appropriés engendrent une perte importante de sédiments et un taux de ruissellement élevé. Ces techniques de conservation engendrent essentiellement en une réduction de l'effet de l'érosion hydrique et par conséquent en une augmentation de l'infiltration et du stock d'eau dans le sol (Power et al., 1981).

Des analyses statistiques réalisés aux Etats Unis ont pu dégager les rapports pouvant exister entre les pertes en terre d'une parcelle et les différents facteurs qui interviennent, conformément à la formule ci-dessous et qui donne une estimation de la perte en terre (Wishmeir et Smith, 1978).

$$A = R (K.L.S.C.P.)$$

A = Perte en terre exprimée en tonnes/unité de surface / an.

R = Indice de pluie.

K = Coefficient d'érodibilité du sol.

LS= Longueur et degré de pente.

C = Type de culture pratiqué.

P = Technique anti-érosive mise en oeuvre.

Parmi ces facteurs qui interviennent directement dans le processus de perte en sol, (C) et (P) constituent les principaux facteurs sur lesquels l'homme peut agir afin d'améliorer le couvert végétal par des assolements adéquats et par l'adoption de techniques anti-érosives appropriées. L'objectif de cet article est de comparer les effets des systèmes de culture pratiqués et par conséquent d'étudier l'influence des facteurs C et P sur l'érosion hydrique.

2. Matériels et méthodes

Une exploitation située dans la région de Goubellat a été choisie comme site de l'expérimentation. Le travail de recherche s'est déroulé durant les campagnes 87-88; 88-89 et 89-90. Le site présente des terres moyennement dégradées avec une pente de 11% et une pluviométrie très variable avec une moyenne annuelle de 445 mm calculée sur 50 années (Khaldi et al.(1986). La texture du sol est équilibrée (32,5% argile; 20% limon; 47,5% sable).

L'expérimentation a porté sur une étude comparative du transport solide et du ruissellement sur différentes cultures en assolements biennaux. Les parcelles de l'exploitation, ayant servi comme dispositif expérimental, présentent une superficie de 1ha environ réparti sur des parcelles agronomiques de 100 m x 18 m (Figure1). Deux répétitions durant trois années d'expérimentation ont été réalisées sur le dispositif expérimental.

Les traitements sont les suivants:

- * blé dur - jachère traditionnelle (B - Jt)
- * blé dur - médicago annuel (B - M)
- * blé dur - jachère en courbes de niveau (B - Jcn)
- * orge à double fin - jachère traditionnelle (O - Jt)
- * orge à double fin - médicago annuel (O - M)
- * orge à double fin - jachère en courbes de niveau (O - Jcn)

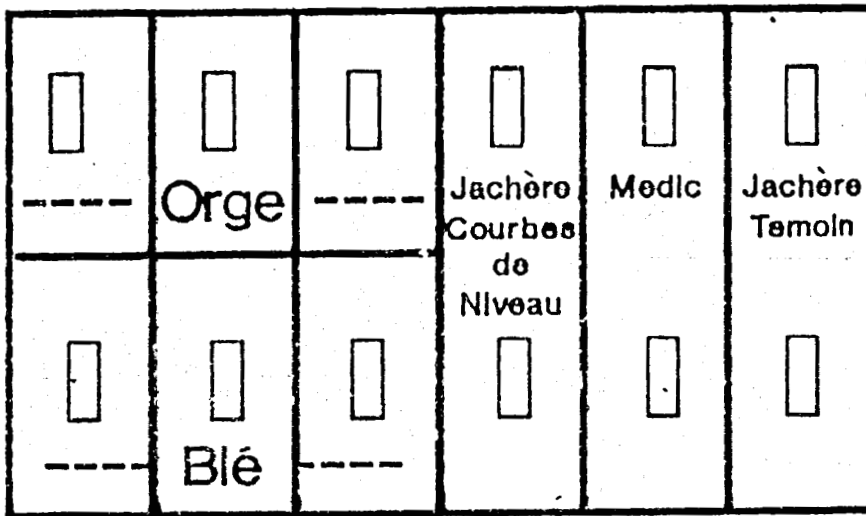
Jt : Jachère traditionnelle labourée au printemps sans tenir compte de la pente.

Jcn : Jachère en courbes de niveau labourée au printemps selon les courbes de niveau.

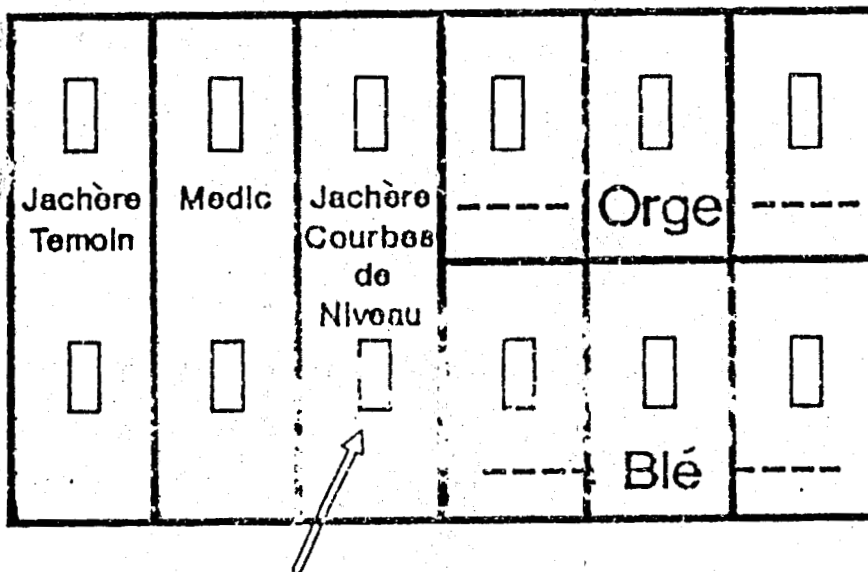
Durant la 1ère année, la moitié de la superficie a été réservée aux alternatives de la jachère, l'autre moitié a été réservée aux céréales (50% blé dur et 50% orge à double fin). Durant la 2ème année, les parcelles en jachères et médicago ont été semées en céréales.

Figure 1. Dispositif expérimental

1ère année



2ème année



Dispositif métallique

Des dispositifs métalliques de 4m x 1m qui ont servi pour la collecte des sédiments érodés et du ruissellement. Ce dispositif est facilement démontable et transportable quel que soit l'endroit. Il est composé de tôles enfoncées dans le sol laissant apparaître 10 cm environ à

la surface afin d'éviter toute pénétration d'eau et de sédiments à l'intérieur de la parcelle. A l'aval de la parcelle expérimentale une conduite de collecte a été conçue pour rassembler l'eau ruisselée ainsi que les sédiments érodés. Le bord supérieur de la plaque inférieure de la conduite de collecte a été rabattue vers le sol pour éviter toute perte d'eau et de sédiments. Ces dispositifs ont été implantés à l'amont et à l'aval des parcelles, ces dispositifs ont déjà été à la base d'une expérimentation réalisée à Sidi Rebah (Kaabia, 1987).

L'installation des dispositifs a été réalisée de telle sorte que leur emplacement reste inchangé quel que soit la culture considérée. Ceci permettra en outre d'avoir des mesures à l'amont et à l'aval, ces mesures s'avèrent nécessaires pour les terres en pente. Les quantités de terre collectée seront séchées et pesées; le ruissellement sera mesuré à l'aide d'une éprouvette graduée après chaque pluie.

Les méthodes utilisées pour l'analyse granulométrique et chimique de terre érodée ont été réalisées à l'E.S.A du Kef et sont les suivantes :

- La granulométrie par la méthode densimétrique (Bouyoucos).
- L'azote total par la méthode kjeldahl.
- Le phosphore assimilable par la méthode d'Olsen.
- Le potassium échangeable au photomètre à flamme.

Les pratiques culturales réalisées sur les différentes cultures étudiées figurent sur le tableau 1

Tableau 1. Techniques culturales adoptées

| Type de sole | Variété | Date de semis | Densité de semis (kg/ha) | Superph.45% (kg/ha) | Ammonitre33% (kg/ha) | Mode de labour |
|--------------------------|-----------------------------|---------------|--------------------------|---------------------|----------------------|----------------|
| Blé dur | Karim | Nov. | 120 | 100 | * | RL |
| Orge à double fin | Tej | Oct. | 100 | 100 | 150** | RL |
| Médicago annuel | 50%Harbinger 50% Paragio | Oct. | 30 | 100 | - | LCN |
| Jachère tradit. (Témoin) | - | - | - | - | - | LSP |
| Jachère travaillée en CN | - | - | - | - | - | LCN |

* Quantités variables allant de 100 à 150 kg/ha selon la pluviométrie et appliquées en début et fin de tallage.

** 2 applications (début tallage et après pâturage).

CN = courbes de niveau.

LSP = labour de printemps dans le sens de la pente.

LCN= labour en courbes de niveau.

RL = reprise de labour (recroisement).

Les différents couverts végétaux ont été comparés entre eux quant au ruissellement et à leur effet sur les pertes en terre provoquées par l'érosion hydrique.

Les données pluviométriques ont été enregistrées à l'aide d'un pluviomètre installé sur le site expérimental (tableau 2).

Tableau 2. Pluviométrie des 3 campagnes

| Campagne agricole | Pluviométrie annuelle (mm) | Pluviométrie Déc.-Mai (mm) |
|-------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1987-88 | 291,4 | 149,8 |
| 1988-89 | 271,6 | 128,6 |
| 1989-90 | 360,4 | 206,1 |

Les mesures de l'érosion ont été effectuées pour la période allant de décembre à mai, depuis l'installation du dispositif jusqu'à son enlèvement (du semis à la moisson).

3. Résultats et discussion

3.1. Les pluviométries de décembre à mai figurant sur le tableau 2 sont relatives à plusieurs pluies car toutes les pluies ne provoquent pas nécessairement de ruissellement ni d'érosion. En outre, le déclenchement de l'érosion hydrique dépend de la nature du sol, de son humidité, de l'intensité de la pluie et de la densité du couvert végétal. A titre d'exemple, durant la campagne 1988-1989 où il a été noté 128,6 mm de pluie de décembre à mai, il y a eu seulement 2 événements de ruissellement et d'érosion.

Les pertes en terre sous différentes occupations du sol ont été évaluées durant les campagnes agricoles 87-88 à 89-90 (Figure 2).

3.2. L'analyse statistique a été réalisée selon le modèle linéaire et la méthode des moindres carrés des pertes en terre et de ruissellement enregistrées sous différentes cultures ont été considérées. Il a été noté une différence significative au seuil de 5% entre la jachère traditionnelle et le reste des couverts végétaux étudiés. Ceci confirme le taux d'érosion élevé que présente la jachère traditionnelle.

Figure 2. Quantité des pertes en terre sous différentes cultures

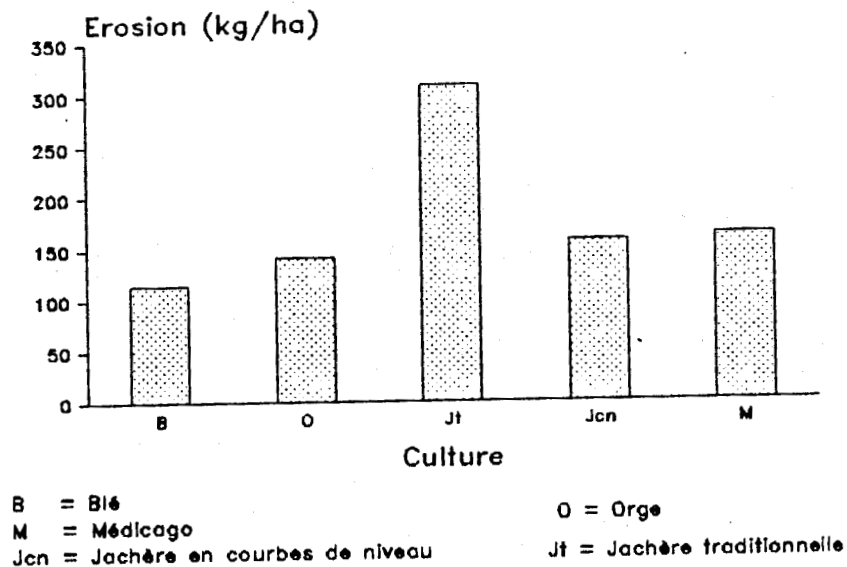
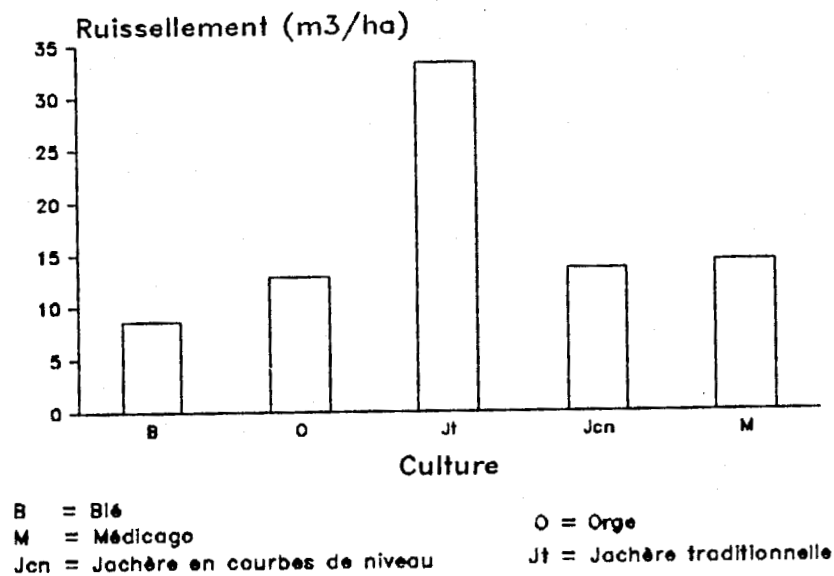


Figure 3. Ruissellement sous différentes cultures



Dans la région étudiée, les agriculteurs continuent à maintenir la jachère essentiellement pour des raisons économiques. En effet, la jachère est utilisée comme parcours pour les animaux ou louée comme parcours à d'autres éleveurs de la région "Achaba". D'autre part, l'élevage a toujours occupé une place de choix dans l'économie de l'exploitation où il a été noté que 30% de la superficie agricole utile est réservée à la jachère et que 80% des agriculteurs pratiquent l'élevage ovin (Khaldi, et al, 1990).

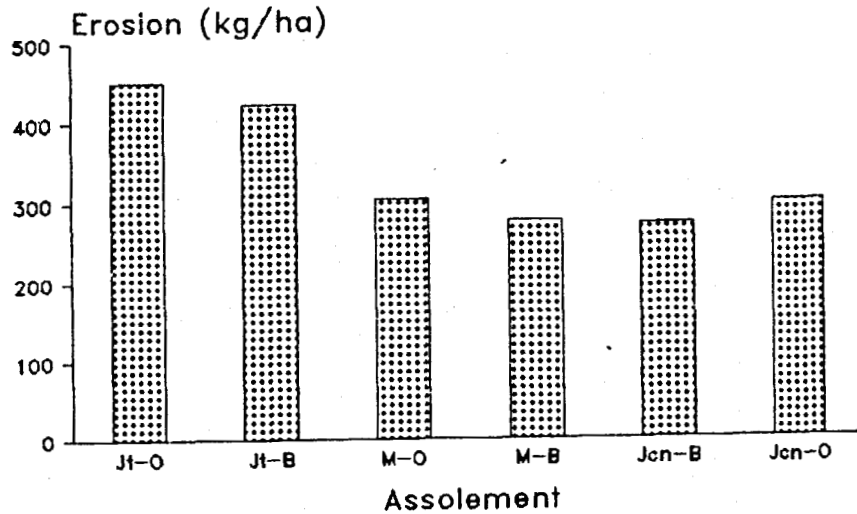
3.3. La figure 2 montre que l'orge à double fin présente un taux d'érosion plus élevé que le blé quoique les résultats obtenus sur l'orge (Martin) à Sidi Rebah (Région du Kef) présentent un taux d'érosion inférieur de 26% à celui du blé (Kaabia, 1987). En effet, l'orge possède un pouvoir de tallage important et une meilleure tolérance à la sécheresse et est considérée comme une culture non érosive par rapport au blé. Les résultats obtenus ci-dessus s'expliquent par le fait que l'orge à double vocation (Tej) est pâturé au printemps par les animaux, ceci engendre une réduction du couvert végétal d'une part et un remaniement de la couche superficielle du sol provoquée par le piétinement des animaux d'autre part. Le sol tassé devient ainsi plus vulnérable à l'érosion hydrique.

3.4. D'après la figure 2, la jachère en courbes de niveau présente un taux d'érosion nettement inférieur à celui de la jachère traditionnelle étant donné que le labour a été pratiqué perpendiculairement à la pente, ce qui permet une réduction du ruissellement et du transport solide. Ceci assure une meilleure infiltration et par conséquent une meilleure couverture du sol par la végétation spontanée.

3.5. Le médicago, considéré pourtant comme une culture couvrante et conservatrice, ne semble pas montrer un développement important selon la figure 2. En effet, les pertes en terre enregistrées pour le médicago sont supérieures à celles du blé et pratiquement comparables à celles de l'orge et de la jachère en courbes de niveau. Ceci peut s'expliquer par le fait que les variétés de médicago utilisées ne semblent pas être adaptées aux conditions pluviométriques des 3 campagnes considérées. L'amélioration génétique des écotypes locaux pourrait donner des variétés mieux adaptées en assurant un meilleur couvert végétal.

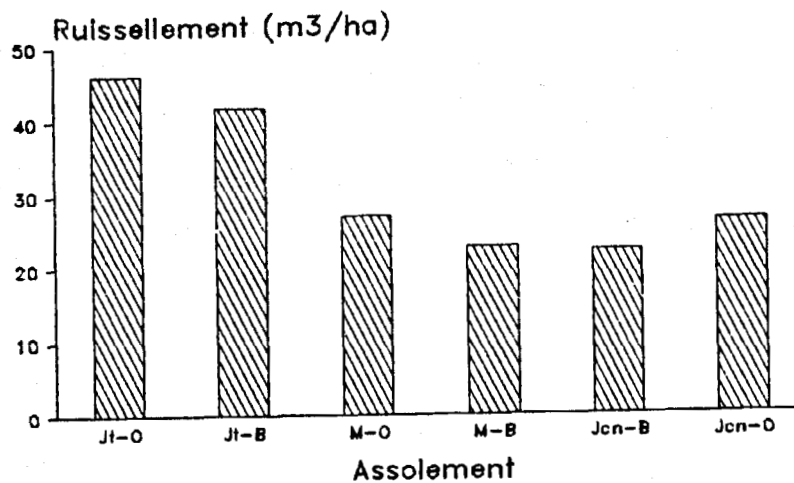
Le taux de ruissellement montre une différence significative ($p < 0.05$) entre la jachère traditionnelle et les autres couverts végétaux. D'autre part, le médicago, l'orge et la jachère en courbes de niveau présentent des taux de ruissellement comparables. Enfin le blé a enregistré le taux de ruissellement le plus faible (Figure 3). En comparant les figures 2 et 3, nous pouvons affirmer qu'il y a une proportionnalité entre le coefficient de ruissellement et les quantités de perte en terre. Dans les zones étudiées, le système de production des exploitations associe étroitement les cultures à l'élevage; les céréales constituent la culture dominante et sont cultivées la plupart du temps dans un assolement défini selon les besoins de l'exploitant. Ceci a permis de dégager d'une part les moyennes des pertes en terre et le ruissellement dans les différents types d'assolements durant les 3 années de l'expérimentation

Figure 4. Quantité des pertes en terre sous différents assolements biennaux



B = Blé
 M = Médicago
 Jcn = Jachère en courbes de niveau
 O = orge
 Jt = jachère traditionnelle

Figure 5. Ruissellement sous différents assolements biennaux



B = Blé
 M = Médicago
 Jcn = Jachère en courbes de niveau
 O = Orge
 Jt = Jachère traditionnelle

et d'autre part les assolements qui préservent mieux les ressources naturelles sur les terres agricoles en pente (Fig. 4 et 5). Ces figures montrent que les assolements céréales-jachère traditionnelle présentent les quantités de perte en terre et de ruissellement les plus élevées par rapport aux assolements céréales-médic et céréales-jachère en courbes de niveau. A titre d'exemple, les assolements jachère en courbes de niveau-blé et medic-blé présentent un transport solide nettement plus faible que l'assolement "jachère traditionnelle-orge" avec 63% et 53% respectivement.

L'analyse de la matière organique et des éléments minéraux du sol a été réalisée sur 12 échantillons de terre érodée collectés à l'aide du dispositif métallique. A l'intérieur de ce dernier, 12 échantillons de terre de la parcelle ont été prélevés à une profondeur de 20 cm à l'aide d'une tarière. Les moyennes ont été calculées et les résultats figurent sur le tableau 3.

Tableau 3. Analyse comparative de la matière organique et des éléments minéraux du sol de la parcelle et de la terre érodée.

| | Matière Organique % | Azote Minéral (NH ₄ ⁺ et NO ₃ ⁻) PPm | Phosphore Assimilable PPm | Potassium meq/100g |
|------------------------|---------------------------|---|---------------------------------|-----------------------|
| Terre de la parcelle | 1,50 | 13,891 | 0,506 | 15,148 |
| Terre érodée collectée | 9,60 | 65,954 | 0,785 | 40,480 |

D'après ce tableau, le taux de matière organique analysée est passé de 1,5% sur la terre de la parcelle à 9,6% sur la terre érodée. La terre transportée par l'érosion est devenue ainsi 6 fois plus riche en matière organique que le sol de la parcelle. La matière organique est la matière la plus légère et par conséquent la première à être transportée en grandes quantités par le ruissellement. D'après le tableau, l'azote minéral, le phosphore assimilable et le potassium sont également perdus en grandes quantités. L'érosion hydrique peut dénaturer le sol en décapant l'horizon le plus fertile et en transportant les éléments minéraux (N, P, K) et la matière organique nécessaires au développement de la plante et dont l'un des rôles est de stocker l'eau dans le sol. Il en découle que les quantités d'éléments minéraux et de matière organique perdues sont plus importantes sur la jachère traditionnelle ainsi que sur l'assolement orge-jachère traditionnelle.

Les analyses granulométriques ont été effectuées sur la terre érodée et sur le sol de la parcelle; les résultats se résument dans le tableau 4.

Tableau 4. Analyse comparative de granulométrie

| Granulométrie | Argile % | Limon % | Sable % |
|------------------------|----------|---------|---------|
| Terre de la parcelle | 32,5 | 20,0 | 47,5 |
| Terre érodée collectée | 48,0 | 15,0 | 37,0 |

L'argile étant l'élément le plus fin, il est transporté en grandes quantités. En effet, le taux d'argile est passé de 32,5% à 48,5% sur la terre érodée. Par contre, le limon et le sable sont entraînés en quantités moindres. Ceci montre l'effet sélectif de l'érosion hydrique.

4. CONCLUSION

De fortes quantités de sédiments érodés et d'eau ruisselée ont été observées sur les parcelles de la jachère traditionnelle et ceci en comparaison avec les autres cultures étudiées (jachère en courbes de niveau, médicago, blé et orge à double fin). D'autre part, il a été observé un transport de terre plus important sur la culture de l'orge à double fin pâturée que sur celle du blé. Le médicago s'est comporté comme une jachère en courbes de niveau.

Par ailleurs, les parcelles d'assolements blé-médicago et blé-jachère en courbes de niveau ont enregistré les plus faibles taux d'érosion et de ruissellement par rapport aux autres assolements considérés (orge-jachères, orge-médicago et blé-jachère traditionnelle). Enfin, le taux de matière organique et d'éléments minéraux (N, P et K) perdus par l'érosion hydrique sous les différentes alternatives de la jachère et des céréales ont été très élevées. L'argile étant un constituant important pour la texture du sol est transportée en quantités importantes.

Vu ces résultats, il s'avère indispensable de procéder à un travail du sol en courbes de niveau sur les terres agricoles en pente afin d'assurer une gestion rationnelle de la jachère et d'obtenir une meilleure conservation de l'eau et des éléments fertilisants du sol mais aussi de pratiquer l'assolement blé-médicago annuel qui est le biennal le moins érosif dans ces régions et ceci dans le but de garantir la viabilité de l'exploitation agricole.

Références bibliographiques

- KAABIA M., 1987. Evaluation comparative de l'effet de l'érosion hydrique sur quelques couverts végétaux dans la région du Kef (Sidi Rabah). Atelier sur les systèmes de production dans le semi aride du nord ouest de la Tunisie. Tunis: 1-2 juillet 1987.
- KHALDI R., KHALDI G., STILWELL T. et DAHMANE A.,

1986. Etude des systèmes de production dans une zone du semi aride tunisien (Goubellat) 1983-1985. Annales de l'INRAT, Vol. 59, Fasc. 2, 122 p.
- KHALDI R. et al., 1990. Projet de recherche sur les systèmes de production: Goubellat, Tunisie. Rapport 1983-1989.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE, 1991. Rapport du comité de la protection du milieu agricole, VIIIe Plan. 51 p.
- POWER J.F. SANDOVAL, F.M., RIES, R.E. and MERRILL S.D., 1981. Effects of topsoil and subsoil thickness on soil water content and crop production on a disturbed soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 45: 124-129.
- WISCHMEIER W.H., SMITH D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses: Guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook n°537, 58 p.

DYNAMIQUE EROSIVE ACTUELLE ET ACTIONS HUMAINES

DANS LE PRERIF (MAROC)

par J-M. AVENARD. Université Louis-Pasteur de Strasbourg

Résumé.

Les facteurs intervenant dans l'explication de l'évolution des versants du Prérif sont variés et tous très actifs, même lorsqu'ils sont pris séparément: une prédominance de roches tendres vis à vis de l'érosion (marnes, argiles), un climat agressif avec des périodes de pluies intenses et brutales, à fort pouvoir érosif, mais aussi des périodes de sécheresse préparant le matériel, des formations superficielles héritées en équilibre précaire avec les conditions actuelles, une pression humaine très ancienne, mais qui s'accroît avec la mécanisation...

L'interaction entre ces différentes variables ne peut donc qu'engendrer des processus dont les actions iront dans le même sens, c'est à dire une instabilité générale du milieu, même si la diversité des combinaisons entraîne une dynamique parfois très contrastée (les extrêmes allant des bad-lands à la coulée boueuse ou au glissement de terrain). Un élément est ici déterminant, parce qu'il conditionne le potentiel morphogénique et oriente ainsi cette dynamique: l'exposition des versants. Ceux d'orientation nord et ses variantes, plus à l'ombre, gardent plus d'humidité et connaissent un système érosif plus tourné vers la solifluxion, alors que ceux exposés au sud et ses variantes, plus chauds et plus secs, favorisent le ruissellement.

Pour ne pas avoir suffisamment pris en compte ces particularités du milieu, les interventions de lutte anti-érosives n'ont souvent eu qu'une efficacité limitée. La stratégie à adopter est un aménagement différencié, tenant compte des processus.

Mots-clés : Prérif - Evolution des versants - marnes - processus érosifs - Lutte anti-érosive - aménagement différencié.

DYNAMIQUE EROSIVE ACTUELLE ET ACTIONS HUMAINES

DANS LE PRERIF (MAROC).

Jean-Michel AVENARD, Professeur,
CEREG/UFR de Géographie-Université Louis Pasteur Strasbourg

Le Prérif est formé par un ensemble de collines peu élevées, marneuses, dont l'altitude encore basse à l'Ouest (300-400 m) atteint environ 1000 m au nord de Taza. L'ensemble forme un relief moyennement accidenté qui s'élargit à l'Ouest sur la plaine du Rharb alors qu'il se rétrécit vers l'Est jusqu'à la trouée de Taza. Seuls quelques pointements plus importants dominent ces collines et correspondent à des rides ou à des sofs calcaires (petit massif émergeant d'une masse de terrain plus tendre). Tel est particulièrement le cas avec les rides des jbelts Tselfate, Zerhoun ou Zalarh qui surplombent le couloir sud-rifain.

La lithologie à dominante de roches tendres, imperméables est cependant complexe dans le détail. Aux marnes et argiles s'associent des formations gypseuses et salifères. La structure est influencée par les plissements rifains. Les précipitations qui varient entre 400 et 900 mm sont d'autant plus importantes qu'elles tombent sur une période relativement courte, tandis qu'une saison sèche fendille le sol, et le durcit, préparant l'érosion lorsqu'arrivent les premières pluies. La mise en valeur, basée sur la céréaliculture et l'élevage a pratiquement détruit toute la couverture forestière: l'arboriculture n'existe que sur les rides. La densité de population est relativement forte et explique cette occupation intensive du sol, qui est encore plus sollicitée avec l'apparition de la mécanisation.

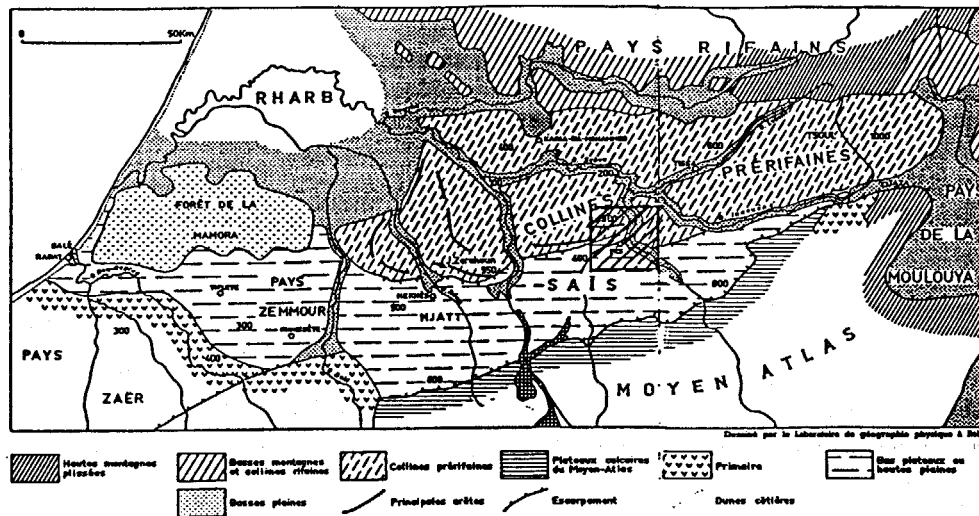
L'interaction entre ces différents paramètres ne peut donc qu'engendrer des processus dont les actions iront dans le même sens, c'est à dire une instabilité générale du milieu, même si la diversité des combinaisons entraîne une dynamique parfois très contrastée qui se manifeste jusque dans le détail, sur les flancs opposés d'un même vallon. C'est qu'en effet un élément oriente cette dynamique: l'exposition des versants. Ceux d'orientation nord et ses variantes, plus à l'ombre, gardent plus d'humidité et connaissent un système érosif plus tourné vers la solifluxion, ceux exposés au sud et variantes, plus chauds et plus secs, favorisent le ruissellement. Pour ne pas avoir suffisamment pris en compte ces particularités du milieu, les interventions de lutte anti-érosive n'ont souvent eu qu'une efficacité limitée.

I - Les facteurs physiques de la dynamique.

Nous ne reprendrons ici que quelques caractéristiques du milieu susceptibles de déterminer le déclenchement et d'orienter la dynamique érosive actuelle.

1 - La lithologie et les formations superficielles.

Dans le secteur d'étude, les roches meubles occupent environ 60 % de la superficie, avec une large prédominance de marnes et marno-calcaires qui appartiennent à deux grandes périodes géologi-



Fond de carte: "Géographie du Maroc", Hatier Ed., 1964, p.95.

Région étudiée :

ques:

- les marnes bleues, miocènes (Tortonien), d'apparence compacte, se comportent cependant comme une formation très tendre, facilement attaquée par l'érosion. Elles se fendillent lors des fortes chaleurs estivales, et les premières pluies s'infiltrent dans ces fentes et les imbibent en les transformant en "savon".

- les marnes blanches, marno-calcaires et marno-grès, éocène ou oligocène, se comportent généralement de façon différente, car plus compactes, elles sont par là-même plus imperméables et favorisent le ruissellement. Par contre lorsque des conditions locales d'infiltration sont possibles, la solifluxion agit à son tour mais avec une ampleur plus grande que dans les marnes bleues (griffures, boursoufflures).

Les marnes armées et les flyschs sont une unité lithologique qui fait alterner des couches tendres et d'autres plus résistantes. Ainsi forment-elles une transition de dureté entre les séries donnant une armature plus ou moins importante au relief. Cette disposition ne reste pas sans valeur géomorphologique car elle contribue à expliquer certains mouvements de masse (foirages...)

Le reste de la région est constitué par des faciès plus résistants, d'extension limitée, mais qui prennent de l'importance car ils occupent les positions altitudinales et dominent les collines marneuses. La dureté de ces roches explique la déclivité accentuée des versants de ces massifs, ce qui rend difficile le maintien des dépôts superficiels. Cette mise à découvert des roches facilite la désagrégation mécanique.

Une mention particulière doit être faite pour les montées triasiques, éparses, mais nombreuses, constituées principalement par des marnes bariolées renfermant en plus ou moins grande abondance du gypse et du sel gemme. La présence de ces corps solubles favorisent un phénomène particulier, la suffosion que l'on retrouve aussi dans les marnes sableuses, elles aussi riches en sulfates et sels.

Au total, les particularités lithologiques de la région font que les formations superficielles sont généralement peu importantes, sinon peu épaisses, car elles ont été facilement décapées depuis longtemps: les marnes sont très souvent à nu sur les sommets de croupes, mais les bas de pente et les fonds de vallons sont recouverts par un colluvionnement parfois épais, ces conditions étant par

ailleurs propices à la tirsification. Les flancs des rides calcaires possèdent localement un manteau d'altération (dépôts de pente) qui peut être relativement épais, tandis que des éboulis tapissent les secteurs surplombés par des corniches.

En dehors des bas de pente et des fonds de vallons, les sols reposent donc directement sur les marnes et sont de type régo-soliques peu évolués. Ils subissent un intense décapage dans leur partie supérieure (ruissellement en nappe, ravinement...) et montrent des caractéristiques qui facilitent leur instabilité: forte proportion d'éléments fins (60 à 80 % pour la fraction argilo-limoneuse), empêchant l'infiltration après saturation préalable, mais permettant des mouvements de masse superficiels après pénétration dans les fentes de retrait, taux de calcaire élevé dans l'ensemble, qui tend à réduire les limites mécaniques, faible proportion de matière organique, défavorable à leur stabilité structurale.

2 - Le climat.

Les conditions climatiques actuelles sont caractérisées par la violence des contrastes, répétant localement ce qui se produit à l'échelle de la partie nord du Maroc. Ce climat peut être classé dans le "semi-aride", avec par endroits des conditions "sub-humides", tandis que des variations peuvent aussi intervenir dans le temps: si l'on peut admettre en gros une saison sèche, chaude, de juin à septembre, et une saison humide, assez fraîche, d'octobre à mai, le rythme saisonnier est très nuancé selon les secteurs considérés, et à une année sèche peut succéder une année pluvieuse. Le nombre total des jours de pluie est partout faible, de l'ordre de 60 à 70 jours en moyenne.

Deux périodes bien tranchées régissent ainsi la dynamique actuelle:

- En période humide, c'est l'intensité des pluies, concentrées sur un nombre de jours relativement faible (en moyenne une dizaine de jours par mois, sous forme d'averses espacées et d'assez courte durée), qui est le facteur principal avec trois nuances:

= les premières averses d'automne, généralement brutales, arrivent sur un sol rendu imperméable. Il en résulte un fort ruissellement initial tandis que l'eau s'infiltré dans les fissures et prépare des plans de glissement qui agiront par la suite;

= les pluies d'hiver sont relativement plus régulières et humectent le sol de façon plus permanente, facilitant les phénomènes de solifluxion;

= les pluies de printemps à nouveau violentes arrivent sur un sol plus ou moins saturé ce qui bloque l'infiltration et permet au ravinement de se développer.

- En période estivale, c'est au contraire l'influence des fortes températures qui prend le relais: coïncidant avec le minimum pluviométrique (il ne tombe que le 1/10^{ème} du total annuel), les températures dépassent souvent 30, ce qui crée un excès d'évaporation et exerce une forte influence sur le régime hydrique des sols. Ces derniers se dessèchent, se durcissent, et/ou se fendillent, préparant ainsi le matériel. Le phénomène peut être accentué par le "Chergui" vent d'Est qui apporte une vague de chaleur desséchante (en moyenne 4 à 6 jours par mois d'été).

Il faut néanmoins noter le rôle des précipitations épisodiques enregistrées pendant cette période: tombant sous forme d'orages violents, elles peuvent modifier localement les conditions de la dynamique, et elles sont toujours très agressives.

3 - Le site géomorphologique et le rôle de la pente.

Si les formations lithologiques réagissent aux conditions climatiques, elles subissent aussi une autre action qui est due au site géomorphologique: celui-ci commande en effet certains facteurs d'instabilité, comme par exemple l'entaille du pied de versant par un oued. Le sapement remet en cause la pente d'équilibre du versant, et une réadaptation se fera par érosion régressive, ceci d'autant plus facilement que l'on se trouve ici dans des roches tendres. Une reprise d'érosion constatée depuis quelques décennies et à mettre en relation avec la destruction du couvert végétal a entraîné une entaille linéaire, multipliant ces sites de sapement.

On peut appliquer le même raisonnement pour expliquer l'ensemble du modelé et les pentes résultant de l'évolution à la suite des entailles quaternaires, très marquées, sur ce même matériel tendre. Cet héritage va à son tour orienter la dynamique actuelle: l'eau s'infiltré dans les parties sommitales où la pente est encore faible puis, en relation avec l'accroissement de la convexité, s'installe un ruissellement diffus qui se concentre plus ou moins rapidement, et l'on passe à des rigoles puis à des ravins qui entaillent au bas des versants les dépôts superficiels accumulés.

4 - L'orientation des processus en fonction de l'exposition.

La combinaison des différents paramètres que nous venons d'examiner détermine en chaque lieu la nature et l'intensité des processus. Pourtant ce derniers sont largement conditionnés par une autre caractéristique de ce milieu collinaire, à savoir l'orientation des versants: à précipitations égales, l'insolation semble en effet jouer un rôle déterminant sur la façon dont le sol va se ressuyer ou garder l'humidité. Ainsi les observations montrent que les versants d'exposition nord (et variantes nord-est/nord-ouest) ont des pentes relativement moins accentuées, des sols plus épais et une érosion par décapage généralisé, par solifluxion, mouvements de masse par glissements... A l'inverse les expositions sud présentent des pentes plus fortes, des sols très érodés, parfois dépourvus de toute végétation et toutes les formes de ravinement, allant jusqu'aux bad-lands.

L'évolution des versants paraît donc très différente, même si cette tendance générale ne doit pas être ramenée à un schéma réducteur: par exemple si la solifluxion prédomine sur les versants exposés au nord, elle n'exclue pas certains phénomènes de décapage par ruissellement au moins à certaines périodes de l'année.

II - L'intervention humaine.

Il n'est plus à démontrer qu'une couverture végétale fermée, couvrant bien le sol, joue un rôle de protection efficace contre l'érosion de surface (entrave au ruissellement, au creep ou à la reptation...). Or c'est l'inverse qui se produit dans notre région, avec un recouvrement très faible, la dégradation anthropique, suite à une mise en culture, ayant largement transformé le couvert végétal. Les forêts naturelles ont disparu, et les matorrals sont très localisés et très attaqués. Les activités agricoles occupent environ 70 % de la S.A.U. et s'organisent selon un dyptique faisant l'essentiel du paysage rural prérifain: une céréaliculture largement prédominante et une arboriculture à base d'oliviers.

La résultante de cette pression humaine sur le milieu physique déjà à forte instabilité est que l'équilibre précaire est souvent rompu. Le défrichement inconsidéré et la coupe à blanc du bois (usage domestique) sont pratiques courantes, mais les systèmes de culture sont tout aussi néfastes, qu'ils soient traditionnels ou modernes:

- les labours à l'araire ou au tracteur suivent la ligne de plus grande pente, facilitant le décapage généralisé, alors que la concentration du ruissellement dans les sillons sert d'amorce à une entaille linéaire en rills et gullies. B. Heusch a montré par exemple que les pertes en terre sur un sol labouré au tracteur sont de l'ordre de 543 t/km², alors qu'elles ne sont que de 112 t/km² sur un sol labouré à l'araire.

- l'agriculteur appauvrit le sol en matière organique et le fragilise: il installe ses champs sur les versants marneux, parfois sur des pentes très fortes, plus faciles à travailler, mais aussi plus sensibles. En l'absence d'apport d'engrais, souvent faute de moyens, la rotation des cultures, incluant une période de jachère nécessaire au repos du sol et au pacage reste le mode le plus utilisé. Mais le pâturage intensif et le piétinement du bétail n'apportent pas pour autant une période de repos morphogénique: les troupeaux favorisent l'apparition d'une multitude de petits tassements et entraînent une érosion des milieux stables, en même temps qu'ils dégradent la végétation.

- les pistes utilisées comme parcours participent elles aussi à la dégradation.

- la céréaliculture ne commence à couvrir le sol qu'à partir du mois de janvier, soit avec un retard de plusieurs mois par rapport à l'année hydrologique débutant à l'automne avec les premières pluies très agressives, car tombant sur un sol à nu.

- l'homme n'a pas toujours été un agent déstabilisateur et destructeur. Il ne faut pas oublier son attachement à la terre et sa lutte contre l'érosion par la construction de murettes de pierre, de haies, d'ouvrages anti-érosifs même sommaires... Pourtant plusieurs éléments font que ces pratiques sont sinon abandonnées, du moins fortement ralenties:

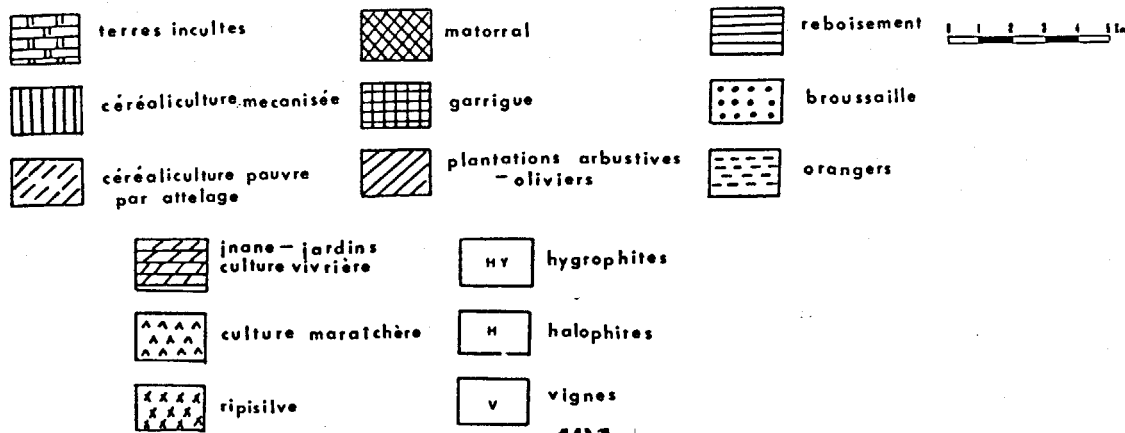
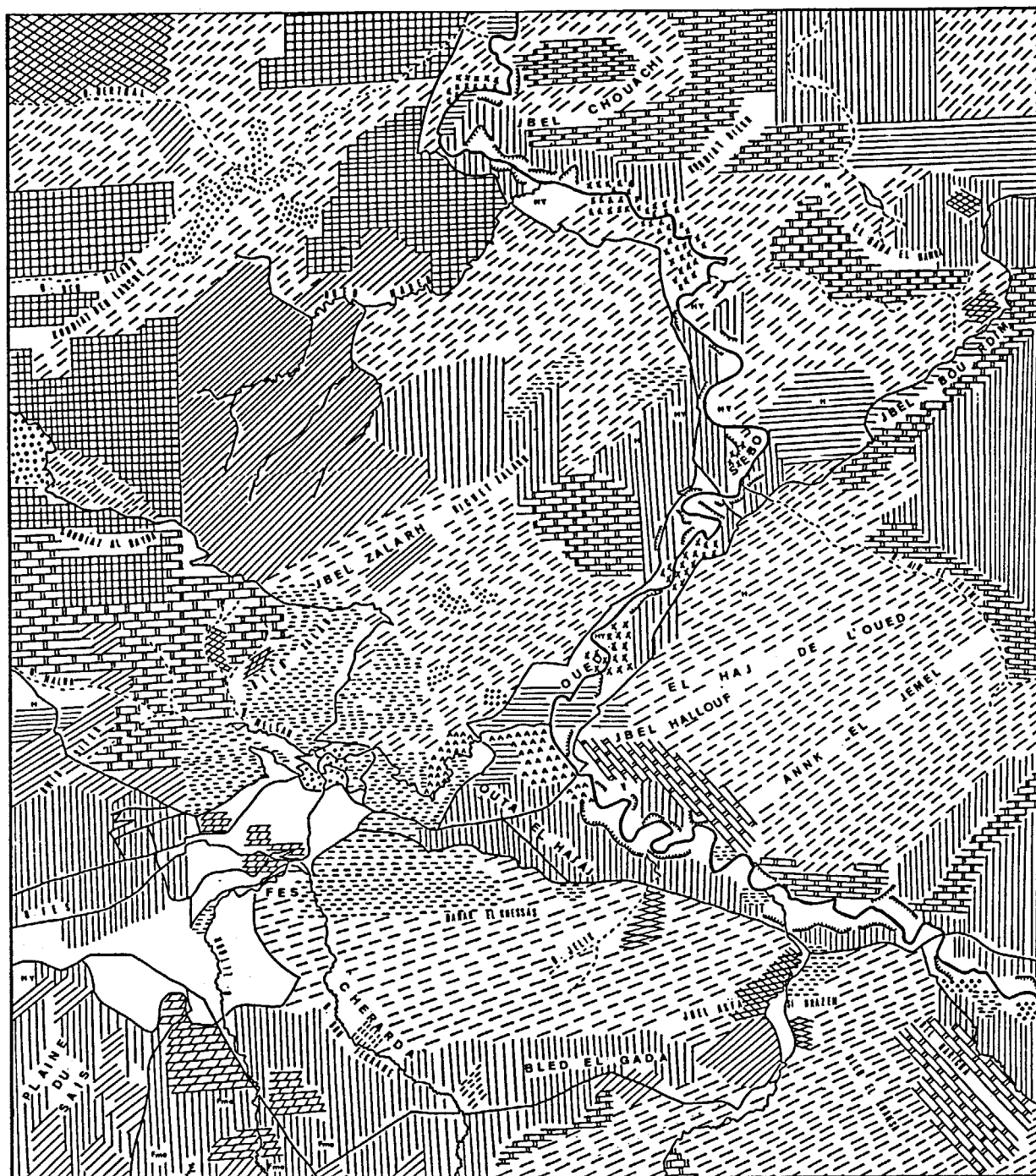
= la baisse des rendements, suite à l'appauvrissement du sol, et le désir d'augmenter le revenu agricole obligent à cultiver en oubliant les règles élémentaires de protection, et sur des surfaces fragiles (pentes fortes par exemple);

= l'exploitation directe - la terre appartenant à la population à titre privatif - était la règle générale. Mais par suite de l'éclatement socio-économique, les propriétaires ont actuellement des surfaces n'excédant que rarement cinq hectares, souvent non contigues, situation qui résulte du dépiéçement micro parcellaire par la pratique des héritages fonciers. Le temps de déplacement est pris au détriment de celui des actions anti-érosives...

= ce même éclatement fait que le fermage prend de plus en plus d'importance. Les terres sont louées aux fellahs; le plus souvent il s'agit d'un simple accord entre le propriétaire habitant Fès, le fellah exploitant et bénéficiant des récoltes. Dans ce cas, la protection du patrimoine sol n'est pas sa première priorité...

Si enfin l'on considère l'extension spatiale, schématisée par l'occupation du sol et que l'on compare cette carte avec celle de la dynamique, il est possible de constater que les secteurs entièrement dénudés, occupés par les cultures annuelles sont potentiellement très vulnérables.

OCCUPATION DU SOL



III - Les conséquences sur l'aménagement.

La répartition spatiale des processus provoqués par la combinaison des facteurs précédents, et représentés sur la "carte de la dynamique", permet de définir un degré de stabilité des milieux que nous avons esquissé dans une carte de "l'instabilité des versants". Son intérêt est de montrer à l'aménageur que pratiquement toute la zone est fragile ou susceptible de le devenir et que la mise en valeur ne peut se faire sans précautions. Mais cette vue globale doit rapidement être complétée par une sectorisation plus fine: on ne pourra lutter contre les processus que si l'on intervient sur les paramètres qui les engendrent, par exemple soit en cherchant à drainer, ou au contraire à faire infiltrer l'eau, les deux techniques devant parfois être appliquées sur les versants opposés d'un même vallon.

Or, force est de constater qu'en de nombreux endroits les interventions paysannes ou gouvernementales n'ont pas suffisamment pris en compte les particularités de cette dynamique, en luttant en ordre dispersé, au coup par coup et sans études préalables réellement approfondies.

1 - Les interventions effectuées.

Le paysan n'est pas indifférent à la dégradation du milieu naturel. Mais il se trouve confronté à deux impératifs: le désir d'augmenter son revenu agricole, et le manque de moyens pour investir à long terme dans des travaux de restauration. Ses interventions restent ainsi limitées, et se bornent à la plantation de figuiers de barbarie en bordure des champs de culture pour amortir l'action du ruissellement, à la pose de cordons et de rangées de matériaux grossiers dans le lit des oueds, pour diminuer l'action des crues, ou encore au nivellement et comblement des rigoles et petits ravins sur son champ. Bien que basés sur une connaissance empirique des phénomènes, ces travaux sont certes efficaces mais restent insuffisants.

Sur le plan des institutions intéressées par la lutte anti-érosive, le Ministère de l'Agriculture a fait entreprendre d'importants travaux par les services des Eaux et Forêts et d'Hydrologie des Eaux, tandis que le Ministère de l'Intérieur représenté par le service de l'Équipement Rural et le service de la Conservation des sols rattaché à la Direction des Travaux Publics s'est plus tourné vers les problèmes liés à l'installation et l'entretien de nombreux ouvrages: ponts, chaussées, voies ferrées... Les plans de développement des deux administrations reconnaissent explicitement la nécessité de traiter les zones érodées, afin de retenir les sols et les eaux. Dans le secteur étudié, l'aménagement se concrétise par la création d'un réseau de banquettes souvent accompagnées de reboisements soit par des essences forestières, soit par des essences fruitières, ainsi que par des travaux de correction des ravins; la lutte mécanique est généralement associée à une lutte biologique, par phytostabilisation.

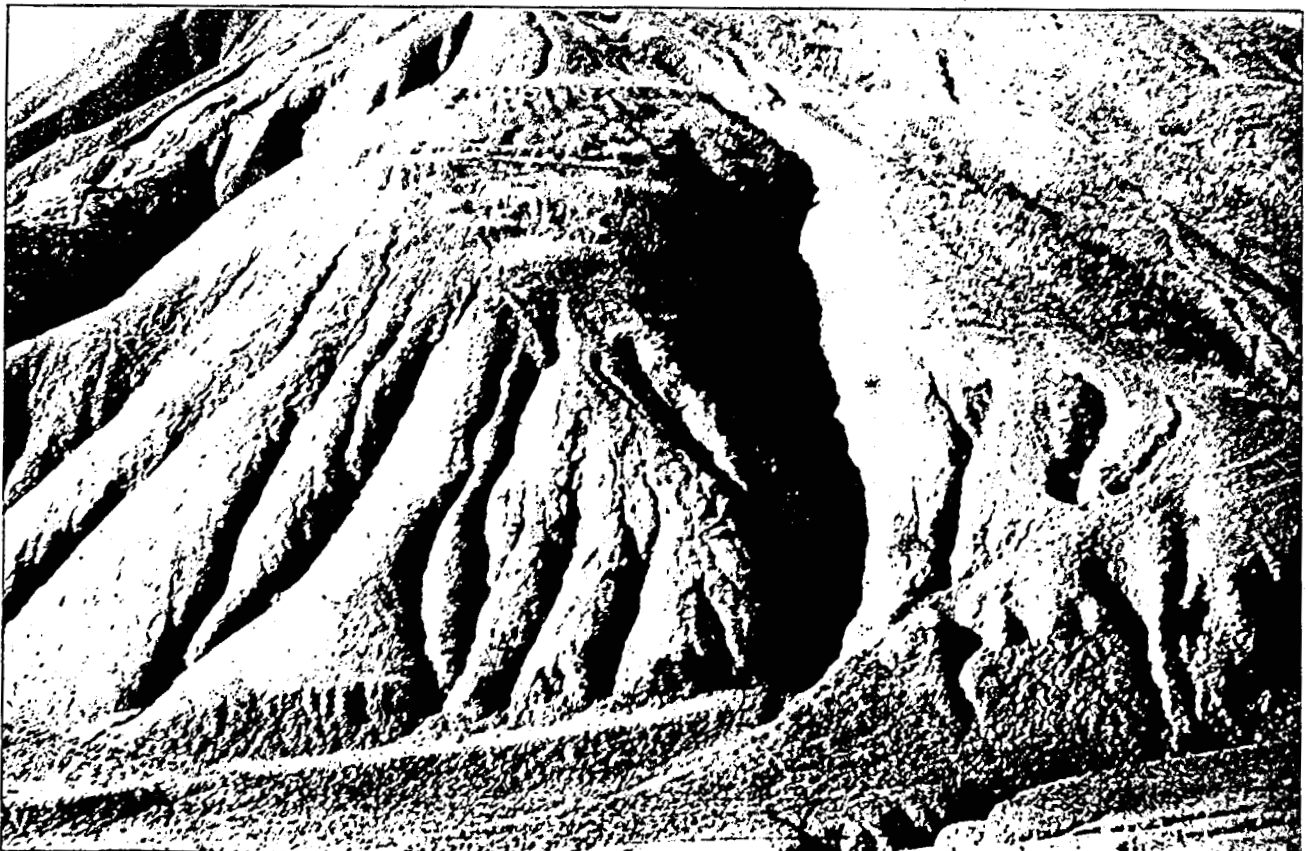
2 - Le constat d'une certaine inefficacité.

Les observations recueillies sur le terrain permettent de remarquer que les travaux exécutés n'ont pas toujours donné les résultats prévus et que même, parfois, ils tendent à aggraver la situa-



Erosion due aux banquettes (Région de Taza):

- glissement sur versant d'exposition nord (cliché du haut)
- Ravinement sur versant d'exposition sud (cliché du bas)



tion dans certains secteurs. On peut retenir deux séries de causes à ces échecs, des principes de base insuffisants et une mauvaise utilisation de certaines techniques.

- Défaillance dans le principe des interventions.

= méconnaissance des processus et de leurs causes.

Les techniciens n'accordent que très peu d'intérêt à l'étude du phénomène de la dynamique. Généralement ils se contentent dans leurs rapports d'une demi-page au maximum pour donner une définition banale de l'érosion, avant de passer à d'autres considérations. La nature et l'intensité des processus ne sont pas suffisamment inventoriés tandis que leurs causes ne sont pas examinées: l'ouverture des chantiers ne fait sans que soit caractérisées les propriétés des formations (ni analyses minéralogiques et mécaniques...) ou le site géomorphologique (exposition des versants, risques de sapements...).

= manque de suivi.

Un traitement en banquettes n'a de chance de réussir que s'il bénéficie d'un minimum d'entretien: il faut qu'il soit l'objet d'une surveillance constante, afin d'éviter les dégradations et de permettre une rapide réparation d'éventuelles brèches. Or ce suivi fait très généralement défaut. Il ne faut pas oublier non plus que le nouvel équilibre réalisé est un équilibre dynamique qui va engendrer un nouveau type d'évolution qu'il est nécessaire de suivre.

= "oubli" du paysan.

La non prise en compte des avis du fellah aboutit à proposer et réaliser des interventions incompatibles avec les besoins de la population, ce qui entraîne des réactions négatives des paysans vis à vis des méthodes adoptées par l'administration.

- Mauvaise utilisation des techniques.

= Les banquettes.

Le Maroc, comme les autres pays d'Afrique du Nord, a connu la "fièvre" de la banquette, à tel point qu'elle est devenue "la solution" pour lutter contre les manifestations de l'érosion.

Rappelons que cette technique consiste à construire des fossés, suivant les courbes de niveaux (banquettes de rétention) ou avec une certaine pente en long (banquettes de diversion). Ils ont pour but de capter les eaux avant qu'elles ne se concentrent pour les obliger soit à s'infiltrer, soit à ruisseler à une vitesse non érosive. L'espacement est calculé en fonction de la pente (formule de Saccardy) et le profil en travers est déterminé en fonction de la plus forte intensité pluviométrique connue, souvent de façon empirique. Ainsi, tous les autres facteurs à part celui de la pente sont négligés, et c'est là que nous constatons la défaillance de cette technique. Deux exemples sont démonstratifs. Sur les versants d'exposition nord, naturellement déjà humides, la concentration locale de l'eau fait franchir les limites de liquidité là où les mouvements superficiels étaient dus au simple franchissement de la limite de plasticité. Des glissements ou des coulées boueuses apparaissent à partir d'un élément du réseau des banquettes. Sur les versants d'exposition sud, où l'infiltration est entravée par suite de la sécheresse du sol au moment où arrivent les premières pluies, les banquettes ne font que concentrer le ruissellement et par débordement le bourrelet de la banquette est rapidement attaqué, et des rigoles puis ravins apparaissent.

Dans l'un est l'autre cas, la tendance naturelle est ainsi renforcée par les banquettes, qui, sur ces versants marneux, ne fait qu'exacerber les effets de l'érosion au lieu de les diminuer...

Il est à noter aussi que dans certains cas particuliers, par

exemple sur pente relativement douce d'exposition sud, les banquettes de rétention (ayant souvent la faveur des techniciens) transforment radicalement les processus: l'engorgement des argiles et des marnes, conditionné par le réseau des banquettes, a pour effet de provoquer des glissements en planche. Les conditions d'infiltration ont été complètement modifiées, et l'érosion par ruissellement a été transformée en érosion par solifluxion.

= La stabilisation des ravins.

Paysans et services gouvernementaux ont parfaitement réalisés que le traitement des ravins était prioritaire dans cette région menacée par le ravinement et l'incision linéaire: des seuils en pierres sèches, des barrages en gabions ou en maçonnerie ont été édifiés, parfois associés à une stabilisation biologique. Mais là encore certaines précautions n'ont pas été respectées:

- Dans ces régions marno-argileuses, des ouvrages trop lourds ne conviennent pas car ils subissent des glissements qui les rendent inopérants.

- Si les gabions gardent une certaine souplesse qui permet à l'ensemble d'adhérer au fond du lit et de s'adapter aux mouvements du fond, ils sont par contre inadaptés lorsque l'écoulement est trop violent, car il se produit des ruptures et cisaillement du grillage en fil de fer.

- L'emploi d'espèces végétales apâtées par les animaux part d'une idée intéressante, mais ces derniers les ont parfois trop dégradé par surpâturage: le trop faible recouvrement limite alors la protection.

3 - Les concepts de l'aménagement.

Si on veut agir sur la nature, il faut connaître ses lois. Cette règle générale doit d'autant plus être appliquée au Prérif que cette région est particulièrement sensible, en équilibre précaire. Les facteurs de la morphogénèse font alterner dans le temps, en un même endroit, ou dans l'espace sur des secteurs parfois très proches, des phénomènes de mouvements de masse ou d'incision linéaire qui doivent être traités différemment. Telle ou telle technique qui a rendu de grands services dans un secteur pourra se révéler inefficace et même dangereuse dans un autre. Il suffit de considérer les succès et les déboires des banquettes...

Bien évidemment, nous n'avons pas, et il n'y a pas de remède "miracle". Le décapage, même dans des zones réputées stables, est inéluctable. Une pluie exceptionnelle pourra remettre en cause une stabilité qui était établie... Ce ne sont là que deux exemples parmi d'autres. L'essentiel est cependant d'éviter qu'un aménagement mal conçu ne vienne aggraver la situation, comme cela a été parfois le cas. Tout aménagement doit donc partir de la dynamique, l'intervention devant se faire sur les facteurs et paramètres qui conditionnent cette dynamique. Il doit ainsi être différencié et réalisé au cas par cas.

Une étude exhaustive nous entrainerait trop loin, et nous nous contenterons ici de reprendre à titre d'exemple l'utilisation des banquettes. Cette technique n'est pas intrinsèquement condamnée, les banquettes ont un rôle à jouer dans la défense des sols, mais ont des limites d'implantation. Ainsi quelque soit leur forme, elles doivent impérativement être exclues des secteurs où agissent la solifluxion ou les glissements, comme par exemple sur les versants marneux d'exposition nord. Elles peuvent par contre se justifier sur des

versants d'exposition sud, pas trop pentus, et doivent faire l'objet d'une exécution très minutieuse en particulier pour les banquettes horizontales. Toute irrégularité entraîne en effet la création d'un déversoir potentiel, amorce d'une entaille linéaire. Dans de nombreux cas cependant, des techniques plus légères et mieux adaptées aux conditions du milieu prérifain pourront avantageusement être utilisées (les banquettes coûtent chers, tant pour leur installation que pour leur entretien !). Selon le site il sera par exemple possible de mettre en place:

- des éléments de banquettes, remplaçant les banquettes continues. Ils n'ont pas besoin de prévisions spéciales d'évacuation du trop-plein, en revanche leur traçage, leur construction et leur entretien sont parfois plus difficiles. En association avec les cultures fruitières, ces éléments ont pourtant montré une haute efficacité.

- des cordons de pierres sèches ou murettes en pierres, constitués par des lignes de pierres suivant les courbes de niveaux ayant une hauteur variant en 15 et 60 cm environ. Ils constituent un véritable filtre, en freinant la vitesse des écoulements, et en retenant les matériaux entraînés.

- des impluviums individuels, petites cuvettes en arc de cercle, placées en quinconce. Ils captent bien les eaux de ruissellement, sans que la concentration soit trop forte puisque le bassin de réception est de petite taille. Ils seront par exemple employés sur pentes fortes, et facilitent le reboisement (l'arbre étant planté dans la cuvette).

CONCLUSION : Pour une stratégie du développement.

Même si elle est un élément important, la lutte anti érosive n'est qu'un aspect du plan de développement d'une région. Son rôle qui est de chercher à réduire les risques d'érosion qui pèsent sur l'espace agricole doit aussi tendre à augmenter le rendement agricole. Les actions à entreprendre doivent ainsi être concertées et intégrées.

- Actions concertées:

L'approche que l'on pourrait qualifier de socio-technico-économique doit reposer sur une équipe multidisciplinaire, agissant de façon transdisciplinaire, composée d'ingénieurs, géographes, sociologues et économistes par exemple, mais qui reste à l'écoute des populations. Trois niveaux seront sans cesse entrecroisés dans l'élaboration d'un plan d'aménagement "intégré":

- = le niveau sociologique fera apparaître les rapports entre l'homme et la terre pour cerner au mieux les contraintes de l'occupation humaine, et en tenir compte dans la programmation en l'intégrant dans les prévisions;

- = le niveau technique, partant de la dynamique érosive, recherchera les mesures les plus appropriées pour lutter contre la dégradation des sols, le transport des sédiments...

- = le niveau économique établira le bilan et fera le calcul de la rentabilité des interventions, pour déterminer celles qui vont dans le sens de l'intérêt des paysans tout en offrant le meilleur rapport coût/rentabilité, sans pour autant négliger l'intérêt général (voies de communications...)

- Actions intégrées:

Poncet écrivait dès 1962 : "Il est vain de reboiser les pentes, d'équiper les terrasses, de retracer des canaux, de construire des barrages, de prévoir des irrigations, des rotations de cultures, de

calculer des budgets, de répartir des investissements... sans faire intervenir l'élément décisif, qui est la collectivité humaine". Cette formule s'applique parfaitement à la lutte anti-érosive: la bienveillance, voire l'adhésion de la population, doivent être acquises d'avance. Or ces deux conditions n'ont que rarement été prises au sérieux, et elles expliquent l'obstacle majeur à la poursuite des travaux et en définitive l'échec des différentes expériences entreprises. Au contraire, il faut replacer à sa juste valeur le savoir-faire paysan, fruit d'une longue expérience, alors qu'il a été trop souvent sous-estimé, voire méprisé par les techniciens. Cette intégration doit donc se faire dans les deux sens:

- = sensibilisation du paysan face à l'aggravation de l'érosion.
- = nécessité de renforcer le dialogue entre techniciens et paysans en informant ces derniers sur l'efficacité des différentes techniques physiques, biologiques et culturales en matière de lutte anti-érosive. A cet effet, il serait urgent de mettre à disposition des paysans des techniciens qualifiés qui les assisteraient dans leurs travaux. Des subventions pourraient être accordées par exemple aux agriculteurs désireux d'entreprendre des travaux de lutte contre l'érosion. La valeur d'exemple pourrait d'ailleurs faire bouler de neige. C'est à ce prix qu'il sera possible:
 - = de résoudre le problème de l'opposition plus ou moins latente des paysans aux aménagements, ou plus précisément aux techniques nouvelles;
 - = d'améliorer les méthodes de cultures;
 - = d'introduire éventuellement des espèces ou des variétés nouvelles intéressantes du point de vue du rendement économique et de la conservation des sols.

BIBLIOGRAPHIE.

- AVENARD J-M. -1964- Présentation d'un aspect de l'érosion dans les marnes du Saïs-Douar El Gâda- R.G.M. n 6 p. 118-124.
- AVENARD J-M. -1965- L'érosion actuelle dans le bassin du Sébou. Inst.Nat.Rech.Agron., Rabat, Ronéo, 114 p., 14 cartes.
- AVENARD J-M. -1990- Dynamique érosive actuelle en Afrique du Nord. Rev. de la Fac des Lettres Tétouan, Vol 14, p.37-43.
- AVENARD J-M. -1990- Sensibilité aux mouvements de masse. Cah. O.R.S.T.O.M. série Pédol. Vol XXV n 1, p.119-129.
- ECK C.-MATHIEU L. -1963- Quelques observations sur les effets des pluies violentes de janvier 1963 dans le Moyen Atlas et le Prérif.Maroc. Bull.Soc.Belge d'études géographiques. Tome XXXI, n 2 p.281-299.
- Heusch B. -1970- L'érosion du Prérif: une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du Prérif occidental. Ann. Rech.Forest.du Maroc, Tome 12, Rabat, p.9-176.
- LEPOUTRE B.-SAUVAGEOT A. -1969- Pédogénèse et vocation forestière des sols sur marnes miocènes de la région de Fès. Ann.Rech.Forest. du Maroc, Tome II 1968-69.
- MATHIEU L. -1977- Réflexions à propos de quelques observations sur l'érosion dans le Prérif et le couloir sud-rifain. R.G.M. n 6, p.73-88.
- MAURER G. -1988- Héritage et dynamique actuelle dans les bassins versants: exemple du Rif et du Prérif: géomorphologie et dynamique des bassins versants élémentaires. Etud.Méditer. Fac. 12, C.I.E.M. Poitiers, p.179-198.
- MOUDDI-HADI S. -1993- La dynamique actuelle dans le Moyen Sébou -Région de Fès- Thèse ULP Strasbourg, CEREG, 272 p., 4 cartes H.T.
- RAHOU M. -1985- Réflexions sur la dynamique des milieux naturels dans le Prérif de Ouezzane. Rev.Fac Met. Fès, numéro spécial, p.9-22.
- ROBERT P. -1970- Le comportement des banquettes dans le Prérif. Bull.Liaison Ing.Forest. Maroc, n 2 p.33-45
- TRIBAK A. -1990- Dynamique et typologie des versants: essai sur l'intensité, la fréquence et la localisation des processus d'érosion actuelle dans quelques bassins Prérifains au nord de Taza. Rev. Géogr. Alpine, T. LXXVIII, n 1-2-3, p. 227-240.

QUANTIFICATION DE L'EROSION A PARTIR D'IMPLANTATION DE QUATRE RETENUES COLLINAIRES DANS LA ZONE DES MARNES.

W. Relizane. Algérie.

Mme B.Touaïbia* , Mme S. Dautrebande **,
Mr D.Gomer.*** Mr M.Mostefaoui****.

RESUME

Ce travail consiste à quantifier le phénomène de l'érosion dans une zone des marnes du bassin versant de l'oued Mina et déterminer la proportion de sédiments charriés par l'oued et susceptibles d'être retenus par des ouvrages de retenues collinaires et leur impact sur le barrage de Sidi-M-Hammed Bénaouda.

OBJECTIF

Le barrage de Sidi-M'Hammed Bénaouda est menacé par l'envasement de par son emplacement.

Situé à l'extrême Nord du bassin versant de l'Oued Mina, et au Sud de la wilaya de Relizane, son bassin versant d'une superficie de 4900 Km² est soumis à une érosion intense essentiellement dans sa partie septentrionale constituée de marnes sur une superficie de 1000 Km².

Dans un souci de lutte anti-érosive, le bassin versant de l'oued mina a été retenu dans le cadre d'un projet pilote d'aménagement intégré et de mise en valeur (GTZ, 1990).

L'objectif de ce dernier est de quantifier l'érosion, de développer et de tester des pratiques anti-érosives afin de mobiliser et de protéger la ressource en eau, voire limiter l'érosion et réduire l'envasement à l'aval.

Le but de notre travail est de déterminer dans la zone des marnes des sites favorables à l'implantation de retenues collinaires et d'étudier leur faisabilité tout en quantifiant l'apport de sédiments arrêtés par ces dernières afin de préserver le barrage contre un envasement précoce. Ainsi, de par une étude topographique, quatre sites jugés favorables, ont été retenus et étudiés.

I. PRESENTATION DE LA REGION

1.1 Le Bassin versant de l'oued Mina

Il est situé à environ 300 Kms dans l'Ouest Algérien, dans le Tell Oranais, et s'étend sur le glacis septentrional du massif montagneux du Chott. Il est situé entre 0°20' de Longitude Est et entre 34°40' et 35°40' de Latitude Nord. Il occupe une superficie au droit du barrage de 4900 Km² et s'étend sur une distance de 90 Kms du Nord au Sud et 55 Kms d'Est en Ouest. Son climat est de type semi-aride méditerranéen.

* Chargée de cours. ENSH. BP 31. Blida. Algérie

** Professeur, Faculté des Sciences Agronomiques. Gembloux. Belgique.

*** IWK. Université de Karlsruhe. Allemagne

**** INES Agronomie. Chleff. Algérie.

1.2 Le barrage de Sidi-M-Hammed Bénaouda

Ce barrage dit ES-SAADA est situé à 22 Kms au Sud de la ville de Relizane. De Digue homogène, il est construit sur le principal affluent de l'Oued Cheliff qu'est l'Oued Mina. L'apport moyen interannuel au droit du barrage calculé sur une période de 18 années est estimé à 214 Mm³.

Sa capacité utile, calculée dans le cas d'une régularisation interannuelle (Meddadi, 1994) est estimée à 159 Mm³, pour une garantie de la consommation annuelle de 80% et un nombre d'années sèches égal à 6.

D'une hauteur de 61 m, d'après l'étude de régularisation (Meddadi, 1994), le barrage de Sidi-M-Hammed Bénaouda est destiné à l'irrigation de la plaine de la mina, à l'approvisionnement du secteur industriel et à l'adduction d'eau potable de la ville de Relizane. Le besoin en eau annuel selon le ministère de l'agriculture (D.E.G.H.A, 1993) est estimé à 95 Mm³.

Depuis sa mise en service (1978), la barre de 82 Mm³ n'a jamais été dépassée du fait de la sécheresse enregistrée ces dernières années.

Selon l'étude de régularisation, son volume au niveau normal de la retenue (V_{NNR}) est estimé à 192 Mm³ pour un délai de service de 50 ans.

1.3 La Zone d'étude

La zone d'étude, située au Nord du bassin versant de l'Oued Mina, occupe une superficie de 1000 Km², soit le 1/6 de la surface totale du bassin versant. Elle est constituée essentiellement de marnes tertiaires d'où son appellation " Zone des Marnes ".

Ces terrains présentent une très grande sensibilité à l'érosion et participent pour beaucoup à la production de sédiments à l'aval. Les caractéristiques lithologiques ont été déterminantes pour les aménagistes quant au choix de cette zone (sensibilité du sol à l'érosion, défrichement, éboulement, ravinement.....).

Six micro-bassins versants expérimentaux y sont délimités, sur lesquels plusieurs techniques anti-érosives y sont pratiquées à fin de tests.

Du point de vue sociologique, cette zone des marnes connaît de larges mouvements de la population à la recherche d'eau potable et de terres fertiles. Une agriculture d'autosubsistance y est pratiquée et aucune infrastructure industrielle n'existe.

1.4 Les sites

Une des conséquences visibles de l'érosion hydrique surtout par ruissellement est l'existence d'un réseau d'écoulement très dense accentué par un relief très pentueux et accidenté, localisé surtout sur la rive gauche de l'Oued El-Haddad et de l'Oued Mina.

Il est également observé une érosion régressive des lits d'oueds et des fonds de ravins et d'importants glissements de terrains.

II HYDROLOGIE DES S/BASSINS VERSANTS

2.1 Détermination des caractéristiques hydromorphométriques

C'est au niveau de la rive gauche, dans la zone des marnes qu'une étude de faisabilité de quatre retenues collinaires a été entreprise.

L'étude hydrologique a permis de calculer les caractéristiques hydromorphométriques des quatre S/bassins (Mostéfaoui, 1994).

La formule de Giangotti a été utilisée pour le calcul du temps de concentration des eaux dans les S/bassins, soit :

$$t_c = \frac{4 \sqrt{S} + 1.5 L_{cp}}{0.8 \sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

t_c : Temps de concentration des eaux du bassin versant
 S : Surface du bassin en Km^2
 L_{cp} : Longueur du cours d'eau principal en Km
 H_{moy} : Altitude moyenne du bassin en m
 H_{min} : Altitude Minimale en m.
 V_t : Vitesse de transfert des eaux en Km/h
 La vitesse de transfert est définie comme étant la distance parcourue par les eaux le long du cours d'eau principal " L_{cp} " rapportée au temps de concentration du bassin versant " t_c ".
 Les résultats de cette étude sont présentés dans le tableau 1.

Tab 1. Caractéristiques Hydromorphométriques des 4 S/bassins

| Bassin versant Zone d'étude | OUED MINA | | | |
|---|-----------------|-------------------|--------------------|--------|
| | Rive de Mina | gauc de l'Oued | he de El-haddad | l'Oued |
| Sites | 1 | 2 | 3 | 4 |
| S/Bassin CHAABA | BECHIRA | TIRZA | ATROUS | ATROUS |
| X m | 308.16 | 309.86 | 302.73 | 302.28 |
| Coordonnées Y m | 252.00 | 252.17 | 245.45 | 242.65 |
| du site Z m | 182.00 | 181.00 | 320.00 | 325.00 |
| Surface Km^2 | 8.637 | 5.349 | 1.460 | 13.390 |
| Périmètre Km | 14.170 | 13.000 | 7.000 | 18.350 |
| Indice de compacité | 1.35 | 1.57 | 1.62 | 1.40 |
| Longueur Km | 5.520 | 5.514 | 3.010 | 7.318 |
| Largeur Km | 1.563 | 0.986 | 0.490 | 1.857 |
| Altitude Max. m | 472.00 | 472.00 | 440.00 | 625.00 |
| Altitude Moy. m | 305.62 | 300.12 | 380.10 | 421.30 |
| Altitude Médiane m | 330.00 | 330.00 | 408.00 | 434.00 |
| Indice de pente moy % | 52.54 | 52.77 | 39.87 | 40.99 |
| Longueur du cours d'eau principal Km | 2.88 | 4.57 | 2.08 | 2.41 |
| Densité de drainage Km/Km^2 | 7.121 | 6.375 | 6.274 | 5.427 |
| Temps de concentration des eaux du bassin h | 1.8 | 1.8 | 1.2 | 2.3 |
| Vitesse de transfert des eaux dans le bassin Km/h | 0.44 | 0.71 | 0.48 | 0.29 |

2.2 Pluviométrie

Les valeurs moyennes interannuelles de la pluviométrie de la lame d'eau évaporée et de la température sont respectivement égales à 343 mm, 1107 mm et 18 °.

L'ajustement théorique à la loi de Gumbel sur une période de 18 ans des précipitations maximales journalières observées à la station de Oued El-Abtal (Dubreuil, 1974), a permis d'estimer les pluies maximales journalières à différentes fréquences ($P_{maxj,p\%}$).

L'expression générale de la droite de Gumbel est :

$$X = 11.93 Y + 33.12 \quad \text{donnant un coefficient de corrélation "r" entre X et Y égal à 0.92.}$$

X : Pluie maximale journalière (mm)

Y : Variable réduite de Gumbel

Les pluies maximales journalières probables ($P_{maxj,p\%}$) sont estimées à partir de l'équation de la droite de Gumbel, et les résultats sont présentés dans le tableau 2.

$$P_{maxj,p\%} = X_{p\%} = 11.93 Y_{p\%} + 33.12 \quad (\text{Fréquence au non dépassement})$$

Tab 2. Pluies maximales journalières probables
Pmax j ,p%

| | | | | | |
|---------------|----|----|----|----|----|
| Fréquence p% | 20 | 10 | 4 | 2 | 1 |
| Pmax j,p % mm | 51 | 59 | 71 | 79 | 88 |

Les S/bassins versants étant très proche de la station de Oued El-Abtal, la pluie maximale journalière probable a été prise en référence dans le calcul de la pluie maximale journalière de durée égale au temps de concentration. Pour cela ,la formule de Montanari a été utilisée pour sa détermination

$$P_{max\ tc,p\%} = P_{max\ j,p\%} \cdot (tc / 24)^b$$

où ' b ' est l'exposant climatique évalué à 0.437 pour la station de Oued El-Abtal (Dahel,1991). Les résultats sont présentés dans le tableau 3.

Tab 3. Pluies maximales probables de durée égale au temps de concentration
des quatre S/bassins des retenues Pmax tc,p%

| Fréquence p% | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------|----|----|----|----|
| 20 | 16 | 16 | 13 | 18 |
| 10 | 19 | 19 | 15 | 21 |
| 4 | 22 | 22 | 19 | 25 |
| 2 | 25 | 25 | 21 | 28 |
| 1 | 28 | 28 | 23 | 31 |

2.3 Les écoulements

2.3.1 L'apport moyen et l'apport fréquentiel

Des formules empiriques de Samie (1956) et Sokolovsky (1945) ont été retenues pour l'estimation respective de la lame d'eau écoulée moyenne interannuelle(Le) et du coefficient de variation(Cv) pour les quatre S/bassins.Ces formules sont les suivantes:

$$Le = Po^2 - (293 - 2.2 \sqrt{S}) \quad (\text{Samie})$$

où Le : Lamme d'eau écoulée moyenne interannuelle en mm
Po: Précipitation moyenne interannuelle en mm
S: Surface du bassin versant en Km²

$$Cv = a - 0.63 \log (S+1) \quad (\text{Sokolovsky})$$

où a = 0.78 - 0.29 log Mo est une constante empirique dépendant du débit spécifique

S : Surface du bassin en Km²

Mo: Débit spécifique moyen interannuel en l / s / Km²

A partir de la lame d'eau calculée moyenne interannuelle(Le) ,le coefficient d'écoulement moyen interannuel (Ce)a été déterminé pour les quatre S/bassins.Les résultats sont présentés dans le tableau 4.

Tab 4. Estimation de l'apport, du coefficient de variation et du coefficient d'écoulement moyen inter-annuel. (Ao, Le , Cv et Ce)

| S/Bassins versants | Le mm | Ao Mm3 | Cv | Ce % |
|--------------------|----------|-----------|------|---------|
| 1 | 34 | 0.29 | 0.71 | 10 |
| 2 | 34 | 0.18 | 0.72 | 10 |
| 3 | 34 | 0.05 | 0.74 | 10 |
| 4 | 34 | 0.44 | 0.70 | 10 |

La loi de Galton a permis l'estimation des apports annuels à différentes fréquences, ou différentes périodes de retour. Les paramètres d'ajustement de cette loi, à savoir la moyenne et l'écart type, ont été inspirés du tableau 4. L'apport fréquentiel $A_{p\%}$ est calculé par la formule suivante:

$$A_{p\%} = \frac{A_o}{\sqrt{Cv^2+1}} e^{u_{p\%} \sqrt{\ln(Cv^2+1)}} \quad (\text{Sokolov et}, 1976)$$

et les résultats sont présentés dans le tableau 5.

Tab 5. Apports annuels à différentes fréquences

| Fréquences P% | 10 | 20 | 30 | 80 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|
| S/Bassins | | | | |
| 1 | 0.538 | 0.336 | 0.094 | 0.825 |
| 2 | 0.406 | 0.253 | 0.070 | 0.625 |
| 3 | 0.237 | 0.147 | 0.040 | 0.368 |
| 4 | 0.139 | 0.085 | 0.023 | 0.216 |

2.3.2 Les débits de crues

Les débits de crues maxima probables ont été déterminés par la méthode de l'hydrogramme synthétique (appelée souvent méthode des isochrones), après avoir découpé les S/bassins en isochrones. Les résultats de l'application de cette méthode sont récapitulés dans le tableau 6, et les hydrogrammes de crues à différentes périodes de retour sont donnés par les fig 1a, 1b, 1c et 1d.

Tab 6. Débits de crues maxima à différentes fréquences.

| Fréquence P % | 20 | 10 | 4 | 2 | 1 |
|---------------|------|------|------|------|------|
| S/bassins | | | | | |
| 1 | 3.35 | 3.87 | 4.66 | 5.18 | 5.77 |
| 2 | 2.07 | 2.40 | 2.89 | 3.21 | 3.58 |
| 3 | 0.71 | 0.82 | 0.99 | 1.10 | 1.23 |
| 4 | 4.52 | 5.23 | 6.29 | 7.00 | 7.80 |

2.4 Les apports solides

Les apports solides ont été calculés à partir des formules de Tixeront (1960) et de Gravilovic et comparés à ceux trouvés sur les micro-bassins expérimentaux de la zone des marnes, comme le montre le tableau 7.

Tab 7. Erosion spécifique moyenne
(Tonnes / Km² .an)

| S/bassins versants | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------------|------|------|------|------|
| Tixeront | 2373 | 2375 | 2378 | 2371 |
| Gravilovic | 2090 | 2090 | 1131 | 1152 |

Fig 1a. HYDROGRAMMES DE CRUE
RETENUE 1

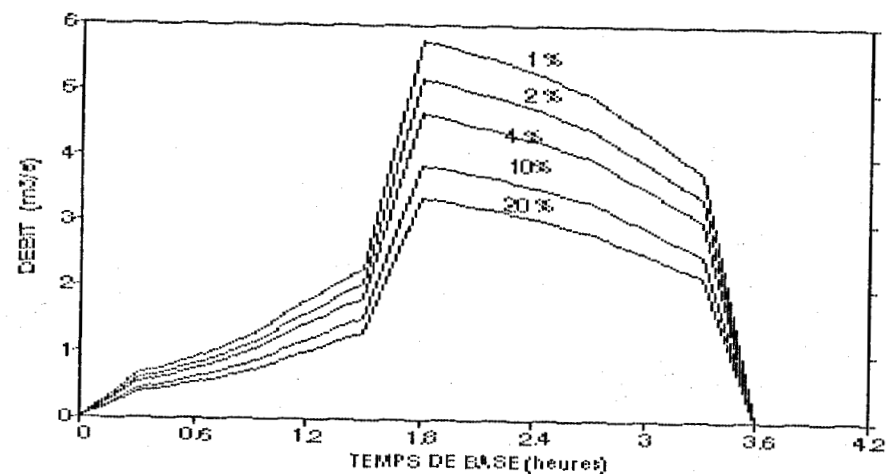
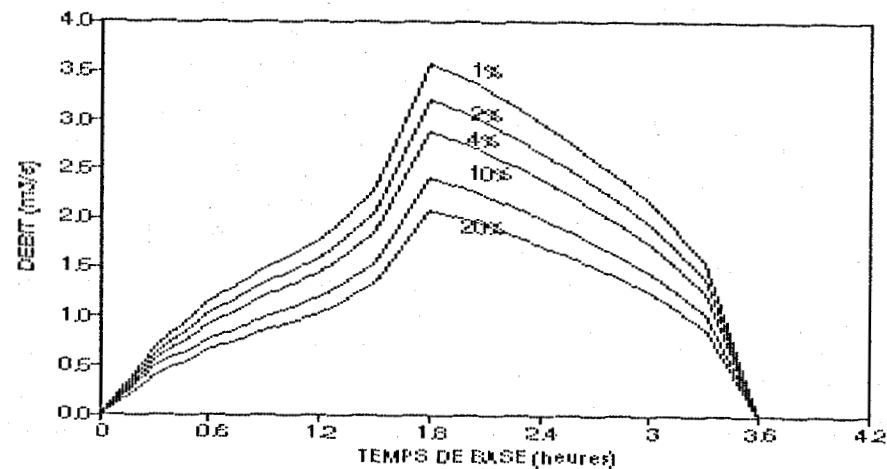


Fig 1b. HYDROGRAMMES DE CRUE
RETENUE 2



413

Fig 1c. HYDROGRAMMES DE CRUE
RETENUE 3

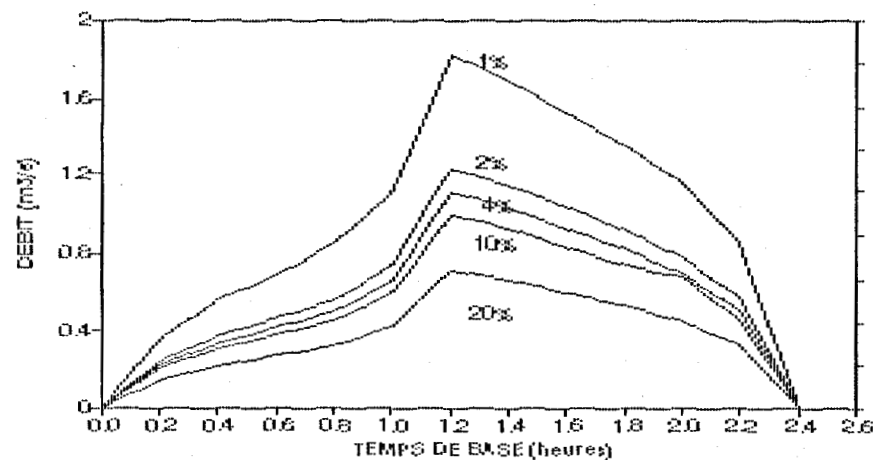
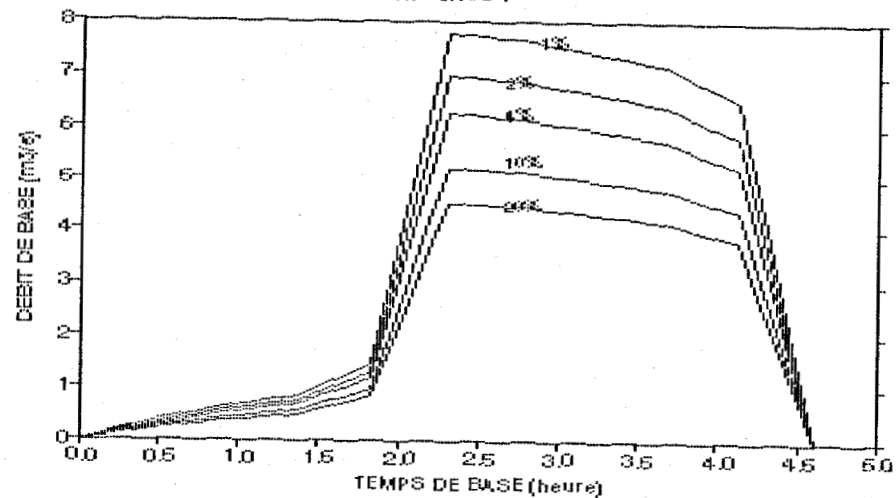


Fig 1d. HYDROGRAMMES DE CRUE
RETENUE 4



La valeur expérimentale calculée à partir des résultats expérimentaux des micro-bassins (observations) contenus dans le rapport d'évaluation (GTZ , 1990) est estimée à :
 $E_s = 2560 \text{ Tonnes / Ha .an}$

Au vu du tableau 7 ,les résultats estimés par la formule de Tixeront ont été pris en considération moyennant une érosion spécifique pour l'ensemble des S/Bassins versants des retenues la valeur de $2374 \text{ T/ Km}^2.\text{an}$. Cette valeur est entrée dans l'estimation du volume des quatre retenues.

III IDENTIFICATION DES RETENUES ET DU BARRAGE

3.1 Caractéristiques des retenues

La région d'étude est une zone marneuse, fortement ravinée, où tous les sols sont défrichés et les versants complètement nus.

Les courbes topographiques des quatre retenues sont présentées par les figures 2a-2b-2c-2d. Les caractéristiques volumétriques sont données dans le tableau 8.

Tab 8. Identification des retenues

| RETENUES | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| Délai de service | an | 5 | 1 | 5 | 1 |
| Volume mort | m ³ | 40991 | 2541 | 5786 | 4233 |
| Hauteur morte | m | 4.70 | 3.00 | 3.30 | 2.40 |
| Volume utile | m ³ | 38152 | 2868 | 3893 | 2690 |
| Hauteur au NNR * | m | 6 | 4 | 4 | 3 |
| Volume au NNR * | m ³ | 79143 | 5409 | 9679 | 6923 |
| Volume forcé | m ³ | 0.584 | 0.121 | 0.447 | 0.050 |
| Hauteur forcé | m | 0.70 | 0.60 | 0.50 | 0.90 |
| Hauteur projetée | m | 7 | 5.30 | 4.50 | 4.00 |
| Hauteur d'exécution | m | 7.20 | 5.50 | 4.60 | 4.10 |

* NNR : Niveau Normal de la Retenue

3.2 Quantification de l'apport solide dans les retenues

Comme il est constaté dans le tableau 8, le volume utile ,c'est à dire le volume destiné à la consommation (déterminé selon les caractéristiques topographiques), est égal pour ne pas dire moindre au volume mort calculé pour un délai de service donné. Si l'on tient compte du fait qu'une retenue est construite pour la satisfaction du consommateur, sa construction s'avère inutile. Et comme son but essentiel est l'accumulation des sédiments, reste à définir sa durée de vie et son impact sur le barrage de Sidi-M-Hammed Bénaouda à l'aval.

Le poids volumique des sédiments retenus par le barrage est de 1.6 T/m^3 (A N B , 1976). Selon la même source ,on estime à 1 millions de m³, le volume de sédiments qui arrivent en moyenne annuellement au barrage ,soit une érosion spécifique de $326 \text{ T/Km}^2. \text{an}$.

L'érosion spécifique moyenne calculée pour le bassin versant de la Mina, les S/bassins des retenues est donnée dans le tableau 9.

Tab 9. Erosion spécifique moyenne

| Bassin versant | Surface km ² | Erosion spécifique moy. Es en T/Km ² .an |
|---------------------|-------------------------|---|
| Au droit du barrage | 4900 | 326 |
| S/Bassins versants | 28.84 | 2374 |

Fig 2a. COURBE DES VOLUMES D'EAU
Retenue 1 $V = f(H)$

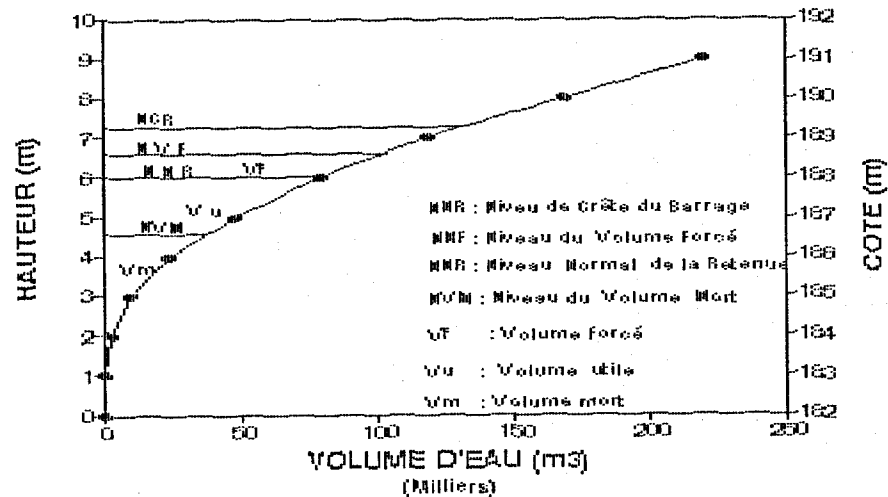
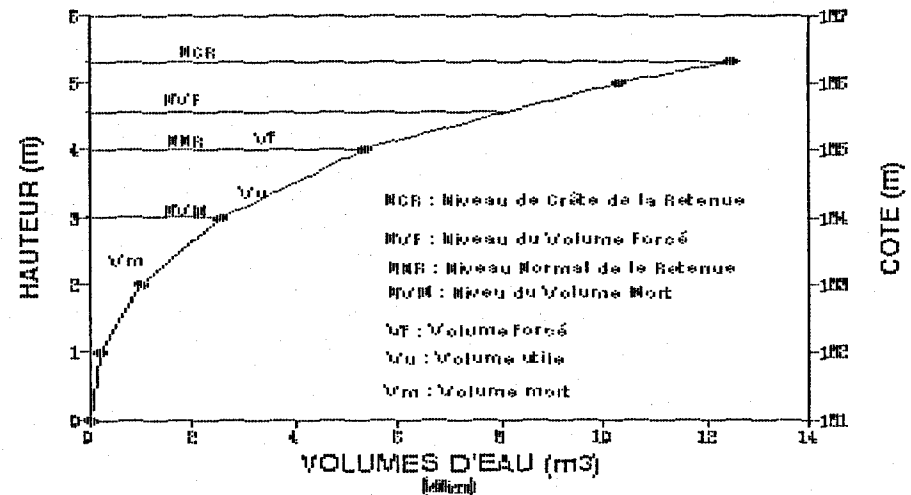


Fig 2b. COURBE DES VOLUMES D'EAU
Retenue 2 $V = f(H)$



514

Fig 2c. COURBE DES VOLUMES D'EAU
Retenue 3 $V = f(H)$

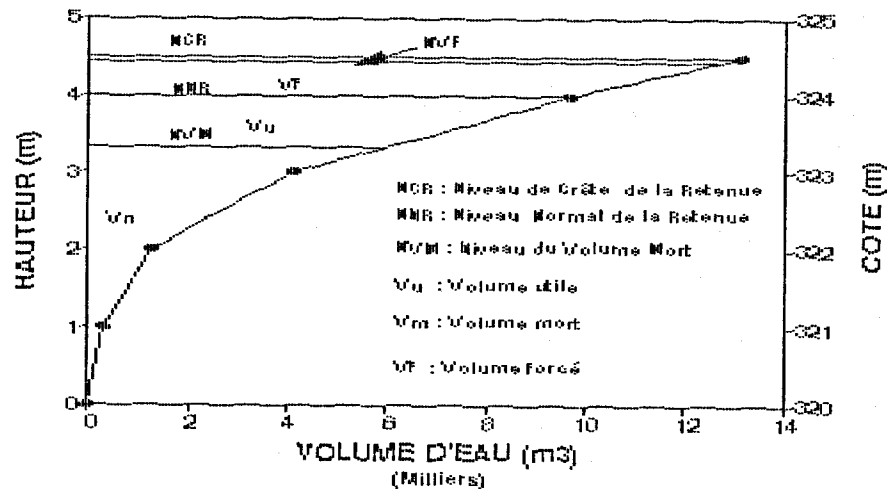
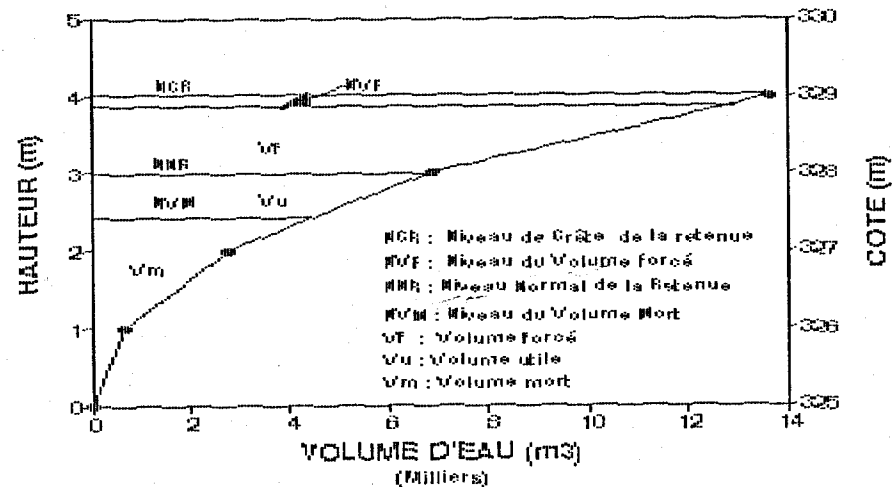


Fig 2d. COURBE DES VOLUMES D'EAU
Retenue 4 $V = f(H)$



Au vu du tableau 9, les résultats diffèrent de beaucoup entre eux.

A l'échelle micro-bassin et S/ bassin versant, l'apport de sédiments rapporté à l'unité de surface ou érosion spécifique est quasiment identique et représente 8 fois plus celle du bassin versant au droit du barrage. Ceci s'explique par le fait que l'on est toujours dans la même zone qui est la zone des marnes.

Compte tenu de ces résultats, la zone des marnes reste une zone très productive, très dangereuse pour la sédimentation du barrage, vu la position de ce dernier.

Tab 10. Quantification des sédiments dans les retenues

| Retenues | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|----------------|--------|-------|-------|-------|
| Hauteur projetée | m | 7.00 | 5.30 | 4.50 | 4.00 |
| Volume d'eau total | m ³ | 118751 | 12474 | 13122 | 13647 |
| Quantité de sédiments | T | 190002 | 19958 | 20995 | 21835 |
| Durée d'envasement | an | 14 | 5 | 11 | 3 |
| Quantité de sédiments déposés en 1 année | T | 13572 | 3992 | 1907 | 7278 |
| Taux d'envasement annuel | % | 7.14 | 20.00 | 9.08 | 33.33 |

Comme il est constaté dans le tableau 10, la retenue 4 est la première à s'envaser après 3 années de service avec un taux d'envasement annuel estimé à 33.33 %. Son volume mort fait le double de sa capacité utile (tableau 9).

En une année, elle est déjà envasée à 61%, si l'on considère la retenue (4) à son niveau normal (NNR).

Du point de vue économique (Mostéfaoui, 1994), seule la retenue 1, peut être prise en considération.

3.3 Identification du barrage de Sidi-M-Hammed Bénaouda

D'après l'étude de régularisation (Meddadi, 1994) faite pour un apport fréquentiel de 80%, on estime à 33.5 Mm³ le volume occupé par la vase (Volume mort) et à 159 Mm³ le volume régularisé (volume destiné à la consommation) soit un volume de 192.5 Mm³ à son niveau normal comme le montre la figure 3.

Si ce dernier volume devrait être occupé par la vase, la quantité de sédiments stockés serait d'environ de 308 Mm³ pour un poids volumique de la vase de 1.6 T/m³.

La quantité de sédiments globale pouvant être arrêtée par les quatre retenues durant leur survie est de 252789 Tonnes, représentant 0.08% du volume total du barrage de Sidi-M-Hammed Bénaouda à son niveau normal.

V CONCLUSION GENERALE

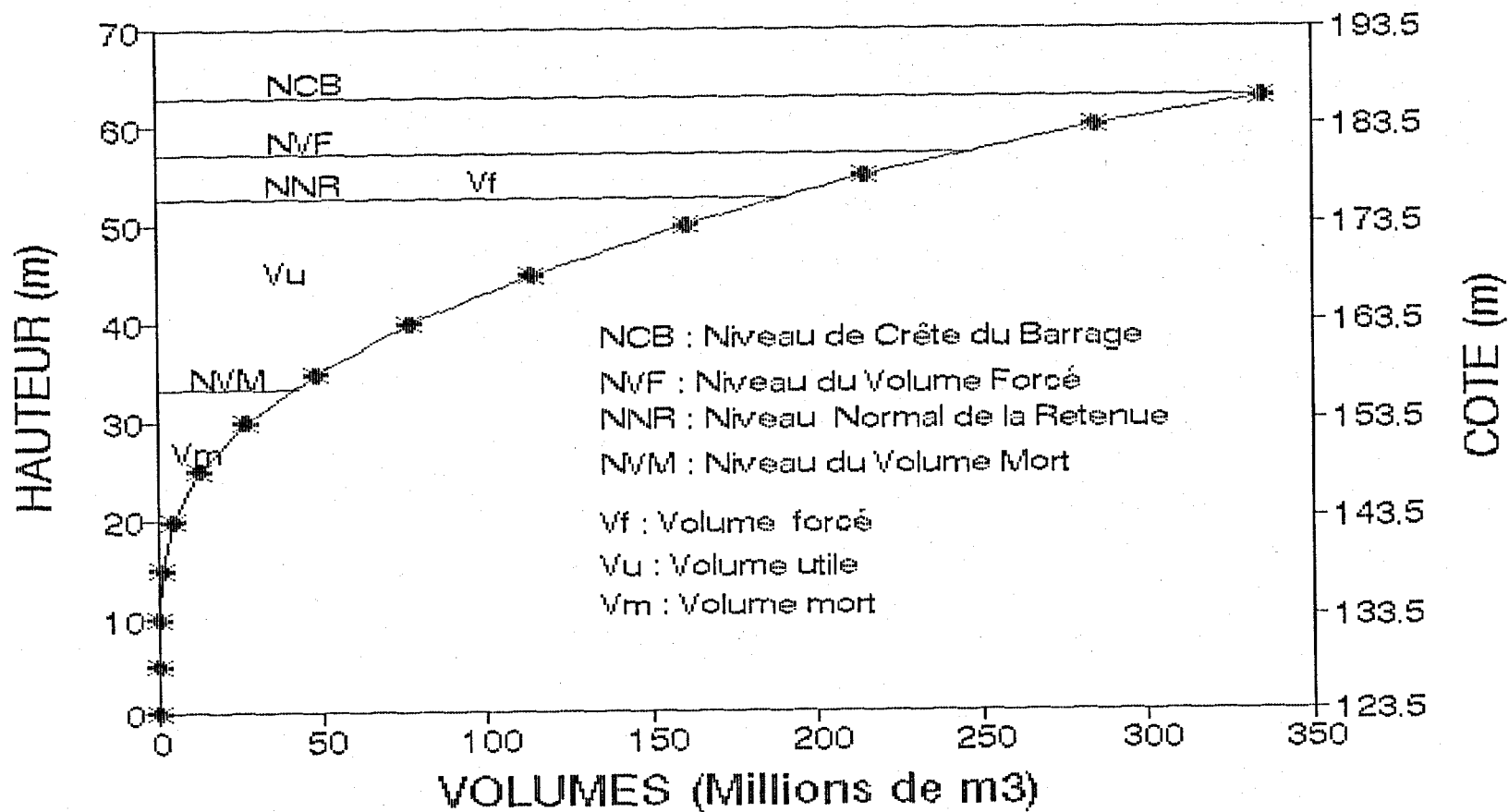
L'implantation de ces quatre retenues est trop insuffisante quant au rôle joué vis à vis du barrage de Sidi-M-Hammed Bénaouda.

Il en faut plusieurs retenues pour arriver à une conclusion, seulement les sites restent difficilement trouvables, vu la nature très accidentée des versants de cette zone.

A cours terme, la réalisation de la retenue 1, peut jouer un rôle important dans la stabilisation de la population à la recherche d'un point d'eau, afin d'y pratiquer une agriculture de subsistance.

L'implantation des retenues seules ne peut suffire à freiner l'érosion dans la zone des marnes. Une lutte anti-érosive globale doit être menée sur l'ensemble du bassin versant de l'Oued Mina si l'on espère un jour freiner l'érosion et lutter contre la sédimentation du barrage à l'aval.

Fig 3. Courbe Topographique
 $V = F(H)$



BIBLIOGRAPHIE

- * **Meddadi A,1994**
Régularisation du barrage de Sidi-M-hammed dans la Wilaya de Relzane.
Mémoire de Fin d'étude (Ingéniorat)
Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique (ENSH). Blida.Algérie
- * **Mostéfaoui M ,1994**
Quantification de l'érosion à partir d'implantation de quatre retenues collinaires dans la zone des marnes du bassin versant de l'Oued Mina dans la Wilaya de Relzane.
Mémoire de fin d'études (Ingéniorat)
Institut National d'Enseignement Supérieur d'Agronomie (INESA) .Chleff. Algérie
- * **D.E.G.H.A,1993**
Plan de développement de dix ans de la grande irrigation
PDGI 10,1995 à 2004, volume 1,
Ministère de l'agriculture, Alger .Algérie.
- * **Dahel M,1991**
Répartition spatiale de la pluie
Mémoire de fin d'études(Ingéniorat)
Institut National d'Enseignement Supérieur d'Agronomie (INESA).Chleff.Algérie
- * **G T Z , 1990**
Rapport d'évaluation
Projet pilote d'aménagement intégré du bassin versant de l'Oued Mina
ORDF ,Sidi-M-Hammed Bénaouda. Relizane.Algérie
- * **Sokolov A.A ,Rantz et Roche M,1976**
Calcul des crues d'averses
Méthode basée sur l'expérience mondiale UNESCO- OMM (en anglais)
- * **A N B ,1976**
Avant projet détaillé du barrage de Sidi M'hammed Bénaouda.
Agence nationale des barrages, Ministère de l'hydraulique. Alger.Algérie
- * **Dubreuil P, 1974**
Initiation à l'analyse hydrologique
Edition Masson ,Paris . France
- * **Tixeront J,1960**
Les débits solides des cours d'eau d'Algérie et de Tunisie
Etudes hydrologiques , Serie II ,Secrétariat Agricole .Tunis.
- * **Samie C,1956**
Synthèse des travaux de Ribers G, Cardonna J et de Samie C
Annuaire hydrologique 1995-1956 DHERA,SES,Algérie.
- * **Sokolovsky DL,1945**
Calculs hydrologiques pour la construction des ponts.
Hydrométéoizdat,Leningrad .URSS (en russe).
- * **MOTS CLES**
Erosion - Bassin versant - Apport solide - Retenue collinaire - Envasement.

INFLUENCE DES COUVERTS VEGETAUX DE JACHERE SUR LE RUISSELLEMENT ET L'EROSION DIFFUSE EN SOL CULTIVE.

*Set aside vegetal cover influence on runoff and interrill erosion in cultivated
area.*

E. GALLIEN, Y. LE BISSONNAIS, M. EIMBERCK, H. BENKHADRA

INRA ORLEANS, Service d' Etude des Sols et de la Carte Pédologique de France, 45160 OLIVET.

L. LIGNEAU, J.F. OUVRY

Association Régionale pour l'Etude et l'Aménagement des Sols, 2 Avenue Foch, 76460 ST-VALERY-EN-CAUX.

P. MARTIN

INA-PG Chaire d'Agronomie, 16, rue Claude Bernard, 75231 PARIS cedex 05

Depuis 1992 et la réforme de la Politique Agricole Commune, la jachère est réintroduite dans les pratiques agricoles, afin de limiter la surproduction européenne. Le choix du type de jachère (tournante ou fixe) et de la nature du couvert ne sont pas sans conséquences sur les caractéristiques hydrodynamiques du paysage agricole. Les transferts d'eau par drainage ou ruissellement sont en partie conditionnés par la présence d'un couvert ; or ils sont à l'origine d'une partie de la pollution diffuse de la ressource en eau, quand ils sont accompagnés d'éléments minéraux (nitrates, phosphates) ou de sédiments.

L'objectif de cette étude est de quantifier l'effet de certains couverts sélectionnés pour une jachère semée pour limiter le ruissellement et l'érosion diffuse. Un dispositif expérimental a été mis en place in situ au printemps 1994, sur un sol limoneux battant dans le Pays de Caux

Cette région connaît des problèmes d'érosion graves du fait des caractéristiques du sol qui est très sensibles à la battance : sous l'effet des pluies, on observe une désagrégation des mottes de terres et une dispersion des particules émises aux alentours. Le sol perd progressivement sa capacité à emmagasiner l'eau de pluie par infiltration ou rétention superficielle et l'excès d'eau ruisselle, entraînant selon sa compétence les particules de terre disponibles ou mises en mouvement par le splash de la pluie. On parle d'érosion diffuse.

Outre les pertes de terre, il y a entraînement des substances chimiques dissoutes ou adsorbées sur les éléments fins transportés. Par la suite le ruissellement peut se concentrer dans les points bas du relief et atteindre une vitesse suffisante entraînant des départs de terre importantes dans les cours d'eau et des dépôts sur les voiries.

MATERIEL ET METHODES

Pour comparer l'influence des couverts de jachère par rapport à un sol nu, et des différents couverts entre eux, nous avons testé :

- un semis de **composition Graminée-Légumineuse**, (Ray-Grass italien non alternatif 75%), à très bon taux de recouvrement;
- un semis de **Moutarde blanche**, réputée pour une très grande vitesse d'installation;
- un **lit de semence**, préparé sans dépôt de graines, dont l'état de surface initial est identique à celui des deux semis précédents;

- un labour, pratique interdite dans le cadre de la jachère, mais mode d'interculture fréquent en hiver.

Par ailleurs une partie de la parcelle était couverte par une ancienne vesce, jamais récoltée et présentant de nombreuses repousses spontanées. Ce couvert se distingue des autres par un recouvrement très dense dès le début des mesures et un sol mieux structuré par la présence des racines et de l'activité biologique associée, la végétation étant présente depuis plus longtemps.

Sur chaque traitement, nous avons installé 2 placettes de mesure type Wischmeier (2 mètres de large sur 10 mètres de long), orientées dans le sens du travail du sol qui est celui de la pente. Ces placettes sont isolées du reste de la parcelle par des talus. Elles sont situées dans une zone de pente homogène, environ 4%.

A chaque pluie ou séquence pluvieuse, on mesure le volume total d'eau ruisselé pour chaque placette (correspondant au ruissellement d'un ou plusieurs événements) et la charge solide des eaux collectées. Par ailleurs, deux pluviomètres à augets basculeurs installés sur le site nous permettent d'obtenir des renseignements fiables sur les caractéristiques de la pluie. Pour chaque date de relevé, on peut donc caractériser chaque surface par son coefficient de ruissellement ($CR = \text{rapport de la lame d'eau ruisselée sur la lame de pluie reçue}$) et la concentration en terre de ce dernier. Les pertes en terre sont calculées par multiplication du volume ruisselé et de sa charge solide ; on exprime l'érosion en $\text{kg}/10\text{m}^2$, unité qui est équivalente à la tonne par hectare, mais correspond mieux à l'échelle de nos mesures.

Pour analyser ce facteur d'échelle, nous avons installé une placette de mesure de 500 m^2 (62,5 mètres de long par 8 mètres de large) sur le lit de semence et une sur la composition Graminée Légumineuse. Par sa longueur, cette surface se rapproche plus d'une parcelle agricole.

Durant toute la saison, ont été effectuées des observations régulières (environ bimensuelles) de la morphologie des états de surface: l'évolution de la rugosité soudure des particules de terre puis l'extension des dépôts. Le pourcentage de recouvrement du sol par la végétation a également été estimé visuellement.

En ce qui concerne les caractéristiques de la pluie, Nous avons choisi de caractériser également les événements par l'intensité maximum connue sur 4 mn (I_{max} sur 4 mn). Cette durée de 4 mn a été choisie au vu des courbes "intensité = $f(\text{temps})$ " de tous les événements, pour lesquels la durée des pics de forte intensité est relativement courte. A intensités égales, deux pluies pourront aussi être comparées par leur hauteur en millimètres.

RESULTATS / PRINCIPALES CONCLUSIONS

Les deux couverts de jachère testés (Moutarde et composition Ray-Grass-Trèfle) permettent de *réduire l'érosion* par rapport à un sol nu d'un facteur 20 pour la saison (de 20 à $1 \text{ kg}/10 \text{ m}^2$ sur 20 m^2), voire d'un facteur 100 pour un orage (19 juillet), principalement grâce à une limitation de la concentration en terre dans le ruissellement (fig. 1 et 2).

Ces couverts limitent également le ruissellement par rapport au sol nu (fig.3), mais la dégradation de la surface, avant qu'ils ne soient suffisamment développés (environ 50 % de recouvrement), réduit cet effet par rapport à celui observé pour la vesce. En effet, cette dernière implantée depuis deux ans limite efficacement à la fois le ruissellement et sa concentration en terre. De plus, il n'y a pas de remise à nu du sol.

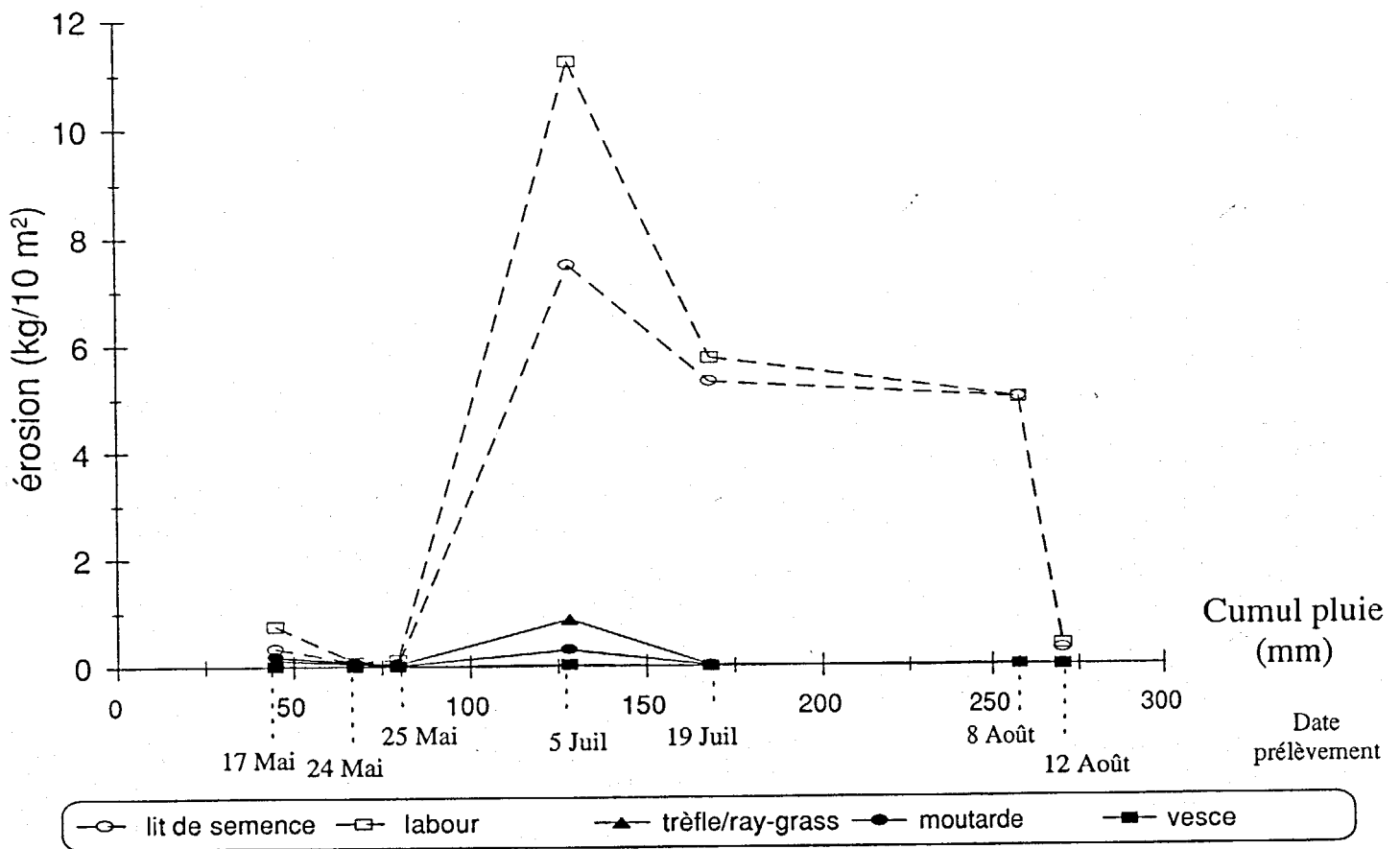


Figure 1 : Erosion calculée pour chaque traitement et chaque événement. Noter la très grande différence observée entre surfaces nues et surfaces couvertes à partir de Juillet.

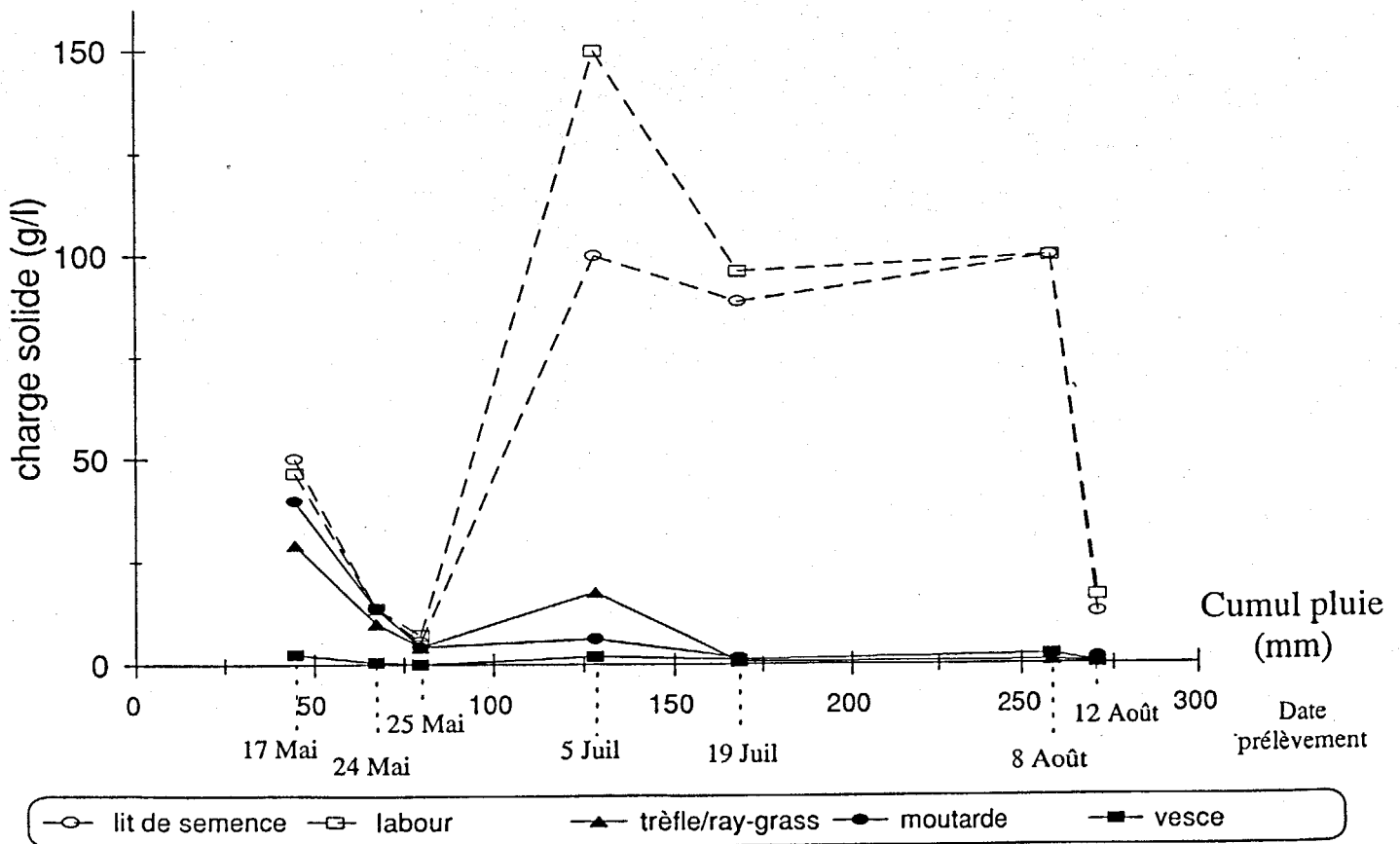


Figure 2 : Concentration en terre des ruissellement recueillis pour chaque traitement et chaque événement, représentée en fonction du cumul pluviométrique avant pluie.

A l'échelle de la parcelle, on peut raisonnablement admettre que sur la saison (3 mois environ), le bilan est à diviser par un *facteur 3*, ce qui donne sous couvert annuel un bilan de *0.3 t/ha* pour les trois mois de mesure.

-Bien que les résultats soient difficilement généralisables à l'année, compte tenu de la variabilité des pluies, on peut estimer que les couverts de composition ou de moutarde abaissent le bilan de l'érosion vers le seuil des *1 t/ha/an*, seuil au-delà duquel le problème est considéré comme étant grave. Pour la vesce, on obtient par le même calcul une perte de *0.1 t/ha* sur un an.

-Avec le labour, les pertes sont catastrophiques ; elles s'élèvent à environ *10 t/ha* sur les trois mois de mesure. Il s'agit là uniquement de pertes par érosion diffuse, dans le ruissellement en nappe.

Bien que la jachère couverte limite l'érosion sur la parcelle, le problème n'est pas pour autant réglé au niveau du bassin versant. Les couverts annuels n'annulant pas le volume du ruissellement, il existe un risque d'exportation d'eau d'une parcelle couverte, vers une parcelle non protégée (par exemple un chantier de récolte récent). Le ruissellement d'une parcelle amont peut participer à l'érosion d'une parcelle aval.

Par ailleurs le problème de la pollution des eaux superficielles par les substances chimiques dissoutes transportées subsiste avec le ruissellement. Si on peut négliger ce qui est adsorbé sur le peu de terre qui subsiste dans le ruissellement, on ne sait pas encore réellement quantifier ce qui est dissout dans les eaux et qui risque de participer à la concentration d'éléments toxiques (par leur nature ou leur quantité) dans les cours d'eau.

En matière de gestion des sols, nos résultats montrent que pour lutter contre l'érosion d'une parcelle, il est préférable de choisir la jachère fixe qui donne l'opportunité d'améliorer également la structure des sols.

BIBLIOGRAPHIE :

1. ITCF - La jachère mode d'emploi - Perspectives Agricoles 1992; 173.
2. Anonyme. La jachère en Languedoc-Roussillon, comment gèler intelligemment ? Séminaire du 11 Février 1994 - DAA Génie Agronomique, ENSA-Montpellier.
3. LATTANZI A.R., MEYER L.D., BAUMGARDNER M.F. Influences of mulch rate and slope steepness on interrill erosion. Soil Science Society of America Proc. 1974; 38 : 946-950.
4. BRANDT J. The effect of different types of forest management on the transformation of rainfall energy by the canopy in relation to soil erosion. Forest Hydrology and Watershed Management. Proceedings of the Vancouver symposium , Aug. 1987. IASH, publ. no 167.
5. DE PLOEY J. Stemflow and colluviation : modeling and implications. Pédologie 1984; 34 : 135-146.
6. BAYER L. D. Soil physics. Wiley , New York, N.Y., 3rd.ed. 1956; 489 p.
7. DUNNE T., ZHANG W., AUBRY B. F. Effects of rainfall, vegetation and microtopography on infiltration and runoff. Water resources Research 1991; 27(9) : 2271-2285.
8. FAUCK R. Gestion de la ressource en eau. Le problème de l'érosion des terres. Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France 1994; 80(5) : 3-14.
9. THEBE B Hydrodynamique de quelques sols du Nord Cameroun, bassins versants de Mouda, contribution à l'étude des transferts d'échelles. Thèse USTL Montpellier, 1987.
10. DUNNE T., BLACK P. An experimental investigation of runoff production in permeable soils. Water resources Research 1970; 6(2) : 478-480.
11. DUNNE T., BLACK P. Partial area contributions to storm runoff in a small New England watershed. Water Resources Research 1970; 6(5) : 1296-1311.
12. BOIFFIN J. La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse de Docteur Ingénieur, INA paris-grignon, 1984.
13. KRAMER A.L. Precipitation Characteristics from Variable, Hourly and Daily Data Bases. Transactions of the ASAE 1987; 30(6) : 1706-1712.

14. BOIFFIN J., SEBILLOTTE M. Climat, stabilité structurale et battance - Essai d'analyse d'un comportement du sol au champ. *Annales agronomiques* 1976; 27(4) : 447-463.
15. LE BISSONNAIS Y., RENAUX B., DELOUCHE H. Interactions between soil properties and moisture content in crust formation, runoff and interrill erosion from tilled loess soils, *Catena* 1995; .
16. LE BISSONNAIS Y. ET SINGER M.J. Crusting, runoff, and erosion response to soil water content and successive rainfalls. *Soil Science Society of American Journal* 1992; 56 :1898-1903.
17. OUVRY J.F. Bilan des travaux, campagne 1986-87. Association régionale pour l'étude et l'aménagement des sols. 153p+annexes.
18. SINGER M.J., MATSUDA Y., BLACKARD J. Effect of mulch rate on soil loss by raindrop splash. *Soil Science Society of America Journal* 1981; 45 : 107-110.
19. PROFFITT A.P.B., ROSE C.W., HAIRSINE P.B. Rainfall detachment and deposition : experiments with low slopes and significant water depths. *Soil Science Society of America Journal* 1991; 55 : 325-332

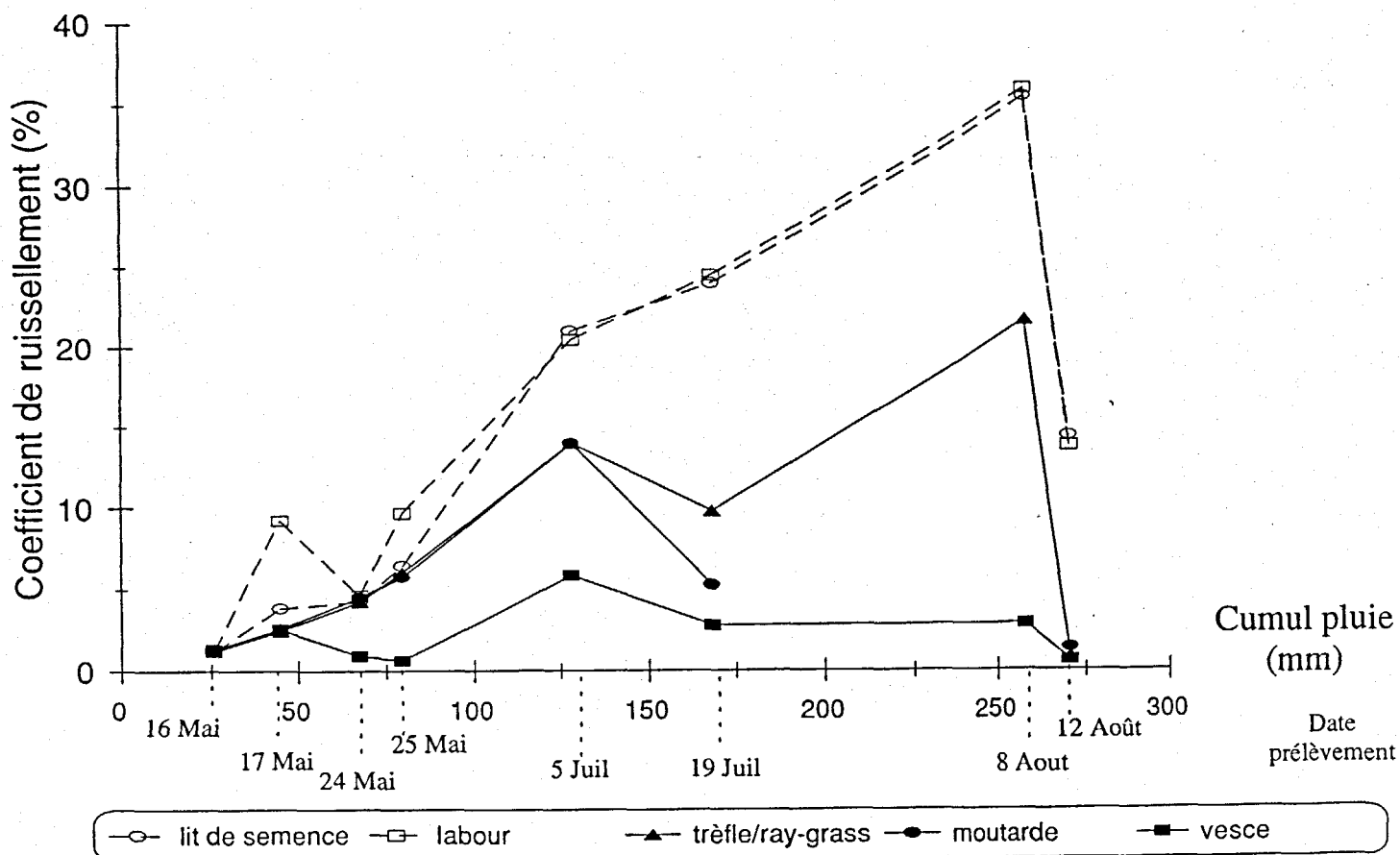


Figure 3 : Coefficients de ruissellement calculés pour chaque traitement et chaque date de prélèvement, et représentés en fonction du cumul pluviométrique.

Césium-137 et études environnementales - Exemple de l'érosion des sols

C. Bernard*, S. Wicherek** et M.R. Laverdière***

* MAPAQ, Service des Sols, 2700 rue Einstein, Sainte-Foy, Québec, G1P 3W8

** Centre de Biogéographie-Écologie, URA 1514 CNRS, Le Parc, 92211 Saint-Cloud

*** Université Laval, Département des Sols, Sainte-Foy, Québec, G1K 7

RESUME

Les techniques de mesure des isotopes dans les sols ont été développées aux USA en particulier par Ritchie & Mc Henry à partir des années 1970, puis ont été utilisées plus tard dans d'autres pays : Canada, Australie, Angleterre, Pologne.

Il s'avère que le Césium-137 s'impose comme l'un des meilleurs marqueurs de la dégradation des sols : sa durée de vie est de plus de 30 ans et grâce à un seul échantillonnage il nous permet d'évaluer l'érosion des sols. Actuellement des expériences utilisant cette méthode sont menées par les auteurs sur plusieurs sites au Québec et en France.

Il est prouvé que l'activité du Césium-137 dépend des données morphostructurales climatiques et également des couverts végétaux. Le lien direct entre les quantités de la pluviométrie et l'activité du Césium est évident. Ces études seront développées afin de déterminer l'impact de l'agriculture sur la qualité des sols et des eaux, en particulier à travers l'étude concernant les relations entre agrosystèmes et sylvosystèmes pour favoriser une agriculture durable et une meilleure gestion des espaces ruraux.

MOTS CLES

Bassin Parisien - Cs-137 - Eaux - Environnement - Erosion - Vallée du Saint-Laurent.

INTRODUCTION

L'érosion hydrique est une des causes essentielles de dégradation des sols agricoles. Ce phénomène contribue à réduire la productivité des sols affectés en plus de constituer une source majeure de pollution des eaux de surface en milieu agricole (ASAE 1985 ; Clark et al. 1985). Cependant, dans la plupart des pays, les gestionnaires des ressources sol et eau sont constamment confrontés à la rareté de données sur ce phénomène : son importance réelle, sa distribution géographique, les conditions topographiques et agronomiques les plus vulnérables, etc.

Les mesures en parcelles, pour répondre à ces interrogations, constituent une approche

longue et coûteuse. En effet, ces mesures doivent être poursuivies pendant plusieurs années, afin d'intégrer les fluctuations climatiques interannuelles. Le nombre de parcelles requises peut également devenir très important, si l'on désire estimer les risques d'érosion sous une variété de conditions édaphiques et agronomiques. De plus, dans les pays nordiques, l'érosion nivale résultant de la fonte de neige, doit être prise en considération, même si sa mesure est difficile à réaliser. Plusieurs auteurs remettent en question l'étude sur les parcelles d'expérimentation de quelques dizaines de m² concernant la validité des résultats (Mutchler et al. 1994 ; Roels 1985).

Dans ce contexte, l'utilisation de marqueurs persistants peut apparaître comme un complément essentiel aux méthodes conventionnelles (McHenry, 1968). Des divers isotopes qui ont été suggérés comme traceurs du processus d'érosion, le césium-137 s'avère particulièrement intéressant.

AVANTAGES DU Cs-137 COMME MARQUEUR D'ÉROSION

Le Cs-137 est un sous-produit des essais atomiques réalisés en haute atmosphère dans les années 1950 et 1960. La majeure partie des retombées s'est produite en 1963, avec un pic secondaire en 1959 (Figure 1). Les retombées de ces explosions, via les précipitations, ont constitué la principale source d'entrée du Cs-137 dans l'environnement terrestre. Comme la majeure partie des essais nucléaires a eu lieu dans l'hémisphère nord, les retombées y ont été beaucoup plus importantes que dans l'hémisphère sud (Figure 1). A l'échelle régionale, l'importance des retombées a été proportionnelle à celle des précipitations annuelles totales. La Figure 2 illustre cette relation pour l'Amérique du Nord. Une relation semblable a également été rapportée pour la Bavière (Bunzl et Kracke 1988) et la Nouvelle-Zélande (Basher et Matthews 1993). En Europe, l'accident survenu à la centrale de Chernobyl, en 1986, a introduit de nouvelles quantités de Cs-137. L'importance des ajouts est cependant très variable, en fonction des précipitations survenues dans les jours qui ont suivi cet accident (Anspaugh et al. 1988). Suite à l'étude de 16 sites situés au sud-est de Leuven, Van den Berghe et Gulinck (1987) ont ainsi estimé ce nouvel apport à 1530 Bq m⁻² en moyenne, soit 75% des niveaux mesurés avant Chernobyl. La Figure 3 illustre le niveau et la variabilité de ces retombées pour la France.

L'intérêt pour le Cs-137 comme indicateur des mouvements de sol tient à plusieurs éléments (Ritchie et McHenry 1990) :

- a) les retombées ont été universelles, si bien que cette technique peut être utilisée partout dans le monde, à des échelles spatiales variant de la parcelle au bassin versant ;
- b) la majeure partie des retombées datant du début des années 1960, la mesure du déplacement de cet isotope permet d'estimer des taux d'érosion à long terme, portant sur plus de 30 ans ;
- c) en raison de sa demi-vie de 30,2 ans, les quantités de Cs-137 encore présentes dans les sols sont aisément détectables et le demeureront pour plusieurs années ;
- d) une fois retombé au sol, le césium est fermement retenu par les particules de sol, n'étant à toute fin pratique ni lessivé, ni prélevé par les cultures. Sa redistribution spatiale dans l'environnement reflète donc les mouvements de sol ;
- e) les mesures de Cs-137 renseignent non seulement sur l'érosion nette, mais sur l'ensemble des mouvements de sol, leur importance relative et leur distribution spatiale dans le paysage ;
- f) un seul échantillonnage des sols de la zone étudiée est suffisant pour pouvoir y estimer l'ensemble des mouvements de sol en cours depuis plus de 30 ans.

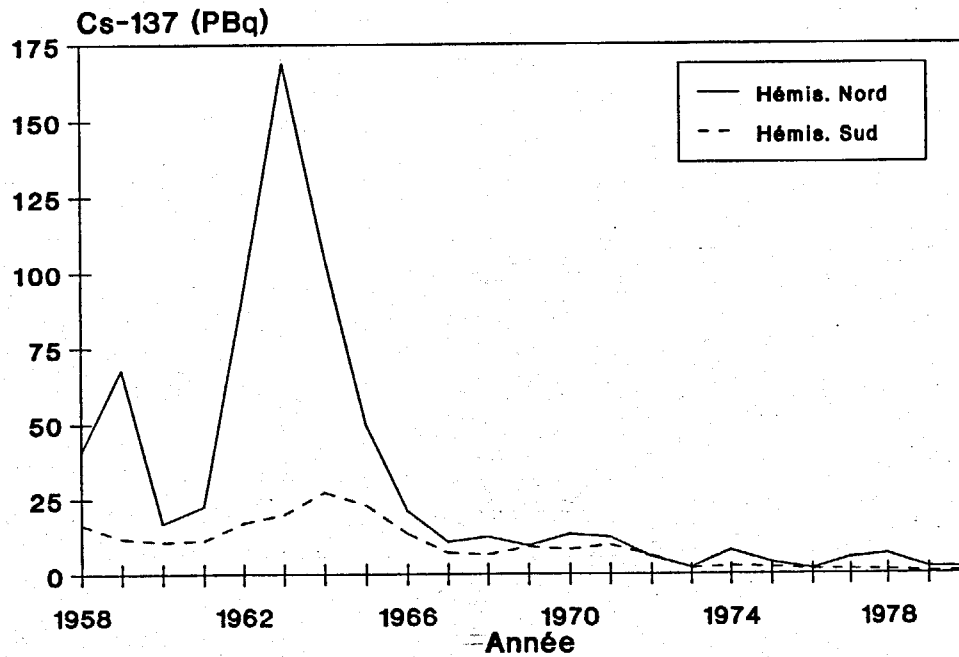


Figure 1. Retombées de Cs-137 dans les hémisphères nord et sud (UNSCEAR 1982).

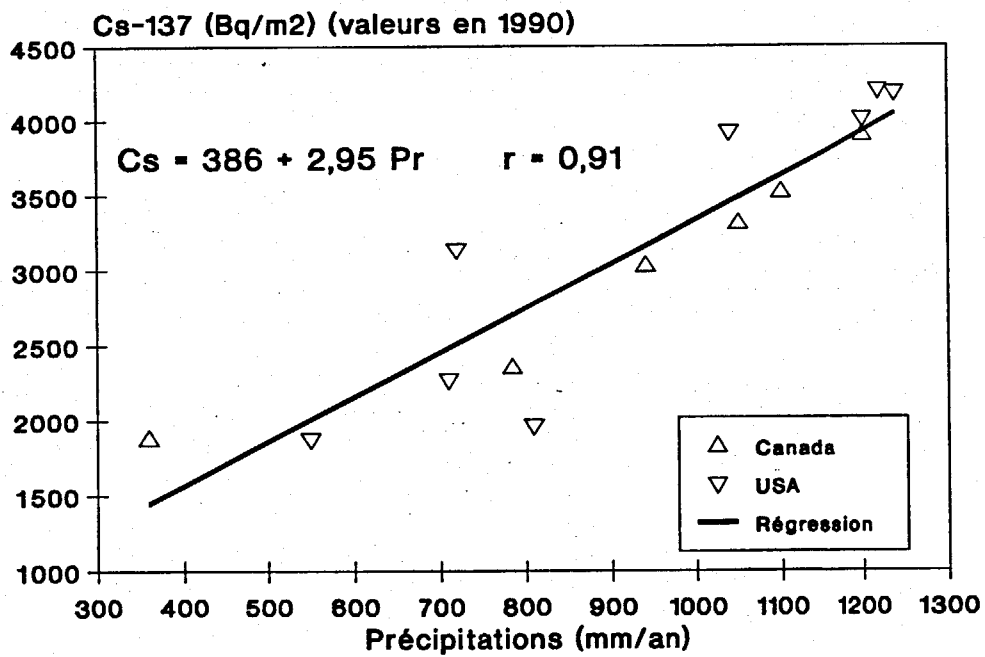


Figure 2. Teneur du sol en Cs-137 en fonction des précipitations annuelles, pour des sites non érodés

ESTIMATION DE L'EROSION A L'AIDE DU Cs-137

Dans un sol non perturbé, les retombées de Cs-137 sont normalement concentrées dans les premiers centimètres et diminuent de façon exponentielle avec la profondeur. Ceci confirme d'ailleurs la forte rétention de cet isotope par les sols. Le labour homogénéise la concentration en Cs-137 sur l'épaisseur de l'horizon cultivé (Figure 4). Lors de l'échantillonnage des sols, il faut donc veiller à échantillonner sur une profondeur suffisante pour estimer la totalité de Cs-137 présent au point de prélèvement.

L'importance des déplacements de sol est estimée en comparant l'activité spécifique d'un site en Cs-137 (Bq m^{-2}) à celle d'un site témoin, considéré comme non érodé (milieu forestier, vieille prairie). Plusieurs auteurs considèrent alors que la perte de sol subie par la couche labourée est directement proportionnelle à la réduction de l'activité spécifique du sol en Cs-137 :

$$E = [CL N^{-1}] * [1 - (T_n/T_o)] \quad (1)$$

où E : perte de sol ($\text{t ha}^{-1} \text{an}^{-1}$)

To : activité spécifique en Cs-137 du sol d'un site non-érodé (Bq m^{-2})

Tn : activité spécifique en Cs-137 du sol d'un site érodé (Bq m^{-2})

CL: poids de la couche de labour (t ha^{-1})

N : nombre d'années depuis le maximum de retombées (1963)

Cependant, la sélectivité du processus érosif se traduit par des sédiments enrichis en fractions fines, en nutriments ainsi qu'en césium (Bernard et al. 1992). D'autre part, le labour remplace graduellement le sol de surface entraîné par l'érosion par du sol provenant des horizons plus profonds. Ce dernier étant pauvre, sinon dépourvu, en Cs-137, il s'ensuit une baisse constante de la concentration du sol en Cs-137 dans la couche de labour. Une tonne de sol érodé en 1993 entraîne donc vraisemblablement moins de Cs-137 que la même tonne de sol perdue en 1963. Kachanoski (1993) a donc proposé une relation reliant perte de Cs-137 et perte de sol qui prend en considération ces deux éléments aux effets antagonistes :

$$E = CL R^{-1} [1 - (T_n/T_o)^{1/N}] \quad (2)$$

où R : rapport entre la teneur du sol érodé en Cs-137 et celle du sol en place.

L'utilisation de l'une ou l'autre des relations précédentes conduit à des estimations équivalentes jusqu'à une perte de 50 % des retombées de Cs-137, i.e. pour des taux d'érosion de $30 \text{ t ha}^{-1} \text{an}^{-1}$ environ. Au delà de ce seuil, la relation (2) produit des estimations de pertes de sol significativement plus élevées que la première. Ce point est sans doute l'aspect de la technique qui mérite d'être étudié plus précisément.

UTILISATION DU Cs-137 POUR LA MESURE DE L'EROSION

Les premiers travaux utilisant le Cs-137 comme indicateur des mouvements de sol ont été réalisés aux USA, dans les années 1960. Depuis, son usage s'est répandu dans le monde. Au cours des 10 ou 15 dernières années, de nombreuses études utilisant cette technique ont été réalisées en Amérique du Nord (Bernard et Laverdière 1992 ; Sutherland et De Jong 1990 ; Lance et al 1986 ; McHenry et Bubenzer 1985), en Europe (Froehlich et al. 1993 ; Wicherek et al. 1993 ; Wicherek et Bernard 1994 ; De Roo 1991 ; Quine et Walling 1991), en Océanie (Elliott et Cole-Clark 1993 ; Campbell et al. 1986) ainsi que, dans une moindre mesure, en Asie et en

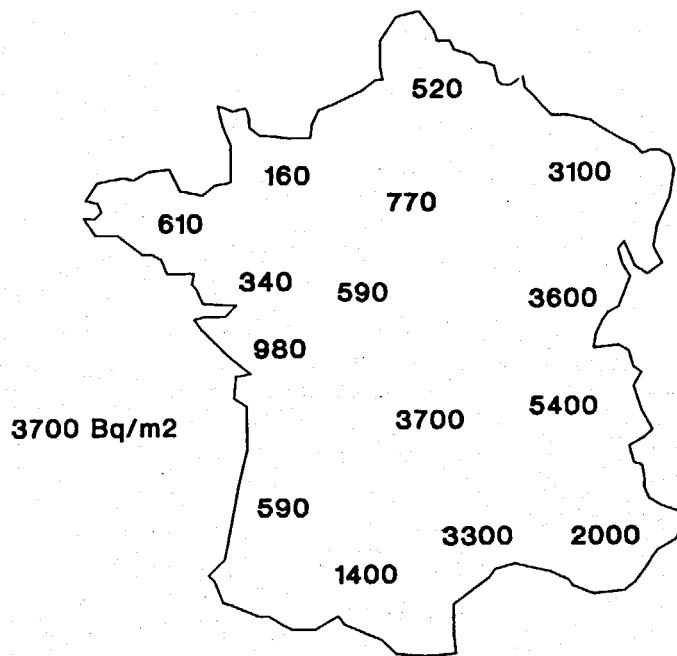


Figure 3. Retombées de Chernobyl en France (d'après Moroni et Pellerin 1987).

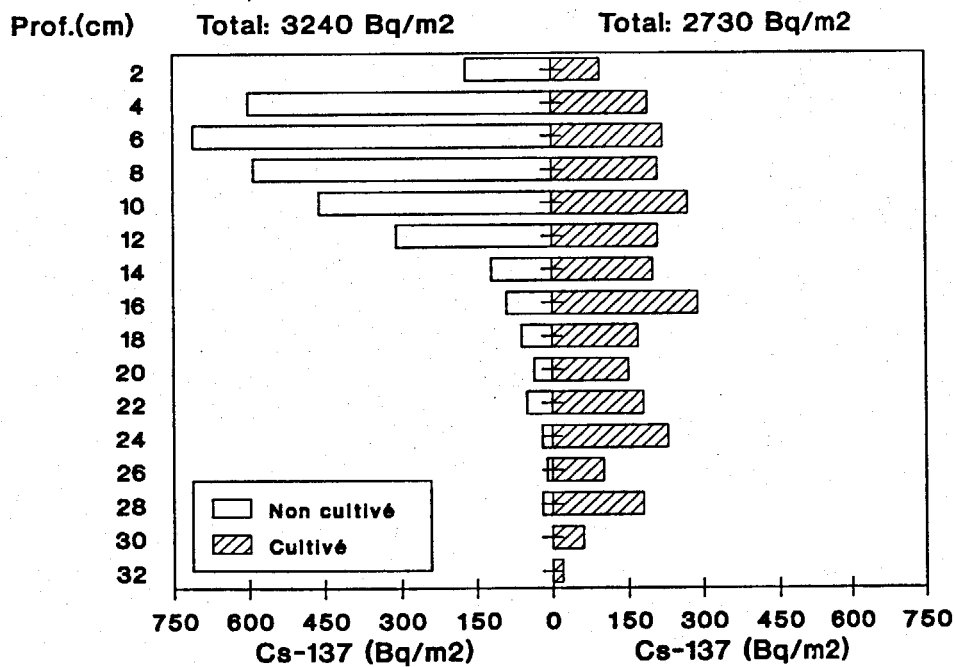


Figure 4. Distribution du Cs-137 dans le profil du sol (d'après Walling et al. 1986).

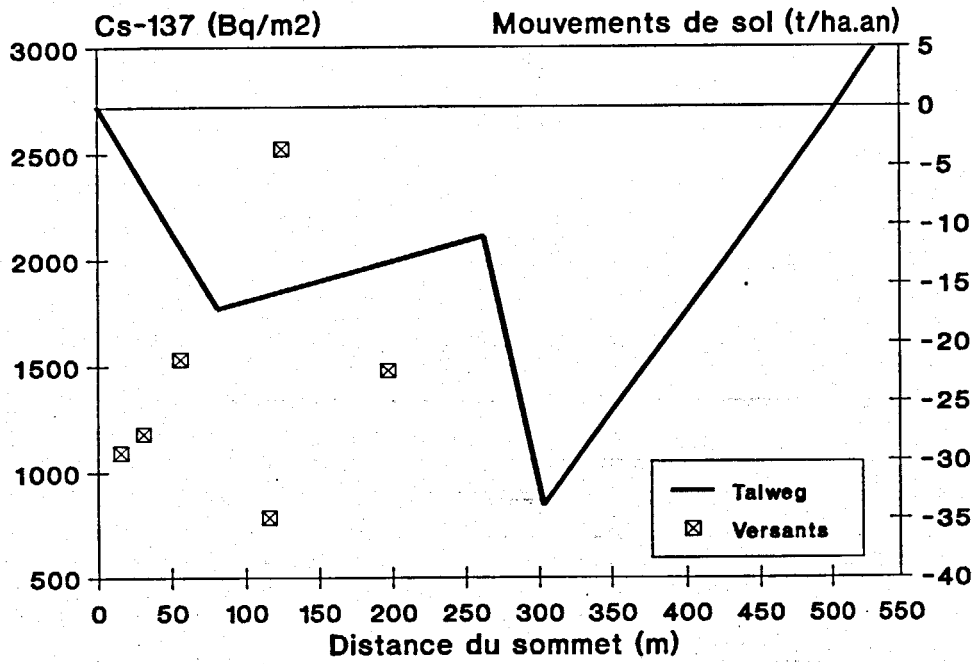


Figure 5. Activité du sol en Cs-137 dans le bassin versant d'Erlon (Wicherek et Bernard, 1994).

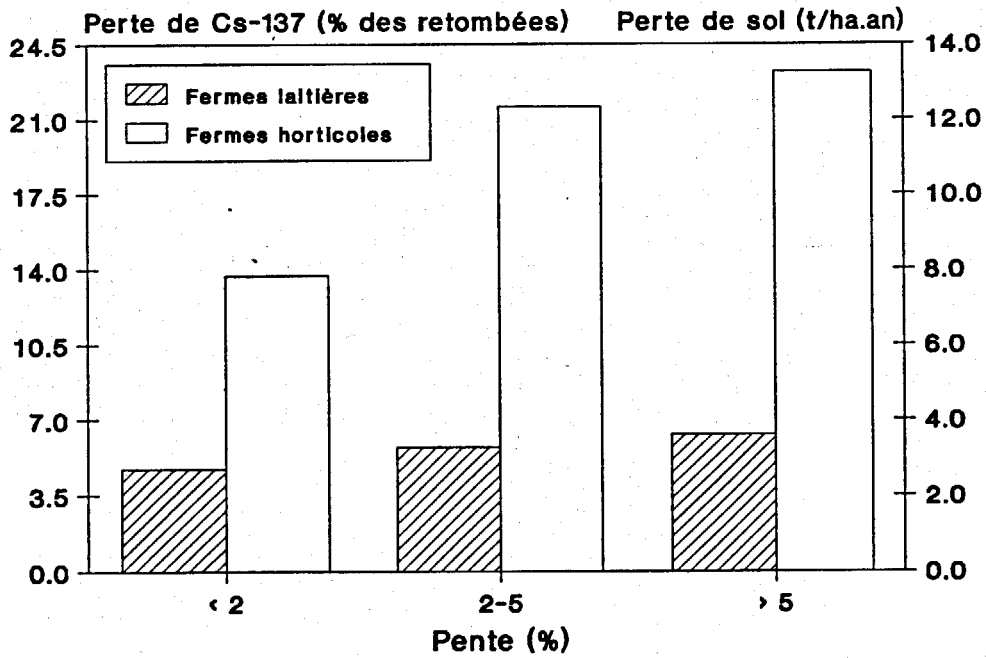


Figure 6. Pertes de sol, estimées à l'aide du Cs-137, en fonction de la pente et de l'usage du sol près de Québec (d'après Bernard 1992).

Afrique.

Ces diverses études ont été réalisées sur une vaste gamme de sols, de pentes, de cultures et de pratiques culturales. Bien que la plupart aient été conduites à l'échelle du champ, la taille de l'unité expérimentale a varié de la parcelle au bassin versant. La variété des conditions sous lesquelles elle a été utilisée démontre la certitude de cette technique.

Les auteurs ont eu recours au Cs-137 pour estimer les pertes de sol dans le bassin versant d'Erlon, d'une superficie de 28 ha (Wicherek et Bernard 1994). Les pertes de sol ainsi estimées ont pu être comparées à celles mesurées à l'exutoire du bassin pendant la période de 1989 à 1992 (Wicherek 1993). Les mesures de Cs-137 ont également permis d'étudier la distribution spatiale du risque érosif à l'intérieur des bassins, complétant ainsi de façon intéressante les relevés effectués à l'exutoire (Figure 5). Une seconde étude portant sur un bassin versant de la région de Vierzy est en cours de finalisation.

Une étude réalisée dans la région de Québec a permis de mettre en évidence l'influence de l'inclinaison de la pente et du type d'agriculture pratiquée sur l'importance des pertes de sol à long terme (Figure 6). Un petit bassin versant d'une superficie de 80 ha est également échantillonné de façon systématique suivant une maille de 25-30 m, en vue d'y étudier l'importance des mouvements de sol et leur relation avec la topographie et les pratiques culturales utilisées dans ce bassin.

UTILISATION DU Cs-137 POUR DES ETUDES ENVIRONNEMENTALES

Le Cs-137 peut également être utilisé dans le cadre d'études plus vastes portant sur le fonctionnement hydrologique des bassins versants, sur les impacts environnementaux des activités agricoles, etc.

Ritchie et McHenry (1978) ont ainsi rapporté une activité spécifique des sols en Cs-137 de 2775 Bq m⁻² dans les sols de bassins cultivés et de 3845 Bq m⁻² dans les sols des bassins non cultivés. Les sédiments lacustres des mêmes bassins présentaient des activités spécifiques de 25010 et 13505 Bq m⁻² respectivement. Ces résultats démontraient une activité érosive beaucoup plus intense dans les bassins cultivés. Pour sa part, Walling et al. (1986) ont utilisé le Cs-137 pour étudier les mouvements de sol globaux dans de petits bassins versants. Ils ont ainsi estimé que près de 50 % du sol érodé avait redéposé en bordures des champs et qu'à peine 3,5 % des charges de sédiments avaient franchi les limites du bassin étudié.

Les auteurs comptent entreprendre bientôt une étude sur le bassin versant des marais de La Souche, où le Cs-137 servira à suivre le cheminement du sol érodé, et des polluants qui y sont associés, depuis les champs en culture (à l'amont du bassin), jusqu'aux marais (à l'aval), en passant par le réseau hydrographique (position intermédiaire). Un projet similaire sera conduit parallèlement au Québec, afin de comparer l'intensité des processus impliqués, en France et au Québec.

CONCLUSION

En conclusion, l'étude de la redistribution spatiale du Cs-137 est une technique rapide et relativement économique, permettant d'évaluer l'importance des mouvements de sol en cours depuis plus de 30 ans sous diverses conditions agro-climatiques. Cette technique constitue ainsi un très intéressant complément aux mesures directes en parcelles ou en bassin versant, et permet au sens large du terme de mieux comprendre le déplacement des flux solides et liquides sur les unités spatiales concernées.

BIBLIOGRAPHIE

- American Society of Agricultural Engineers (ASAE). 1985. Erosion and soil productivity. Proceedings of the National Symposium on Erosion and Soil Productivity. New Orléans, Dec. 10-11 1984. ASAE Publ. 8-85. 289 p.
- Anspaugh, L.R., Catlin, R.J., Goldman, M. 1988. The global impact of the Chernobyl reactor accident. *Science* 242 : 1513-1519.
- Basher, L.R., Matthews, K.M. 1993. Relationship between ^{137}Cs in some undisturbed New Zealand soils and rainfall. *Austr. J. Soil Res.* 31 : 655-663.
- Bernard, C. 1992. Etude de l'érosion des sols de l'île d'Orléans à l'aide du césium-137. Thèse de Doctorat, Université Laval, Québec. 135 p.
- Bernard, C., Laverdière, M.R. 1992. Spatial redistribution of Cs-137 and soil erosion on Orléans Island, Québec. *Can. J. Soil Sci.* 72 : 543-554.
- Bernard, C., Laverdière, M.R., Pesant, A.R. 1992. Variabilité de la relation entre les pertes de césium et de sol par érosion hydrique. *Geoderma* 52 : 265-277.
- Bunzl, K., Kracke, W. 1988. Cumulative deposition of ^{137}Cs , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ and ^{241}Am from global fallout in soils from forest, grassland and arable land in Bavaria (FRG). *J. Environ. Radioactiv.* 8 : 1-14.
- Campbell, B.L., Loughran, R.J., Elliott, G.L., Shelly, D.J. 1986. Mapping drainage basin sediment sources using caesium-137. Pages 437-446 In *Drainage Basin Sediment Delivery* Publ. 159. International Association of Hydrological Sciences. Wallingford, England.
- Clark, E.H., Haverkamp, J.A., Chapman, W. 1985. Eroding soils. The off-farm impacts. The Conservation Foundation, Washington, D.C. 252 p.
- De Roo, A.P.J. 1991. The use of ^{137}Cs as a tracer in an erosion study in South-Limburg (The Netherlands) and the influence of Chernobyl fallouts. *Hydrol. Process.* 5 : 215-227.
- Elliott, G.L., Cole-Clark, B.E. 1993. Estimates of erosion on potato lands on krasnozems at Dorrigo, N.S.W., using the caesium-137 technique. *Aust. J. Soil Res.* 31 : 209-223.
- Froehlich, W., Walling, D.E., Higgitt, D.L. 1993. The use of caesium-137 to investigate soil erosion and sediment delivery from cultivated slopes in the Polish Carpathians. Pages 271-283 In *Farm land erosion in temperate plains environment and hills*. S. Wicherek ed. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Kachanoski, R.G. 1993. Estimating soil loss from changes in soil cesium-137. *Can. J. Soil Sci.* 73 : 629-632.
- Lance, J.C., McIntyre, S.C., Naney, J.W., Rousseva, S.S. 1986. Measuring sediment movement at low erosion rates using cesium-137. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50 : 1303-1309.
- McHenry, J.R. 1968. Use of tracer technique in soil erosion research. *Trans. ASAE* 11 : 619-625.
- McHenry, J.R., Bubenzer, G.D. 1985. Field erosion estimated from ^{137}Cs activity measurements. *Trans. ASAE* 28 : 480-483.
- Moroni, J.P., Pellerin, P. 1987. Contamination radioactive des produits alimentaires et santé publique. Pages 72-84 In *Actes du Groupe de réflexion sur la contamination radioactive de la chaîne alimentaire*. 11 Juin 1987, Paris, France.
- Mutchler, C.K., Murphee, C.E., McGregor, K.C. 1994. Laboratory and field plots for erosion studies. Pages

- 11-37 In *Soil erosion research methods*. 2nd edition. R. Lal ed. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, Iowa.
- Quine, T.A., Walling, D.E. 1991. Rates of soil erosion on arable fields in Britain: quantitative data from caesium-137 measurements. *Soil Use Managem.* 7 : 169-176.
- Ritchie, J.C., McHenry, J.R. 1990. Application of radioactive fallout cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns : A review. *J. Environ. Qual.* 19 : 215-233.
- Ritchie, J.C., McHenry, J.R. 1978. Fallout cesium-137 in cultivated and noncultivated north central United States watersheds. *J. Environ. Qual.* 7 : 40-44.
- Roels, J.M. 1985. Estimation of soil loss at a regional scale based on plot measurements some critical considerations. *Earth Surf. Proc. Landforms* 10 : 587-595.
- Sutherland, R.A., De Jong, E. 1990. Estimation of sediment redistribution within agricultural fields using caesium-137, Crystal Springs, Saskatchewan, Canada. *Applied Geogr.* 10 : 205-221.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). 1982. Ionizing radiation-sources and biological effects. United Nations, N.Y.
- Vanden Berghe, I., Gulinck, H. 1987. Fallout ^{137}Cs as a tracer for soil mobility in the landscape framework of the Belgian loamy region. *Pedologie.* 37 : 5-20.
- Walling, D.E., Bradley, S.B., Wilkinson, C.J. 1986. A caesium-137 budget approach to the investigation of sediment delivery from a small agricultural drainage basin in Devon, UK. Pages 423-435 In *Drainage Basin Sediment Delivery* Publ. 159. International Association of Hydrological Sciences. Wallingford, England.
- Wicherek, S. 1993. Impact of agriculture on soil degradation: modelisation at the watershed scale for a spatial management and development. Pages 137-153 In *Farm land erosion in temperate plains environment and hills*. S. Wicherek ed. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Wicherek, S., Veyret, Y., Bernard, C. 1993. L'utilisation du césium-137 pour la connaissance de la dégradation du sol. *Mém. Soc. géol. Fr.* 162 : 261-268.
- Wicherek, S., Bernard, Cl. 1994. Assessment of soil movements in a watershed from Cs-137 data and conventional measurements (ex : the Parisian Basin). *Catena* (sous presse).

RUISSELLEMENT ET EROSION DU SOL DANS LES VIGNES DU DOURO - PORTUGAL

MANUEL OLIVEIRA

UTAD - FITOTECNIA 5000 VILA REAL - PORTUGAL
E-Mail: M_OLIVEIRA@UTAD.UTAD3.PT

RESUME

Les plantations de vigne les plus récentes, dans la région du Douro (Portugal), occupent soit des banquettes de 4 mètres de large soit des pentes élevées (ce système est connu également comme " système allemand"). C'est un système récent dans cette zone. Il est donc difficile d'évaluer les pertes en terre ainsi que l'altération des régimes hydriques des sols.

Dans un endroit situé approximativement dans le centre du cours du fleuve Douro, dans la région de Cima-Corgo, en territoire portugais, des parcelles expérimentales d'érosion ont été installées. Celles-ci occupent des terres en pente, où les deux systèmes de plantation, c'est-à-dire avec ou sans banquettes, sont représentés. L'eau de ruissellement et les sédiments transportés ont été recueillis et mesurés. La fraction soluble de phosphore et de potasse a été déterminée, dans le ruissellement superficiel. Une station météorologique locale fournit les informations nécessaires en ce qui concerne les précipitations.

Les résultats qui ont été obtenus par chaque système de plantation ont été analysés et ont été comparés afin de mieux évaluer les conséquences de l'implantation , à grande échelle, de la vigne sur des pentes assez fortes.

Tout au long de l'expérience, quoique les quantités de ruissellement superficiel mesurées furent importantes, l'érosion a été faible. D'autre part, en ce qui concerne les banquettes, le ruissellement ainsi que les charges ont été soit insignifiants, soit inexistant, indépendamment de la quantité et de l'intensité des précipitations..

SUMMARY

Recent vineyard plantations in the Demarcated Region of Douro (Portugal) are either on 4 meter wide bench terraces or on straight down the slope rows (also known as the German system). The later system is recent to the Region and little is known about its influence upon soil loss and upon modification of soil water regime.

On a slope located about the midcourse, in Portuguese soil, in the sub-Region called Cima-Corgo, we set up erosion experimental plots where both plantation systems are side by side. We collected the run-off and the transported sediments, and measured the amounts of soluble P and K present in the run-off. A local meteorological station rendered the required information on rainfall.

The results are presented and discussed. We draw a comparison between both plantation systems and we discuss the implications of a larger scale implementation of vineyard plantation on straight down the slope rows.

For the actual duration of the experiment, the down the slope system yielded a significant amount of run-off but few sediments were carried away. On other hand, the bench terraces yielded either little or none at all run-off and sediments, regardless the total rainfall or its intensity.

INTRODUCTION

Les facteurs qui influent sur la quantité de matériel érodé des sols agricoles sont analysés dans l'équation de perte en sol (HUDSON, 1971; HAYES, 1977). Il est

largement reconnu que les quantités de ruissellement superficiel et celles d'infiltration d'eau des précipitations dans le sol sont complémentaires. On sait aussi que l'érosion est responsable de la réduction de la fertilité des sols.

Les plantations de vigne, dans la région du Douro, changent profondément en fonction des caractéristiques du sol, de la longueur ainsi que la déclivité des pentes, mais aussi par suite de la nature de la couverture végétale du sol. Ce sont des facteurs que l'on retrouve dans l'équation de perte en sol. Dans le cas de construction de banquettes, le rôle des facteurs tels que la longueur et la déclivité de la pente reste modeste.

Dans ce travail, nous nous proposons les objectifs suivants:

- 1) Déterminer la quantité de ruissellement superficiel et de sédiments transportés, sur des surfaces égales de vigne cultivées en banquette et en pente,
- 2) Évaluer la répartition des précipitations entre ruissellement et infiltration,
- 3) Mesurer les pertes en éléments nutritifs, surtout en phosphore et en potasse solubles qui partent par ruissellement superficiel.

A) MATÉRIAUX ET MÉTHODES:

Nous avons installé le champ expérimental approximativement au milieu d'une pente, de 25 % à peu près, exposée à 63° Nord et dont la base se trouve en face du fleuve, à 200 mètres d'altitude.

Le sol présente des altérations anthropiques, caractéristiques de la plantation de la vigne dans cette Région. C'est un *Anthrosol de mélange eutrique* (COBA, 1989), d'après la classification des sols.

Quelques-unes de ses caractéristiques sont mentionnées au tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques physiques et chimiques de ce sol. S.Luiz.

| | PROFONDEUR (cm) | | | |
|--|-----------------|-------|-------|--------|
| | 0-20 | 20-40 | 40-60 | 60-100 |
| Éléments grossiers. (%) | 52 | 63 | 66 | 72 |
| Sable grossier. (%) | 14.4 | 6.3 | 6.6 | 8.1 |
| Sable fin. (%) | 61.2 | 62.4 | 56.4 | 57.1 |
| Limon. (%) | 17.3 | 24.6 | 21.5 | 27.3 |
| Argile. (%) | 7.1 | 6.7 | 15.5 | 7.5 |
| Matière organique. (%) | 0.94 | 0.26 | <0.1 | <0.1 |
| P mg kg ⁻¹ . | 305.9 | 17.5 | 2.4 | * |
| K mg kg ⁻¹ . | 172.6 | 166 | 43.2 | * |
| Base d'échange cmol kg ⁻¹ . | | | | |
| Ca ⁺⁺ . | 2.65 | 2.55 | 0.74 | * |
| Mg ⁺⁺ . | 0.77 | 0.52 | 0.49 | * |
| K ⁺ . | 0.35 | 0.11 | 0.05 | * |
| Na ⁺ . | 0.10 | 0.11 | 0.10 | * |
| CTC cmol kg ⁻¹ . | 4.05 | 3.37 | 2.41 | * |
| Degré de saturation. (%) | 97.3 | 92.06 | 58.23 | * |
| pH (H ₂ O). | 6.3 | 5.8 | 5.3 | * |

* pas disponible.

Grâce à l'emploi de structures métalliques amovibles, des parcelles de terrain cultivées en vigne sur des pentes et des banquettes de quatre mètres de large ont été délimitées, dont les projections horizontales ont des surfaces égales à $9m^2$. La superficie qui est ainsi circonscrite sur les banquettes comprend le pallier et le talus dans une même unité.

L'eau de ruissellement superficiel est récupérée dans une pièce en entonnoir qui se communique avec un réservoir. Périodiquement, l'eau et les sédiments sont recueillis et quantifiés, respectivement, par volume et par poids.

La détermination de la fraction soluble de phosphore et de potasse est faite à partir d'échantillons de ruissellement, par colorimétrie et par spectrométrie d'absorption atomique.

Les valeurs des précipitations et de leur intensité, pour la même période de recueillement sont enregistrées dans une station météorologique automatique, qui a été installée à cet endroit.

La teneur volumétrique de l'eau dans le sol est déterminée grâce à une sonde à neutrons.

B) RÉSULTATS ET DÉBAT:

Les résultats obtenus sont présentés sur les tableaux 2, 3 et 4, qui concernent les sols avec des banquettes et des pentes cultivées avec de la vigne.

Tableau 2 - Plantation en banquette de 4 mètres. S.Luiz 1994

| Date | Eau dans le sol (vol.) | | Précipitation | | Ruissel. lm^{-2} |
|----------------|------------------------|--------|--------------------|---------------------|-----------------------|
| | 15 cm prof. | Profil | Total lm^{-2} | Intensité lh^{-1} | |
| Fev. 11-17 | 0.27 | 0.35 | 24.0 | 1.97 | 0 |
| Fev. 18-24 | 0.27 | 0.35 | 23.2 | 2.18 | 0 |
| Fev. 25-Mar. 2 | 0.26 | 0.34 | 11.4 | 1.63 | 0 |
| Mar. 24-30 | 0.21 | 0.30 | 1.2 | 1.44 | 0 |
| Avr. 21-27 | 0.23 | 0.30 | 30.2 | 2.08 | 0 |
| Mai. 6-11 | 0.22 | 0.32 | 10.6 | 2.89 | 0 |
| Mai. 12-18 | 0.26 | 0.32 | 46.4 | 2.36 | 0 |
| Mai. 19-25 | 0.26 | 0.34 | 38.6 | 1.84 | 0 |

Tableau 3 - Plantations de vigne sur des pente. S.Luiz 1994.

| Date | Eau dans le sol (vol) | | Précipitation | | Ruisselle-ment lm^{-2} | Sédi-ments gm^{-2} | Solubles $mg\ kg^{-1}$ | |
|--------------------|-----------------------|--------|--------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------|-------|
| | 15 cm prof. | Profil | Total lm^{-2} | Inten. lh^{-1} | | | P | K |
| Fev. 11-17 | 0.33 | 0.38 | 24.0 | 1.97 | 0.020 | <0.010 | <0.010 | <1.00 |
| Fev. 18-24 | 0.32 | 0.38 | 23.2 | 2.18 | 0.024 | <0.010 | <0.010 | <1.00 |
| Fev. 25- Mar. 2 | 0.31 | 0.37 | 11.4 | 1.63 | 0.107 | 0.511 | 0.022 | 3.00 |
| Mar. 24-30 | 0.27 | 0.33 | 1.2 | 1.44 | 0.101 | 0.067 | 0.022 | 2.92 |

434(2)

| | | | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|
| Avr.21-27 | 0.28 | 0.34 | 30.2 | 2.08 | 0.250 | 1.567 | 0.031 | 3.42 |
| Mai. 6-11 | 0.29 | 0.32 | 10.6 | 2.89 | 0.161 | 0.389 | 0.052 | 3.49 |
| Mai.12-18 | 0.32 | 0.35 | 46.4 | 2.36 | 0.549 | 2.900 | 0.052 | 4.15 |
| Mai.19-25 | 0.31 | 0.37 | 38.6 | 1.84 | 0.633 | 0.178 | 0.092 | 2.82 |

Tableau 4 - Ruissellement superficiel par rapport aux précipitations totales.
(Vigne sur pente.) S.Luiz 1994

| Date | (1) Précipitation totale $\text{lm}^{-\leq}$ | (2) Ruissellement $\text{lm}^{-\leq}$ | (2)/(1) x 100 |
|------------------|---|--|---------------|
| Fev.11-17 | 24.0 | 0.020 | 0.08 |
| Fev.18-24 | 23.2 | 0.024 | 0.10 |
| Fev.25- Mar.2 | 11.4 | 0.107 | 0.94 |
| Mar.24-30 | 1.2 | 0.101 | 8.42 |
| Avr.21-27 | 30.2 | 0.250 | 0.83 |
| Mai. 6-11 | 10.6 | 0.161 | 1.52 |
| Mai.2-18 | 46.4 | 0.549 | 1.18 |
| Mai.9-25 | 38.6 | 0.633 | 1.64 |

L'observation la plus intéressante, qui doit être soulignée dans cette expérience, consiste dans l'absence presque totale de ruissellement superficiel, et donc de sédiments transportés, sur les parcelles de vigne protégées par des banquettes. Les données prouvent que l'érosion laminaire ne se vérifie pas ou qu'elle possède des valeurs trop modestes pour être prises en compte dans les mesures..

Dans les vignes installées sur des pentes, les quantités de ruissellement et celles de transports de sédiment sont petites. On a vérifié que la valeur relative du ruissellement qui est la plus élevée atteint seulement 8.5% par rapport au volume total des précipitations pendant la période correspondante du 21 au 27 Avril. Les autres valeurs relatives ont toutes été inférieures à 1.7%. Le transport de sédiments, pendant cette même période de mesures, a été inférieur à 60 kg par hectare de la fraction fine du sol. On a pu vérifier d'ailleurs une absence totale de la fraction sableuse.

Les pertes en phosphore et en potasse solubles ont été, respectivement, de 0.1% et de 11.5% des éléments nutritifs que l'on trouve dans les vingt premiers centimètres du sol.

Les quantités de ruissellement superficiel et de sédiments transportés sont négligeables et sont nettement en deçà des valeurs vérifiées sur d'autres sols agricoles (EVANS e KALKANIS, 1977; HAYES, 1977; GRAY e LEISER, 1982).

Les pertes de potasse soluble sont relativement élevées en fonction des disponibilités dans le sol. Dans la vigne sur pente, cela pourrait être un facteur d'appauvrissement de la fertilité du sol.

Les valeurs concernant le ruissellement et le transport sont en relation avec la nature du sol et avec les techniques de plantation de la vigne.

L'eau s'infiltré en grandes quantités parce que le sol est trop pierreux, ce qui ne permet pas au ruissellement d'atteindre une énergie cinétique élevée. L'absence de sable dans les sédiments recueillis est l'une des preuves attestant ce phénomène.

La construction des banquettes n'altère pas, significativement, la nature du sol. Elle modifie quand même, la physiographie de la pente. Le plan supérieur du pallier ne donne pas naissance au ruissellement. Le talus présente une très petite surface d'exposition aux précipitations, raison pour laquelle il n'y a pas d'eau suffisante pour produire un ruissellement mesurable dans les conditions de l'expérience.

Les observations présentées suggèrent que la plantation de la vigne sur pente est une forme admissible d'exploitation du sol. Cependant, on ne peut pas conclure que les surfaces adjacentes aux vignes ne subiront pas d'effets contraires si les vignes sur pente occupent une grande proportion de la surface agricole. En relation aux banquettes, dans la vigne en pente on obtient des quantités appréciables de sédiments et de substances solubles qui parviendront aux cours d'eau les plus proches et dans les lagunes.

Les valeurs expérimentales présentées oublient d'autres formes d'érosion hydrique (rigoles et ravines) qui peuvent, dans certaines circonstances, provoquer de graves pertes du sol.

CONCLUSION

Les résultats expérimentaux obtenus suggèrent les conclusions suivantes:

- a) Dans les banquettes, le ruissellement superficiel est réduit ou peut-être nul,
- b) La nature du sol, très filtrant, permet l'installation de vignes en pente,
- c) néanmoins, lorsque les effets du ruissellement se manifestent, les pertes de fertilité dans la vigne en pente, par entraînement de substances solubles dans l'eau, peuvent être significatives, en particulier pour la potasse, raison pour laquelle il est nécessaire de prendre en compte ce phénomène lorsqu'on fertilise.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été possible grâce à l'incalculable collaboration de la société BARROS & ALMEIDA, Eng. Manso, ADVID, Eng. Fernando Alves, UTAD, particulièrement son laboratoire de chimie, Prof. Dr. Féria Seita et Dr. Manuela Pessegueiro.

RÉFÉRENCES

COBA (1987). CARTA DE SOLOS E CARTA DE UTILIZAÇÃO ACTUAL DO SOLO DO NORDESTE DE PORTUGAL. UTAD, Vila Real, 235 pp.

EVANS, W.R.; KALKANIS, G. (1977). Use of the universal soil loss equation in California. *in* SOIL EROSION: PREDICTION AND CONTROL. The proceedings of A National Conference on Soil Erosion, May 24-26, 1976 Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA. p.31-40.

GRAY, D.H.; LEISER, A.T. (1982). BIOTECHNICAL SLOPE PROTECTION AND EROSION CONTROL. Van Nostrand Reinhold Co. N. York. 271 pp.

HAYES, W.A. (1977). Estimating water erosion in the field. *in* SOIL EROSION: PREDICTION AND CONTROL. The proceedings of A National Conference on Soil Erosion, May 24-26, 1976 Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA. p.6-11.

HUDSON, N. (1971). SOIL CONSERVATION. Cornell University Press, Ithaca. 320 pp.

Réduction de l'érosion hydrique d'un sol viticole champenois
Conséquences de couvertures de composts urbains et d'écorces broyées
Dispositif de Moussy (51). 1985-1994

Jean Louis BALLIF . I.N.R.A. Station d' Agronomie, route de Montmirail, 51000 - Fagnières .

Résumé. Le vignoble champenois, situé en coteaux, est actuellement en majeure partie conduit sans travail du sol (90 % des 26000 ha), avec désherbage chimique et apports éventuels de composts divers. A Moussy (51), près d'Epernay, un dispositif expérimental est en place depuis 1985, dans une vigne en sol brun-calcaire. Les inter-rangs sont recouverts ou non de compost urbain (150 t/ha) ou d'écorces broyées (150 m³/ha). Les apports sont renouvelés tous les trois ans (1985-1988-1991-1994). Réalisées sur des parcelles de 30 mètres de longueur, un mètre de large et une pente de 34 %, les mesures mettent en évidence les réductions du ruissellement. L'érosion hydrique s'est surtout manifestée au cours de trois campagnes : en 1988, 1989 et 1992 où, en cas de pluies intenses de 10 à 60 mm/h, les quantités de terre érodée ont varié de 6145 à 8100 kg/ha en sol nu, de 11 à 83 kg/ha en sol couvert de compost urbain et de 6 à 37 kg/ha en sol couvert d'écorces broyées. Lors de ces pluies, en sol nu, le taux de ruissellement varie de 10 à 33 %. Après huit années de mesures, l'érosion annuelle entraîne une perte moyenne de 1,9 t/ha. 75 % de cette érosion est due à moins de 20 % des précipitations annuelles. En sol couvert de compost urbain, la teneur annuelle moyenne en azote minéral des eaux de ruissellement, est trois fois plus élevée, 30 mg N/l, soit 133 mg NO₃⁻/l, que celle en sol couvert d'écorces broyées; la teneur annuelle moyenne en azote minéral des eaux d'infiltration est deux fois plus élevée (19 mg N/l, soit 84 mg NO₃⁻/l), que celle des eaux en sol couvert d'écorces broyées et trois fois plus élevée que celle en sol nu. Le déplacement du cadmium et du cuivre s'effectue essentiellement sur les terres érodées. Les pertes totales par l'érosion hydrique, en sol nu avec passages fréquents, sont de 15 g/ha en cadmium et de 2 kg/ha en cuivre. En sols couverts de compost urbain et d'écorces, elles sont respectivement de 1,9 et 0,5 g/ha en cadmium et de 40 et 16 g/ha de cuivre.

Mots clés : érosion hydrique, vignoble, Champagne, azote minéral, cadmium, cuivre.

Introduction

Comme bien d'autres en Europe et dans le monde, le vignoble champenois est installé sur des coteaux, dont les pentes sont parfois très prononcées de 10 à 35 %. Depuis quelques décennies, ce phénomène s'est accentué avec l'occupation quasi générale du sol par la vigne et les modifications récentes des techniques culturales motorisées. Cette motorisation, qui a par ailleurs changé les aspects socio-économiques du vignoble, provoque des modifications durables de l'état structural du sol et augmente le ruissellement. L'agrandissement des parcelles, la disparition des haies, des friches et des vergers enherbés sont considérés comme des causes majeures de l'aggravation de ce ruissellement. Pour cette raison, certains viticulteurs ont pris l'habitude d'apporter, dans les inter-rangs, 100 à 150 t/ha de composts divers tous les trois ans. Cette pratique tend à diminuer le ruissellement et par conséquent à réduire l'érosion.

- Situation du vignoble et manifestation du ruissellement.

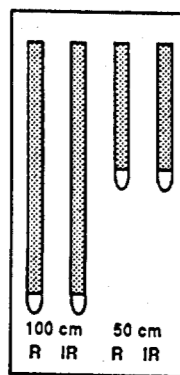
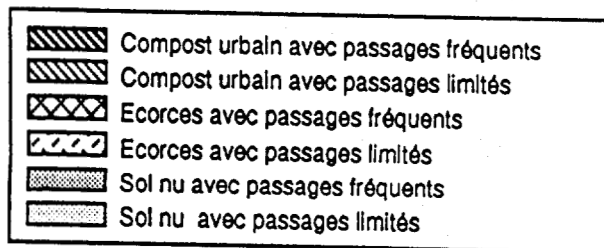
Le vignoble champenois s'étend essentiellement sur les côtes tertiaires (Vallée de la Marne, Côte des Blancs, Montagne de Reims, sur ces deux dernières, le Crétacé affleure en bas des côtes) et sur le Kimmeridgien (Côte des Bars). Le sommet de ces côtes est occupé par la forêt, en milieu et en bas s'étend la vigne et dans la plaine les grandes cultures. Dans cette région, le climat est semi-océanique avec des influences continentales. Les précipitations annuelles moyennes sont de 675 mm à Epernay (1930-1990), avec un minimum en février, des orages en été et un maximum en automne. Sur les coteaux, les pluies d'orages provoquent d'importants ruissellements tant sur les chemins que sur les parcelles. Actuellement le vignoble de 26000 ha est exploité à environ 90 % en "non culture" sans travail du sol, avec désherbage chimique et utilisation éventuelle de composts divers en couverture. Cette technique nécessite seize à vingt passages annuels de tracteurs enjambeurs (BALLIF, 1989).

Afin de mettre en évidence les modifications structurales et de mesurer la quantité et la qualité des eaux de ruissellement issues de rangs de vigne, des dispositifs de mesures ont été mis en place par la Station d'Agronomie de Châlons sur Marne à Ecueil et au Fort-Chabrol en 1981. Ils ont été interrompus en 1984. Celui de Moussy a été installé dans la vallée du Cubry, au sud-est d'Epernay (51), en avril 1985 (BALLIF, MONCOMBLE 1986- BALLIF, HERRE 1988). L'ensemble des données recueillies sur les dispositifs de mesures, permet d'examiner l'influence des types de pluies sur le ruissellement et l'érosion, les effets des passages de roues (BALLIF et al, 1987) et ceux de couvertures de compost urbain et d'écorces broyées (BALLIF et al, 1991) en particulier les conséquences de la couverture de composts urbains sur les teneurs en azote minéral des eaux ruisselées et infiltrées, et sur celles en cuivre et en cadmium du sol et des eaux ruisselées (BALLIF, 1993).

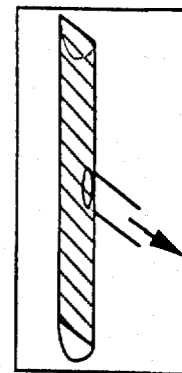
- Le site de mesures de l'érosion hydrique à Moussy.

Le dispositif de Moussy (figure 1), près d'Epernay (51), a été installé dans une parcelle de

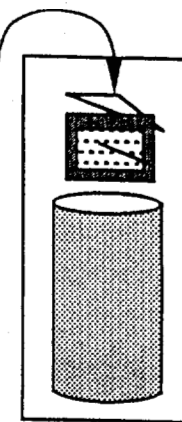
Pente de 34 %, parcelles de 30 mètres de longueur et de 1 mètre de largeur.



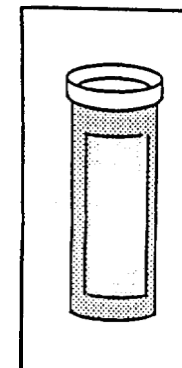
Capteurs de solution du sol



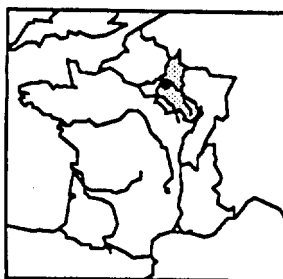
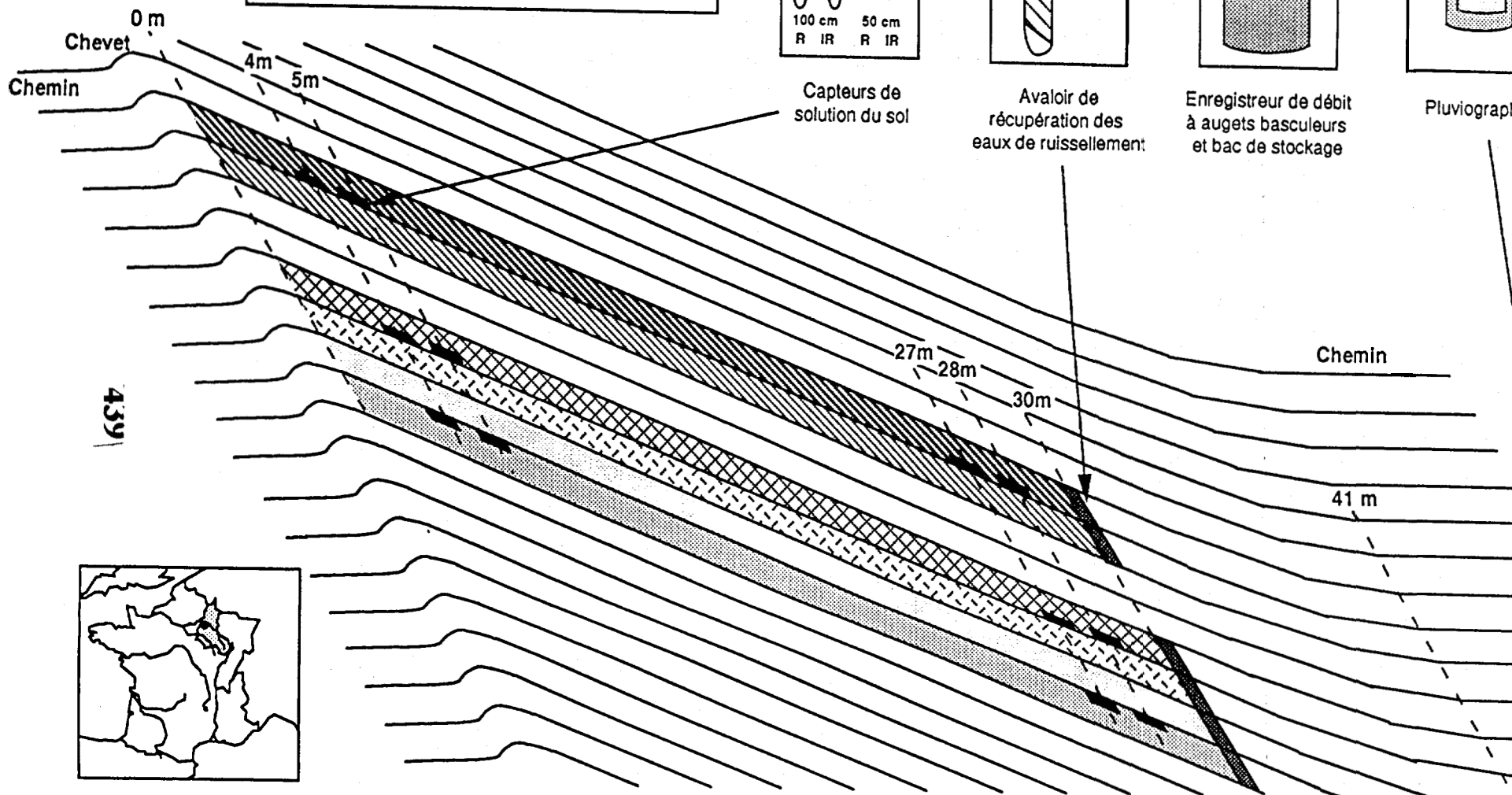
Avaloir de récupération des eaux de ruissellement



Enregistreur de débit à augets basculeurs et bac de stockage



Pluviographe



☐ Région Champagne-Ardenne
● Moussy

Figure 1 - Dispositif de mesures mis en place à Moussy en mai 1985 par la Station d'Agronomie I.N.R.A. de Châlons-sur-Marne.

vigne de MOET et CHANDON, plantée en 1981 en Meunier, greffé sur 41.B et conduite en Cordon de Royat. Ce dispositif est situé sur un sol brun-calcaire, développé sur des colluvions argilo-calcaires du Sparnacien, d'au moins 2 mètres d'épaisseur. Il consiste à isoler une rangée de vigne avec des plaques en tôle. Les parcelles ont 30 mètres de long, 1 mètre de large et leur pente moyenne est de 34 %. Les eaux de ruissellement sont recueillies en bas des parcelles dans un caniveau recouvert par une grille et protégé par un couvercle en tôle de 6 mm d'épaisseur (ou avaloir). Les eaux ainsi recueillies sont conduites vers les appareils de mesures de débit et ensuite vers les bacs de stockage. Elles sont mesurées et ensuite collectées, afin de pouvoir déterminer la quantité de terre érodée, ainsi que les éléments chimiques dans les eaux et dans la terre. Un pluviographe est également placé sur le site de mesures. Ce dispositif correspond à six situations culturales, sans répétition : avec et sans apport de compost urbain (1985-1988-1991-1994) à raison de 150 t/ha tous les trois ans et d'écorces fraîches broyées fibreuses (1988-1991-1994), à raison de 150 m³/ha tous les trois ans, soit 60 t/ha. Chaque situation est doublée : avec passages fréquents de tracteurs pour les traitements (15/an), et avec passages limités pour les rognages (4-5/an). Pour mesurer les variations en azote nitrique des eaux d'infiltration, 48 capteurs en céramique poreuse ont été installés, en janvier 1991, à deux profondeurs (50 et 100 cm) dans le rang et dans l'inter-rang des parcelles.

- Apports en matière organique, en éléments majeurs et en métaux lourds par le compost urbain et les écorces.

Le compost urbain mis en couverture en mars 1991 dans les inter-rangs de vigne à Moussy, à raison de 150 t/ha, a apporté 50,5 t/ha de matière organique et 1,4 t/ha d'azote organique. (tableau 1). Les apports de magnésie (MgO), de potasse (K₂O) et de phosphore (P₂O₅) sont respectivement de 2,0-1,3 et 1,1 t/ha. Les apports en métaux lourds sont de 34 kg/ha en cuivre et 624 g/ha en cadmium.

Les écorces broyées mises en couvertures à la même date dans les inter-rangs, à raison de 150 m³/ha ou d'environ 60 t/ha, ont apporté 35 t/ha de matière organique et 0,4 t/ha d'azote organique. Les apports de magnésie, de potasse et de phosphore sont respectivement de 131 - 298 et 96 kg/ha. Les apports en métaux lourds sont de 0,3 kg/ha de cuivre et de 34 g/ha de cadmium. Le compost urbain apporte 100 fois plus de cuivre total et 20 fois plus de cadmium que les écorces fraîches broyées.

Le sol nu ne reçoit que l'azote apporté par les précipitations, en moyenne 16 kg/ha, 1973-1991, (BALLIF 1994-a).

1. Mesures du ruissellement et de l'érosion.

L'érosion hydrique est une des conséquences de la dégradation du sol (ELLISON, 1947-BOIFFIN, 1984) et du transport de terre par les précipitations et les ruissellements. Le ruissellement et l'érosion sont intimement liés. Le ruissellement se déclenche lorsque le sol cesse d'absorber la totalité de la pluie. Selon son intensité, la nature du sol conditionne la répartition

entre l'infiltration et le ruissellement (HENIN, 1950). Il existe en effet pour un sol donné, une capacité limite d'infiltration (FEODOROF, 1965). La pluie en excès va provoquer le ruissellement.

Les résultats annuels des ruissellements (en mm) et des pertes en terre érodée (en kg/ha), à Moussy dans les parcelles avec passages fréquents ou limités, ainsi que la variabilité entre années, sont récapitulés (tableau 2). Les variations pluviales modifient les quantités d'eau ruissellée et de sol arraché. En sols couverts de compost urbain ou d'écorces broyées, le ruissellement est nettement plus faible. C'est ce qui a été constaté avec du compost urbain au Fort-Chabrol et sur d'autres vignobles en Suisse (RIVA, 1973) et en Allemagne (RICHTER, 1980- EMDE, 1992). La diminution du ruissellement s'atténue la troisième année d'application. En 1988, 1989 et 1992, les quantités de terre érodée ont été les plus grandes, de 6500 à 8100 kg/ha en sol nu, de 11 à 56 kg/ha en sol couvert avec des composts urbain et de 6 à 16 kg/ha en sol couvert d'écorces broyées. En deuxième année de couverture, en sol couvert avec du compost urbain, les quantités de terre érodée sont plus élevées. Ces ruissellements et ces pertes en terre dépendent principalement des pluies orageuses printanières et estivales. En été en sol nu, l'entraînement des terres se produit par des précipitations d'une intensité supérieure à 6 mm/h (BALLIF et HERRE, 1988). Ce seuil est comparable à celui obtenu dans le vignoble mosellan en Allemagne (RICHTER et NEGENDANK, 1977).

En hiver, d'une façon générale l'érosion est faible, sauf lorsqu'une pluie abondante s'abat sur un sol gelé. C'est un événement qui ne s'est pas produit au cours des neuf années de mesures. En cette saison, les pluies de faibles intensités provoquent une érosion chronique, insidieuse, qui peut s'élever à 419 kg/ha en sol nu, lorsque l'automne et l'hiver sont très pluvieux; comme ce fut le cas en 1987-1988, alors que la normale est de 316 mm. Ces résultats ont été obtenus sur des parcelles de 30 m de long. Il se pose le problème du changement d'échelle, car le ruissellement n'est pas proportionnel à la longueur (RICHTER, 1980), un dispositif avec des parcelles de différentes longueurs permettrait de le résoudre (VASKU 1992).

2. Qualités des eaux de ruissellement et d'infiltration.

- Concentration en azote nitrique et en pesticides; pertes en azote minéral.

Il est nécessaire de rappeler que les eaux de ruissellement ou d'infiltration peuvent être chargées en nitrates ou en pesticides et polluer les ruisseaux ou les nappes phréatiques. La teneur moyenne annuelle en azote minéral (N) des eaux de ruissellement (tableau 3), en sol couvert de compost urbain est trois fois plus élevée (30 mg N/l, soit 133 mg NO_3^-/l) que celle en sol couvert d'écorces (11 mg N/l, soit 49 mg NO_3^-/l).

Avec un apport de 200 t/ha de compost urbain en couverture, les eaux d'infiltration peuvent entraîner une perte en azote minéral s'élevant à 300 kg/ha/an de N (LERGLANTIER, 1984), soit 10 Kg/ha/mois de perte par lessivage susceptible de rejoindre la nappe. En lysimètre planté en vigne, de 1974 à 1987 à Châlons-sur-Marne, en sol nu avec un apport moyen d'azote de 47

kg/ha/an (pluie et engrais), la perte moyenne en azote minéral (112 kg/ha/an, de 1979 à 1982) est comparable à celle du sol sans culture depuis 5 ans et deux fois plus élevée que celle du sol cultivé, 55 kg/ha/an de N. Avec l'apport des 1264 kg/ha d'azote organique par les ordures ménagères (200 t/ha) en novembre 1982, la perte annuelle en azote monte à 153 kg/ha deux ans après (BALLIF,1994-b). Ces valeurs n'ont rien d'absolu dans la mesure où la composition de ces produits est très variable (PERRAUD et al, 1990). les teneurs en azote minéral des 75 premiers centimètres du sol sont supérieures de 50 à 85 kg/ha par rapport au témoin sans compost (MONBRUN, 1988). Cette quantité suffit à l'alimentation azotée de la vigne. L'apport azoté supplémentaire ne fait qu'augmenter les pertes vers les nappes. Dans des analyses antérieures d'eaux de ruissellement, les concentrations moyennes en atrazine (0,126 ppm) et en simazine (0,413 ppm) étaient plus importantes pendant l'été que celles mesurées en hiver (BALLIF, HERRE. 1985).

Pour vérifier ces modifications éventuelles dans les eaux, des capteurs en céramique poreuse ont été installés, en janvier 1991, à deux profondeurs dans le rang et dans l'inter-rang des parcelles du dispositif expérimental de Moussy (figure 1). Ces capteurs ont été placés en haut et en bas des parcelles pour pouvoir vérifier des différences de teneurs entre ces deux points : des teneurs plus élevées en bas de parcelle étant dues à une éventuelle circulation hypodermique de l'eau vers le bas des parcelles. Dans les eaux d'infiltration de la période de drainage (période limitée par le calcul de l'écoulement théorique), on constate (tableau 4) :

- En haut des parcelles de mesures, contrairement à ce qui était probable, les teneurs en azote nitrique sont plus élevées que dans le bas. Cette constatation pourrait être expliquée par des infiltrations de l'eau du chemin sous le chevet, situé en haut des parcelles.

- En bas des parcelles de mesures : en sol nu, sous le rang et l'inter-rang, les teneurs moyennes en azote nitrique sont faibles (4 à 6 mg N/l, soit 18 à 27 mg NO₃⁻/l); en sol couvert d'écorces broyées, sous le rang et l'inter-rang, les teneurs moyennes en azote nitrique sont également faibles (4 à 10 mg N/l, soit 18 à 44 mg NO₃⁻/l) et en sol couvert de compost urbain, sous le rang et l'inter-rang, les teneurs moyennes en azote nitrique sont deux à trois fois plus élevées (14 à 23 mg N/l, soit 62 à 102 mg NO₃⁻/l).

Au cours de l'automne 1993 et de l'hiver 1994, la hauteur des précipitations de décembre à février s'élèvent à 311 mm, la normale étant de 177 mm à Epernay (1930-1990). L'excédent d'eau tombée est de 134 mm. L'azote nitrique de la solution du sol s'est déplacé. En effet, en décembre 1993, les teneurs sont respectivement de 45 et 46 mg N/l à 50 et 100 cm. En mars 1994, les teneurs en azote nitrique ont diminuées : elles sont respectivement de 19 et 27 mg N/l aux mêmes profondeurs.

Une estimation des pertes en azote minéral est établie en prenant la moyenne des concentrations mesurées à 1 mètre de profondeur et, pour le volume d'eau drainée, le drainage moyen annuel, 234 mm, 1974-1987 (BALLIF 1994 a), mesuré sur la case en vigne à

Châlons-sur-Marne. La perte moyenne, 1991-1994, en azote minéral, à 1 m de profondeur est de 12 kg/ha en sol nu, de 19 kg/ha en sol couvert d'écorces broyées et s'élève à 50 kg/ha en sol couvert de compost urbain.

- Concentrations en cuivre et en cadmium.

Dans les eaux de ruissellement recueillies à Moussy, au cours de la campagne 1991-1992, la concentration moyenne en cadmium des eaux des parcelles avec compost urbain est plus élevée (1,7 µg/l) que celles des parcelles couvertes d'écorces (0,9-1,0 µg/l) et en sol nu (0,5-0,6 µg/l). En sol nu, cette concentration des eaux de ruissellement est trois fois plus faible (BALLIF, 1993).

Dans les terres érodées, au cours de la même période (1991-1992), la teneur moyenne en cadmium est plus élevée dans les terres érodées des parcelles couvertes de compost urbain (5,4-6,8 mg/kg) et d'écorces (5,3-5,5 mg/kg) que dans la terre érodée du sol nu (2,2-3,0 mg/kg).

Dans ces eaux, la concentration en cuivre des eaux issues des parcelles couvertes de compost urbain est 2 à 3 fois plus élevée (0,19-0,22 µg/l) que celles en sols nu et couvert d'écorces (0,07-0,08 µg/l). Dans ces terres érodées, les teneurs en cuivre les plus élevées sont trouvées dans les terres érodées des parcelles couvertes de compost urbain (483-503 mg/kg), les valeurs des terres érodées en sol nu et en sol couvert d'écorces étant respectivement, 394-417 mg/kg et 363-378 mg/kg. Le déplacement du cadmium et du cuivre s'effectue essentiellement sur les terres érodées.

3. Moyens de lutte contre le ruissellement et l'érosion dans le vignoble.

Sur les coteaux, l'érosion hydrique change de genre. Sur les parties hautes, l'érosion est diffuse, "en nappe", puis avec le regroupement des eaux, il se forme des griffes, et dans le bas, la concentration des eaux ruissellantes, creuse des ravines. Ainsi, le principe de base de la lutte contre l'érosion hydrique est d'empêcher l'eau des sommets d'arriver jusqu'en bas, pour éviter que le ruissellement n'acquiert une force érosive (PARE, 1984).

- Les interventions et les aménagements.

Dans les vignobles, il est connu que, la disposition des parcelles allongées et implantées dans le sens de la pente favorise l'érosion. Or, le sol cultivable n'est jamais qu'une couche superficielle mince, essentiellement fragile et constamment menacée. En sol nu, la perte annuelle moyenne (1985-1993) de terre érodée (1,9 t/ha) correspond à une diminution de l'épaisseur du sol de 8 mm en 10 ans. Cette ablation est compensée par les apports de terre (souvent d'origine tertiaire) effectués lors des replantations.

L'évaluation du risque d'érosion passe par l'établissement de cartes des pentes, d'occupation du sol et de données fréquentielles des pluies. A Hautvillers (51), Passy-sur-Marne et Barzy-sur-Marne (02), des études locales ont été réalisées (COZERET, 1987. ARBEY Marie Raphaëlle et SAVART Catherine, 1992. RUIVET Aline et PIEDANIEL, 1994) et sur un plan général elles sont entreprises dans une opération "zonage" du vignoble par le Comité Interprofessionnel du

Vin de Champagne (CIVC) en collaboration avec le Groupe de recherche sur l'érosion en Champagne-Ardenne (GRECA). Dans une charte des zones sensibles à l'érosion établie par la Chambre d'Agriculture de Saône et Loire (BOIDRON, 1988), des recommandations à respecter sont fixées (tableau 5); par exemple, celles qui concernent la longueur des rangs, lors des aménagements à la parcelle. Cette longueur est théoriquement d'autant plus limitée que la pente est forte, que la texture et l'état pierreux du sol sont favorables ou défavorables au ruissellement. Lors des aménagements, ces préconisations devraient être des règles obligatoires; ainsi l'ampleur des inondations catastrophiques pourrait être réduite dans certaines circonstances.

Conclusion.

A Moussy, près d'Épernay, le dispositif de mesures du ruissellement fonctionne depuis mai 1985. Après huit années de mesures (mai 1985-septembre 1993) et selon un protocole définissant six variables : avec et sans couvertures de compost urbain et d'écorces fraîches broyées, avec passages fréquents et limités de roues, les faits essentiels sur l'érosion hydrique et la qualité des eaux ont été présentés.

Sur un sol brun calcaire, développé sur des colluvions tertiaires argilo-calcaires (Sparnacien), donc à substrat peu perméable, avec une pente de 34 p. cent et des parcelles de 30 m de long, en vigne âgée de 5 à 14 ans, les variations du ruissellement sont suivies en fonction des pluies (quantité, intensité et durée) et du mode de couverture. Les couvertures de compost urbain ou d'écorces broyées fibreuses protègent le sol et empêchent la dégradation de l'état structural de la surface du sol. Les apports du compost urbain en cuivre (34 kg/ha) et en cadmium (624 g/ha) sont sensiblement plus élevés que ceux des écorces (0,3 kg/ha de cuivre et 34 g/ha de cadmium). Les teneurs en cuivre des terres érodées (291-499 mg/kg) sont plus élevées que celles des eaux de ruissellement (0,07-0,24 µg/l). Les valeurs les plus grandes sont trouvées dans les terres érodées des parcelles couvertes de compost urbain. Le ruissellement est 3 à 10 fois moins élevé qu'en sol nu. Cette réduction correspond à une augmentation de l'infiltration. D'après les risques moyens de fortes pluies, la perte moyenne annuelle (1,9 t/ha) du sol nu, correspond à une diminution de l'épaisseur du sol de 8 mm en 10 ans. En sol couvert de compost urbain, la teneur moyenne annuelle en azote minéral des eaux de ruissellement est trois fois plus élevée (30 mg N/l, soit 133 mg NO₃⁻/l) que celles en sol couvert d'écorces (11 mg N/l, soit 49 mg NO₃⁻/l); la teneur annuelle moyenne en azote minéral des eaux d'infiltration ou eau de drainage est deux fois plus élevée (19 mg N/l, soit 84 mg NO₃⁻/l) que celle des eaux en sol couvert d'écorces. Le dispositif expérimental de Moussy sert également de support pour apprécier les risques d'entraînement de pesticides par le ruissellement, en collaboration avec le Comité Interprofessionnel des Vins de Champagne. Actuellement, les organismes professionnels préconisent de ne plus utiliser de compost urbain et de couvrir le sol avec des écorces ou d'enherber les inter-rangs. Ces techniques culturales doivent être complétées par un aménagement hydraulique

des coteaux et une information agronomique pour protéger l'environnement et sauvegarder le patrimoine viticole.

Remerciements.

Cette étude est réalisée, en collaboration avec Messieurs LOTTE et BERLIOZ, du Service des Vignes de Moët et Chandon et avec Monsieur D MONCOMBLE, Directeur des Services Techniques du Comité Interprofessionnel des Vins de Champagne.

Bibliographie.

ARBEY Marie-Raphaelle et SAVART Catherine., 1992. L'érosion des sols dans le vignoble de Passy-sur-Marne : mise en évidence, analyse des risques et des méthodes de protection. Mémoire de Maîtrise. Université P.7., Laboratoire de Biogéographie et d'Ecologie de l'Ecole Normale Supérieure de Fontenay-Saint- Cloud.

BALLIF J.L., 1989. Erosion dans le vignoble champenois. Influence des techniques culturales. Cah. ORSTOM, sér, Pédol., vol. XXV, n° 1-2, 1989-90 : 151-156.

BALLIF J.L., 1993. Concentration du cadmium et du cuivre dans le sol et dans les eaux de ruissellement en vignoble champenois. Trvx. St. Agri., I N R A , Châlons sur Marne. Publ. n° 254.

BALLIF J.L., 1994 a. Lysimétrie en monolithes d'une rendzine brune sur craie cryoturbée. I. Bilan hydrique en sols planté en vigne, nu, enherbé, et cultivé. 1973-1974 à 1986-1987. Le Progrès Agricole et Viticole. 111. n°8., 163-174.

BALLIF J.L., 1994 b. Lysimétrie en monolithes d'une rendzine brune sur craie cryoturbée. III. Pertes en azote, en soufre et en chlore en sols planté en vigne, nu, enherbé, et cultivé. 1973-1974 à 1986-1987. (en préparation pour la revue Le Progrès Agricole et Viticole).

BALLIF J.L., HERRE C., 1985. Ruissellement et érosion dans le vignoble champenois. Synthèse des mesures effectuées de 1981 à 1984. Le Vigneron Champenois, n°11, 573-581.

BALLIF J.L., HERRE C., 1988. Contribution à l'étude du ruissellement de sols viticoles en Champagne. Effets d'une couverture de compost urbain. C. R. Acad. Agri. Fr., 1988, 74, n° 2, pp 10-110.

BALLIF J.L., HERRE C., MONCOMBLE D., 1987. Mesures de l'érosion hydrique d'un sol viticole champenois. Incidences des modes de cultures actuels. 1^o Congrès International de Géohydrologie : L'anthropisation et la dégradation de l'environnement physique. 2-6 décembre. Florence.

BALLIF J.L. MONCOMBLE D., 1986. Incidences du désherbage et des couvertures de matières organiques. 2^{ème} symp. Intern. sur la non-culture de la vigne - 26-28 novembre - Montpellier, p. 353-358.

BALLIF J.L., MONCOMBLE D., DESCOTES A., 1991. Influence sur le ruissellement et l'érosion de couvertures de compost urbain et d'écorces fraîches broyées dans le vignoble champenois. III Symposium International Sur la Non culture de la Vigne et les autres Techniques d'entretien des sols Viticoles. 18-20 novembre 1991. Montpellier.

BOIFFIN J., 1984. La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action de la pluie. Thèse Doc. Ing. Sc. Agro. I.N.A.P.G.

- BOIDRON R., 1988. L'érosion des sols de vignoble. Chambre d'Agriculture de Saône et Loire. Service Viticole. Macon.
- COZERET O., 1987. Erosion hydrique et glissement de terrain dans le vignoble champenois, une étude de cas : le bassin versant de Dizy -Champillon - Hautvillers. Mémoire de DEA. UFR de géographie - Université de Lille 1.
- ELLISON W D.,1947. Soil erosion. Soil Sc. Soc. Am. Proc., V 12, p. 479-784.
- EMDE, K. 1992. Experimentelle Untersuchungen zu Oberflächenabfluss und Bodenaustrag in Verbindung mit Starkregen bei verschiedenen Bewirtschaftungssystemen in Weinbergsarealen des oberen Rhein-gaus. Geisenheim, Germany; Forschungsanstalt Geisenheim, 248 pp.
- FEODOROFF A.,1965. Mécanisme de l' érosion par la pluie. Revue de géographie physique et de géologie dynamique. Paris. (2). Vol.7. fasc. 2, p. 149-163.
- HENIN S.,1950. Le mécanisme de l' érosion par l' eau dans la conservation du sol. Le problème français. Extrait du Bulletin Technique d' Information, n ° 50 et 51 .
- LERGLANTIER Sylvie.,1984. Minéralisation de l' azote organique apporté par les composts urbains. Trvx. St. Sc. Sol., I N R A , Châlons sur Marne. Publ. n° 106 bis.
- MONBRUN Marie Dominique, 1988. Compost urbain. Guide destiné aux viticulteurs champenois. Chambre d'Agriculture de la Marne. Mission Valorisation des déchets. 27 p.
- PARE J. 1984. La lutte contre l'érosion. Machinisme Agricole Tropical, n°87. 43-46.
- PERRAUD A., MONBRUN Marie Dominique., FAIHY V., 1990. Le point sur les amendements organiques. Le Vigneron Champenois., n° 3, mars, 27-51.
- RICHTER G., 1980. Tree years of plot measurements in vineyards of the Moselle - Region - some preliminary results. Z. Geomorph. N.F., Suppl. Bd 35, 81-91. Berlin-Stuttgart.
- RICHTER G., NEGENDANK J F W., 1977. Soil erosion process and their measurement in the German area of the Moselle river. Earth surface processes. Vol. 2, 261-278.
- RIVA A. 1973. Etude de la protection du sol contre l'érosion dans les vignobles au moyen de compost de gadoues. IGR., n°116, Lausanne.
- RUIVET aline et PIEDANIEL. 1994. Aménagement hydraulique des coteaux viticoles de Barzy-sur-Marne. Mémoire du Centre d'Etudes Supérieures en Aménagement, CESA, Université de Tours.
- VASKU Z. 1992. Komplexni pozemkové upravy a limitni rozmery pozemkú z protieroznich hľadisek. Pedologie a Meliorace. 28 (2),. 81-90.

Tableau 1. Apports par les amendements bruts : le compost urbain (150 t/ha) et les écorces fraîches broyées (150 m3/ha), en mars 1991.

| | Unités | Compost urbain | Ecorces broyées |
|-----------------------------|--------|----------------|-----------------|
| Matières organiques | t/ha | 50 | 35 |
| Azote (N) organique. | " | 1,4 | 0,4 |
| Magnésie (MgO) | kg/ha | 2045 | 131 |
| Potasse (K2O) | " | 1344 | 298 |
| Phosphore (P2O5) | " | 1152 | 96 |
| Azote ammoniacal (N de NH4) | " | 161 | 38 |
| Cuivre total (Cu) | " | 34 | 0,3 |
| Cadmium total (Cd) | g/ha | 624 | 34 |

Tableau 2.

Ruissellement et terre érodée à Moussy, parcelles de 30 m2 et pente de 34 %.

| Sols Passages | | Nu | | Compost urbain | | Ecorces broyées | |
|------------------|--------|--------------------------|---------|----------------|---------|-----------------|---------|
| | | Fréquents | Limités | Fréquents | Limités | Fréquents | Limités |
| Années | Pluies | Ruissellement (en mm/an) | | | | | |
| 1985-1986* | 710 | 13 | 12 | 2 | 1 | | |
| 1986-1987 | 738 | 24 | 5 | 3 | 2 | | |
| 1987-1988 | 872 | 112 | 32 | 25 | 10 | 12** | 6** |
| 1988-1989 | 707 | 64 | 10 | 22 | 22 | 14 | 14 |
| 1989-1990 | 546 | 26 | 1 | 5 | 4 | 6 | 2 |
| 1990-1991 | 555 | 19 | 1 | 5 | 2 | 5 | 1 |
| 1991-1992 | 634 | 38 | 6 | 15 | 5 | 11 | 3 |
| 1992-1993 | 645 | 48 | 4 | 13 | 4 | 8 | 2 |
| Moyenne | 676 | 43 | 9 | 11 | 6 | 9 | 4 |
| Ecart type | 106 | 33 | 10 | 9 | 7 | 4 | 5 |

Terre érodée (en Kg/ha/an)

| | | | | | | | |
|------------|--|------|------|----|-----|-----|-----|
| 1985-1986 | | 800 | 1382 | 3 | 5 | | |
| 1986-1987 | | 600 | 182 | 7 | 3 | | |
| 1987-1988 | | 6500 | 2436 | 11 | 4 | 6** | 3** |
| 1988-1989 | | 8100 | 526 | 56 | 63 | 16 | 21 |
| 1989-1990 | | 60 | 8 | 7 | 2 | 5 | 4 |
| 1990-1991 | | 45 | 17 | 5 | 0,5 | 0,3 | 0,5 |
| 1991-1992 | | 6145 | 3086 | 83 | 79 | 37 | 43 |
| 1992-1993 | | 267 | 147 | 53 | 133 | 31 | 21 |
| Moyenne | | 2815 | 973 | 28 | 36 | 18 | 18 |
| Ecart type | | 3450 | 1203 | 31 | 50 | 16 | 17 |

L'année commence le 1^o octobre et finit le 30 septembre.

Apports des couvertures en mars 1985, 1988 et 1991.

* 1986 : le ruissellement exceptionnel du 18 août n'a pu être mesuré de façon précise.

** : printemps et été.

Tableau 3. Teneur moyenne en azote nitrique N(NO3) des eaux de ruissellement à Moussy (51). Sols avec passages fréquents.

| Année | Sol nu | Compost urbain | Ecorces broyées |
|-----------|--------|----------------|-----------------|
| 1985-1986 | 9 | 22 | |
| 1986-1987 | 10 | 24 | |
| 1987-1988 | 7 | 13 | 3 |
| 1988-1989 | 6 | 41 | 3 |
| 1989-1990 | 6 | 54 | 12 |
| 1990-1991 | 15 | 18 | 10 |
| 1991-1992 | 8 | 45 | 4 |
| 1992-1993 | 9 | 26 | 31 |
| Moyenne | 9 | 30 | 11 |

Année commence le 1 octobre et finit le 30 septembre.

Apports de couvertures en mars 1985, 1988 et 1991.

Tableau 4. Teneur moyenne (1991-1994) en azote nitrique des eaux d'infiltration du sol de vigne à Moussy, de décembre à mars, en mg N/l.

| Sols | cm | Bas de parcelles | | Haut de parcelles | |
|------------------------------|-----|------------------|------|-------------------|------|
| | | Inter-rang | Rang | Inter-rang | Rang |
| Nu, | 50 | 6,3 | 5,0 | 34,3 | 18,9 |
| | 100 | 6,4 | 3,5 | 35,9 | 22,5 |
| Couverts d'écorces fibreuses | 50 | 3,8 | 6,3 | 17,4 | 16,3 |
| | 100 | 9,5 | 6,4 | 19,7 | 23,7 |
| de compost urbain | 50 | 17,6 | 14,2 | 38,7 | 32,8 |
| | 100 | 19,9 | 23,0 | 45,7 | 51,9 |

Tableau 5. Longueurs indicatives de rangs de vignes, en mètres.

| Pentes | Eléments fins dominants Etat pierreux faible Sol nu | Peu d'éléments fins Etat pierreux élevé Couverture végétale ou par divers composts |
|----------|---|---|
| > 15 | 30 à 50 | 70 |
| .10 à 15 | 50 à 70 | 70 à 100 |
| < 10 | 70 à 100 | 100 à 120 |

Division Protection contre les érosions

**Onzièmes journées du Réseau Erosion
Centre ORSTOM de Bondy / Septembre 1994**

**Le matériel végétal :
un outil pour la protection des sols ⁽¹⁾**

Yves CROSAZ

CEMAGREF, 2 rue de la papeterie, B.P. 76, 38402 St Martin d'Hères Cedex

1. Contexte général et objectifs de l'étude

Le bassin méditerranéen regroupe un ensemble de **milieux écologiques sensibles aux perturbations**. Les multiples dégradations, qu'elles soient d'origine naturelle (vent, eau), ou anthropique (feu, terrassements, déforestation, etc...), sont à l'origine de graves dégâts dus à **l'érosion, l'appauvrissement des sols, et l'extension de la désertification**. Les sols ne remplissent alors plus leur rôle dans l'équilibre écologique des milieux. Depuis très longtemps, de multiples moyens sont mis en oeuvre pour tenter de restaurer ces terrains dégradés, notamment par les Services RTM (Services de Restauration des Terrains en Montagne) dès leur création au siècle dernier. Néanmoins, on a pu constater depuis quelques années une diminution des interventions de ce secteur, et aujourd'hui, il faut repenser les opérations du génie biologique en fonction de nouvelles contraintes, notamment des contraintes économiques.

Sur le domaine méditerranéen le cas le plus couramment rencontré est celui particulièrement **sensible et difficile des marnes**. Compte tenu de l'ampleur des surfaces dégradées, la correction dite "de versant" paraît être coûteuse, mais elle s'avère néanmoins nécessaire lorsque les enjeux économiques sont trop importants (envasement des lacs et retenues des barrages). Nous voulons montrer que l'installation d'une végétation est **une solution envisageable** pour la correction de versant. Notre recherche s'articule ainsi autour de trois thèmes forts :

- **connaître les végétaux les plus efficaces** : ce travail consiste en une **sélection** des plantes les mieux adaptées à la colonisation rapide des marnes. Cette sélection est basée sur de multiples critères, en particulier les caractéristiques adaptatives des espèces aux conditions de milieux ;

- **savoir implanter ces végétaux sur les sols en érosion** : l'instabilité du substrat rencontré oblige à concevoir l'utilisation de matériaux provisoires favorisant l'accrochage des plantes et la fixation momentanée des premiers centimètres instables du substrat. Une

recherche particulière est entreprise sur l'efficacité des différents matériaux permettant l'installation du matériel végétal ;

- mesurer l'influence des végétaux sur l'érosion superficielle du sol : nous savons aujourd'hui que la végétation stabilise le sol en le protégeant notamment de l'énergie cinétique des pluies. Elle exerce aussi une action sur la perméabilité du sol, sur l'écoulement des eaux de ruissellement... En modifiant ces différents paramètres, la végétation a un impact direct sur le fonctionnement général des bassins. Nous voulons quantifier cet impact qui se traduit par une modification des taux d'érosion.

Le site de Draix, près de Digne dans les Alpes du sud (Figure n°1), a été retenu en raison du fait qu'il est instrumenté et que des recherches et des mesures de l'érosion sont effectuées depuis une dizaine d'années sur plusieurs bassins versants expérimentaux (B.V.E.).

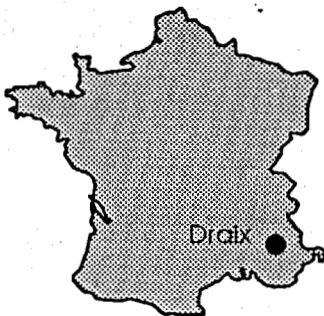


Figure n°1 : localisation géographique du site d'étude

2. Le matériel végétal

La couverture végétale qui protège et stabilise le sol ne doit pas être considérée comme une couche inerte, mais bien au contraire comme un milieu vivant, dynamique, et en constante évolution sous l'influence de multiples paramètres tels que le climat, les conditions édaphiques, topographiques, les compétitions intra et extra-spécifiques... Ainsi, l'implantation artificielle d'une végétation dans un milieu donné n'est pas sans conséquences sur son environnement. Bien que ponctuelle, une opération de végétalisation doit donc, dès le départ, prendre en compte l'évolution future des plantes mises en place. Pour des questions de gestion et d'entretien, nous avons écarté d'emblée de notre recherche les végétaux ligneux pour nous intéresser principalement aux végétaux de la strate herbacée.

2-1. Définition des plantes à utiliser pour la végétalisation

Dans le but de pérenniser les interventions de végétalisation, nous avons centré nos efforts sur les végétaux présents naturellement sur le site, et la sélection est effectuée sur la base de documents cartographiques existants, d'observations consignées dans la bibliographie, et de relevés de terrain.

La végétation climacique de la zone de Draix est composée d'espèces appartenant à deux séries végétales : la forêt de Chêne pubescent et Buis (Querceto-buxetum) (Ozenda, 1966) et la forêt de Pin sylvestre (Pinetum silvestris submediterraneum), (Schmid E., 1936). Des groupements supplémentaires sont observés en relation avec les conditions

spécifiques de milieu : le groupement d'éboulis (*calamagrostidetum*), le groupement de roubines.

Quelques ouvrages (Barouillet, 1982) répertorient les espèces végétales susceptibles d'être retenues ou déjà utilisées dans la lutte contre l'érosion des sols par les services RTM, et classées suivant des caractéristiques édaphiques et bioclimatiques.

Nous avons mené plusieurs campagnes d'observations in situ et défini un certain nombre de critères biologiques, anatomiques et écologiques pour déterminer précisément les espèces susceptibles d'être intéressantes pour notre problématique. Les principaux critères sur lesquels nous nous sommes appuyés ont conduit à sélectionner :

- des plantes vivaces, assurant une bonne couverture du sol ;
- des plantes héliophiles ;
- des plantes qui se développent bien sur des sols pauvres, à pH basique, constitués de matériaux grossiers et caillouteux ;
- des plantes résistantes à la sécheresse et au gel ;

Dans le règne végétal, il y a deux grandes familles qui regroupent des espèces possédant plusieurs des caractéristiques énoncées ci-dessus.

Les Graminées

C'est un groupe très intéressant car les espèces sont toujours très résistantes aux conditions extrêmes dans lesquelles elles vivent. Le système racinaire dense et ramifié, développé dans les premiers décimètres, est très efficace quant à l'accrochage des plantes sur le sol, et constitue un réseau qui fixe fortement le sol. Les parties aériennes assurent une bonne couverture du sol et donc une bonne protection contre l'énergie cinétique de la pluie. La multiplication végétative par tallage développe rapidement sur le terrain des touffes efficaces contre le ruissellement. Il est facile de récolter les graines et la production grainière est en générale importante.

A Draix, dans les pelouses denses, on trouve en abondance le Brome érigé (*Bromus erectus*) et la Fétuque ovine (*Festuca ovina*) ; en bordure de ces pelouses, sur les zones plus ouvertes de transition avec les terrains dénudés, se développent la Koelerie du Valais (*Koeleria valesiaca*), la Fétuque ovine, et sur les sols plus riches en azote le Dactyle aggloméré (*Dactylis glomerata*).

D'autres plantes forment des touffes denses, monospécifiques plus ou moins éparses, mais pouvant aussi couvrir le sol de manière continue, c'est le cas de la Mélisque ciliée (*Melica ciliata*), de la Stipe pennée (*Stipa pennata*) et de la Calamagrostide argentée (*Achnatherum calamagrostis*).

Les Légumineuses

Les espèces de cette famille ont une caractéristique commune importante : au niveau de leurs racines, en symbiose avec des bactéries contenues dans des nodosités, elles peuvent absorber l'azote atmosphérique du sol ; cette source supplémentaire d'azote, élément nutritif important, permet à de nombreuses Légumineuses de se développer sur les terrains pauvres, et certaines espèces sont particulièrement intéressantes :

Le Sainfoin des rochers (*Onobrychis saxatilis*), l'Astragale de Montpellier (*Astragalus monspessulanus*), la Coronille minime (*Coronilla minima*), l'Ononis ligneux, ou Bugrane (*Ononis fruticosa*), l'Ononis natrix, ou Coqsigrue (*Ononis natrix*), l'Anthyllide vulnéraire (*Anthyllis vulneraria*) et l'Anthyllide des montagnes (*Anthyllis montana*).

A partir de l'analyse bibliographique et grâce aux observations de terrain, nous avons établi une première sélection en ne retenant qu'une quinzaine d'espèces (tableau n°1).

| Graminées | Légumineuses | Autres familles |
|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Achnatherum calamagrostis | Anthyllis montana | Aphyllanthes monspeliensis |
| Bromus erectus | Anthyllis vulneraria | Hippophae rhamnoides |
| Dactylis glomerata | Astragalus monspessulanus | Laserpitium gallicum |
| Festuca ovina | Coronilla minima | Paronychia capitata |
| Koeleria valesiaca | Onobrychis saxatilis | |
| Melica ciliata | Ononis fruticosa | |
| Stipa pennata | Ononis natrix | |

Tableau n°1 : liste des espèces sélectionnées

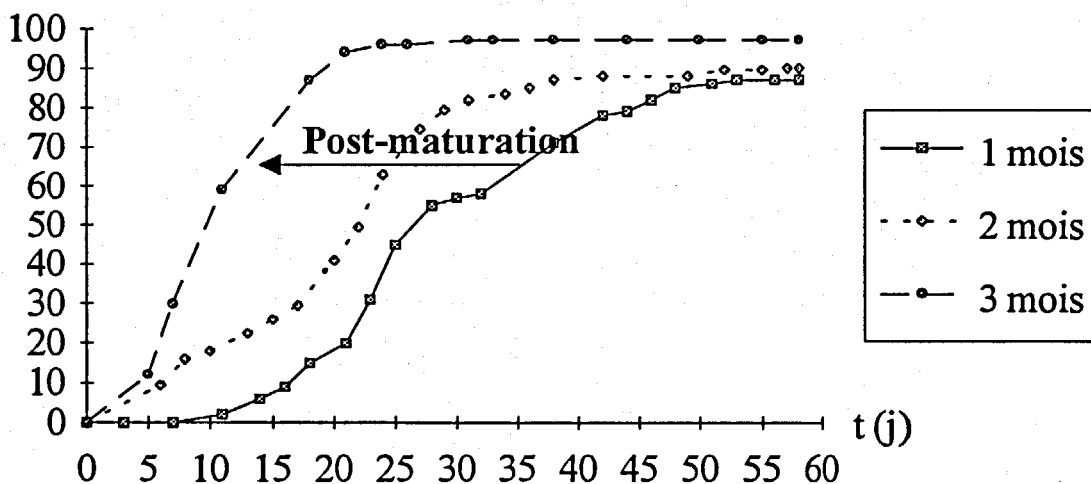
2-2. La connaissance des espèces végétales

L'originalité de cette partie réside dans le fait que très peu d'observations ont été réalisées sur les plantes de ce milieu quant à leurs **caractéristiques adaptatives** (morphologiques, écologiques...) et nos recherches portent sur certaines de ces caractéristiques.

La germination

Après récolte, nettoyage et tris des semences, des essais de germination sont effectués pour déterminer les capacités germinatives de chaque espèce. Les graines sont placées dans des boîtes de Pétri transparentes, à la surface d'un substrat de papier filtre composé de 100 % de fibres de cellulose blanchie et imbibé de six millilitres d'eau déminéralisée. Les boîtes sont hermétiquement fermées et placées dans un germinateur, enceinte spécialement adaptée pour contrôler certains paramètres importants de la germination, notamment la température et l'éclairément.

Germination à 20°C (%)



Graphé n°1 : effet du stockage à 20°C sur la germination de Bromus erectus

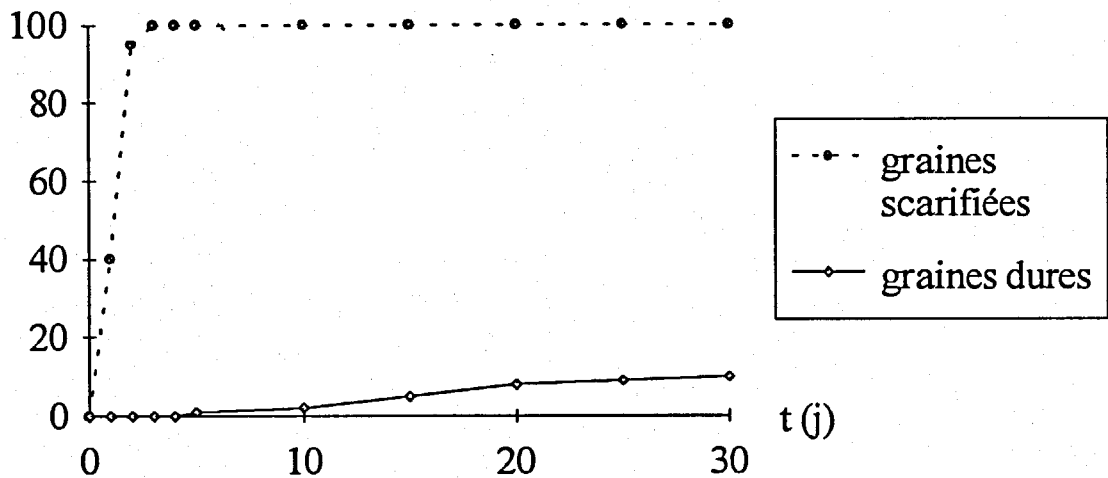
Les espèces de la famille des Graminées, notamment les céréales, ont fait l'objet de recherches approfondies et il est aujourd'hui admis qu'il existe pour ces espèces une inaptitude à germer à des températures élevées (20-25°C) lorsque les semences sont

fraîchement récoltées. Cette **dormance** est éliminée si les semences sont conservées au sec à 20-25°C pendant quelques mois (Côme et Corbineau, 1984).

Nos résultats provisoires concordent avec ce principe et montrent clairement que la **post-maturation** est un phénomène important pour la germination des graminées que nous étudions (graphe n°1).

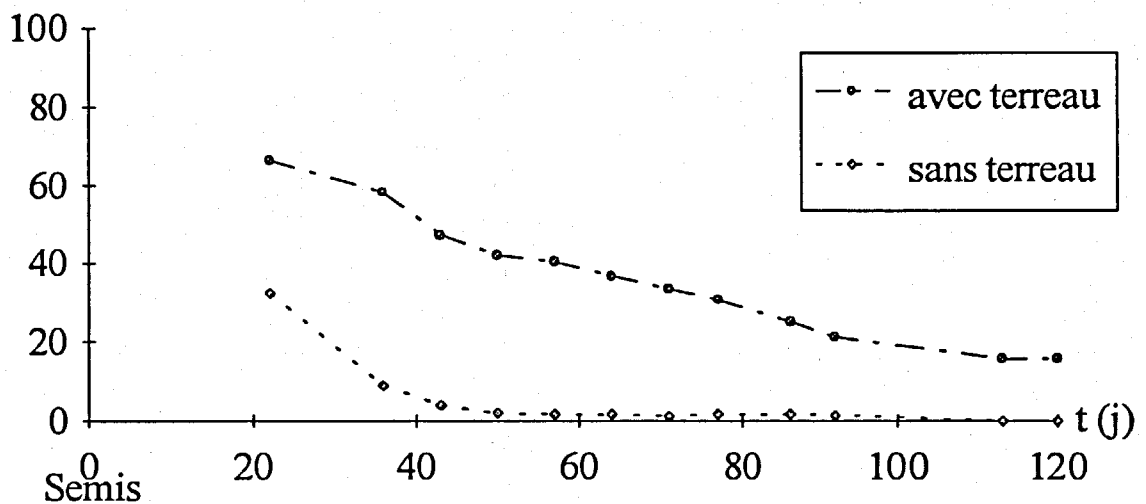
Les semences des Légumineuses fonctionnent différemment, et sont dites "**graines dures**" : il y a une forte inhibition à la germination exercée par les téguments qui entourent l'embryon. Si l'on casse ces enveloppes protectrices (par scarification chimique ou mécanique), la germination a lieu (Crocker et Barton, 1953). Les différentes opérations de scarification que nous avons mené sur les semences des Légumineuses sélectionnées confirment ce mécanisme (graphe n°2).

Germination à 20°C (%)



Grappe n°2 : effet de la scarification mécanique sur la germination d'*Onobrychis saxatilis*

Installation (%)

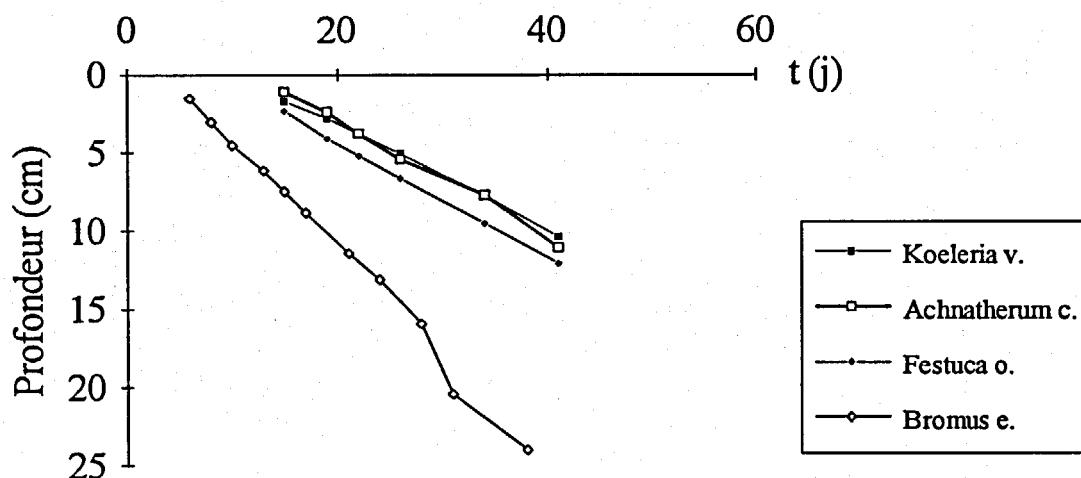


Grappe n°3 : effet d'une couche protectrice sur l'installation de jeunes plantules

Les premiers essais menés sur site afin de mieux comprendre l'influence des conditions du milieu sur la germination des espèces indiquent que l'apport d'une couche protectrice (terreau) favorise la germination des semences et augmente les chances de survie des jeunes plantules (graphe n°3).

Le système racinaire

La connaissance du développement du système racinaire, notamment sa vitesse et son amplitude est très importante. Elle permet de sélectionner efficacement les espèces rapidement capables de s'ancrer sur le substrat instable et de fixer sur place la couche d'altération sensible à l'érosion. C'est pourquoi nous avons entrepris une étude biométrique de la croissance racinaire, en chambre de culture, grâce à l'utilisation d'un dispositif simple et adapté : le **mini-rhizotron**. Les premiers résultats obtenus sont intéressants (graphe n°4). Les croissances racinaires de la Koelérie de Valais, de la Calamagrostide argentée et de la Fétuque ovine sont du même ordre de grandeur (3,6 mm par jour), alors que celle du Brome érigé est nettement plus rapide (7,1 mm par jour).



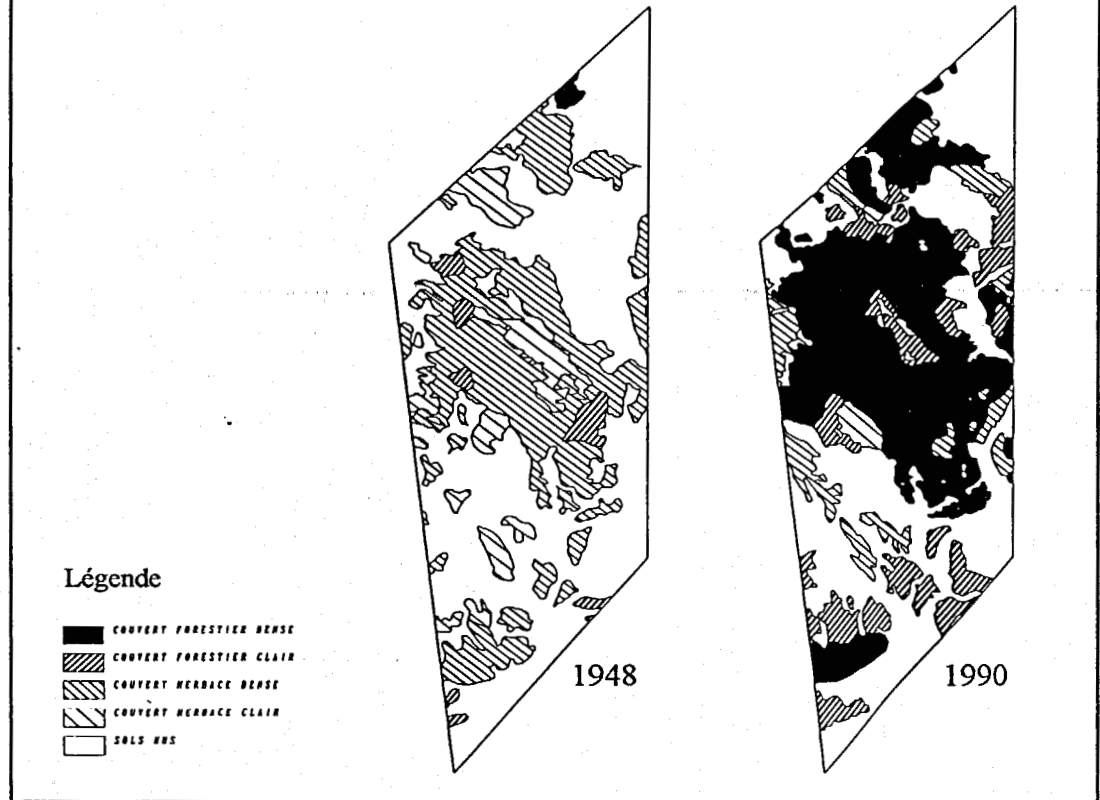
Grappe n°4 : profondeur de sol explorée par les racines de 4 Graminées en fonction du temps

Des essais sont actuellement en cours afin de montrer quelle est l'influence de la granulométrie du substrat sur la vitesse de croissance des racines ainsi que sur la biomasse du système souterrain.

Dynamique naturelle de la végétation

Ce travail a pour but d'étudier l'évolution de la couverture végétale des bad-lands. Nous avons réalisé cette étude grâce à une analyse diachronique basée sur deux photographies aériennes, l'une de 1948 (1/25000), l'autre de 1990 (1/30000). Nous avons défini **cinq classes de discrimination** : couvert forestier dense, couvert forestier clair, couvert herbacé dense, couvert herbacé clair et sols nus. Les quatre premières classes constituent la couverture végétale. Les cartes réalisées manuellement ont ensuite été informatisées par digitalisation des contours sur le logiciel ARC-INFO. Nous avons travaillé sur deux zones, la première d'une superficie d'environ 20 ha, l'autre d'environ 8 ha (figure n°2).

Figure n°2 : Evolution de la couverture végétale entre 1948 et 1990 (zone 2)



L'analyse du tableau n°2 indique que la **couverture végétale est en progression** : elle augmente de 10 % sur la zone 1 et de 20 % sur la zone 2 en un peu plus de quarante ans. Il semble donc qu'une partie importante des secteurs en érosion il y a quarante ans sont aujourd'hui couverts et protégés par la végétation. Ainsi **l'évolution des bad-lands s'effectue dans le sens de la conquête des terrains par la végétation.**

| | Zone 1 | | Zone 2 | |
|---------------------|--------|------|--------|------|
| | 1948 | 1990 | 1948 | 1990 |
| Couverture végétale | 36.9 | 46.6 | 40.6 | 60.0 |
| Sols nus | 63.1 | 53.4 | 59.4 | 40.0 |

Tableau n°2 : évolution du couvert végétal exprimée en pour cent de la surface totale

L'augmentation globale du couvert végétal peut être détaillée en suivant l'évolution de points répartis uniformément sur les zones étudiées. Il s'avère que 60 % pour la zone 1 et 85 % pour la zone 2 de l'augmentation globale correspondent au couvert forestier, principalement représentés par le Pin sylvestre (*Pinus sylvestris*). Cette espèce s'est développée sur des zones initialement herbacées (35 % pour la zone 1, 60 % pour la zone 2) et sur des terrains totalement dénudés (20 % pour la zone 1 et 30 % pour la zone 2). Sur les marnes du bathonien-oxfordien de Draix le Pin sylvestre s'est donc développé avec une grande rapidité, sur des sols nus ou partiellement colonisés et nos

résultats vont dans le même sens que d'autres travaux qui ont montré le grand dynamisme de cette espèce dans le sud-est de la France (Gabouriaux, 1984 ; Barbero et col., 1990).

Il apparaît aussi tout à fait intéressant de souligner que l'augmentation de la couverture végétale n'est pas la résultante entre des secteurs où la végétation progresse et des secteurs où la végétation régresse. En effet, nous n'avons trouvé aucune zone couverte en 1948 et qui ne l'était plus en 1990. Autrement dit les végétaux qui arrivent à se fixer sur ces terrains, se maintiennent en place et sont capables de partir à la conquête des espaces nus dégradés.

Il reste néanmoins à définir quelles sont les influences de la topographie et de l'exposition sur cette dynamique végétale.

3. Technique d'installation du matériel végétal

C'est le semis qui est envisagé pour la végétalisation des marnes noires, en raison de sa rapidité de mise en oeuvre (semis hydraulique), de l'utilisation aisée du matériel végétal sous forme de graines, et de la possibilité d'obtenir une couverture rapide et dense du sol. L'utilisation des semences nécessite alors de trouver une technique qui permette d'une part de fixer momentanément sur les versants la couche superficielle d'altération en constante érosion, et d'autre part de retenir les semences le temps de la germination, en favorisant notamment les zones d'accrochage. De nombreux produits existent (géotextiles synthétiques, matériaux naturels) et sont utilisés dans les travaux de réhabilitation ou de protection de sites. Des études comparatives (Cancelli et col., 1990 ; Crosaz, 1993) permettent de mieux sélectionner les produits à utiliser en fonction des besoins.

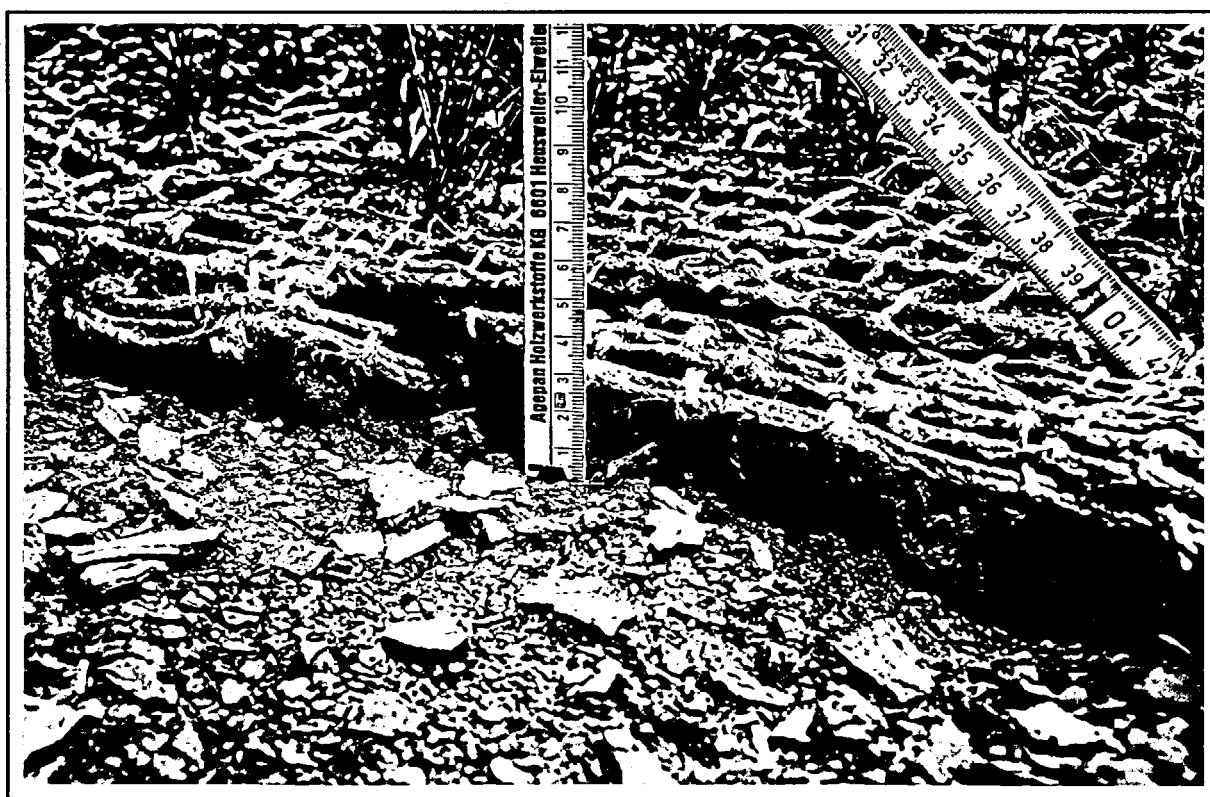
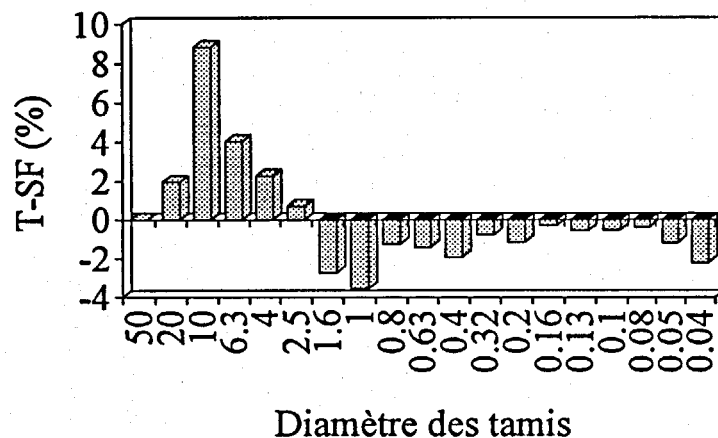


Photo n°1 : le filet fixe la couche superficielle d'altération

Notre objectif est ici de comparer au moyen de parcelles de quelques mètres carrés certains produits qui, à priori, semblent pouvoir être efficaces sur le substrat marneux. Nous étudions principalement deux matériaux naturels et biodégradables. Un filet en fibres de jute filées et tissées formant une structure maillée et ouverte d'environ 15 mm par 15 mm, et un matelas constitué de fibres végétales cardées (fibres de coton et de bois), contenant un mélange d'espèces autochtones (matelas pré-ensemencé).

Le recul nécessaire à une analyse comparée sérieuse n'est pas suffisant, néanmoins nous pouvons dès maintenant mettre en évidence l'influence qu'exerce le filet en fibre de jute sur le substrat. Il est en effet incontestable que le filet retient sur place des matériaux (photo n°1). L'épaisseur de la couche ainsi fixée en 14 mois varie de 10 à plus de 30 mm suivant les secteurs. Ce résultat est à mettre en relation avec l'ablation moyenne annuelle de l'ordre de 11 à 12 mm, calculée à partir de la production de sédiments (t/an) mesurée aux exutoires des différents B.V.R.E. (Brochot et Meunier, 1994). L'impact du filet sur la quantité de matériaux retenus est donc considérable.



Graph n°5 : Différence de proportion entre le témoin (T) et la parcelle sous filet (SF)

En outre, ce produit a aussi une influence sur la qualité des matériaux fixés : toutes les courbes granulométriques sont décalées vers les classes de plus petits diamètres. Sur le graphe n°5, nous pouvons constater qu'il existe un "diamètre seuil" au dessous duquel les proportions de matériaux sont systématiquement plus grandes pour l'échantillon prélevé sous le filet (SF) que l'échantillon témoin (T). Sur les parcelles témoins, les produits de désagrégation des plaquettes, de plus en plus fins et sensibles au ruissellement, sont régulièrement emportés alors qu'ils sont maintenus sur place, protégés par le filet.

| Pente | 24% | 72% | 92% |
|---------------------------|---------|-----------|---------|
| Diamètre seuil (mm) | [0.8-1] | [1.6-2.5] | [2.5-4] |
| Différences maximales (%) | 1.7 | 9 | 28 |

Tableau n°2 : influence de la pente sur les caractéristiques granulométriques

Ce résultat est le même pour les différentes valeurs de pente étudiées. Par contre, les différences maximales entre les classes (T-SF), ainsi que le "diamètre seuil" augmente lorsque la pente augmente (tableau n°2). Ainsi, les différences maximales peuvent atteindre presque 30 % lorsque la pente est de 92 % alors qu'elles ne dépassent pas 2 % lorsque la pente est de 24 %.

4. Mesure de l'efficacité de la végétalisation

Sur des terrains difficiles et particuliers tels que les marnes noires, les mesures sont difficiles et l'incertitude est grande ; il est alors judicieux de s'en tenir à des ordres de grandeur, plus facilement généralisables à de grands domaines tel qu'un bassin versant. Nous avons donc opté pour un dispositif simple qui permette d'étudier le fonctionnement des ravines élémentaires. Il est constitué d'un ouvrage en béton disposé à l'aval de la ravine et forme une mini-plage de dépôt qui retient les matériaux grossiers grâce à une grille métallique, escamotable pour faciliter le curage du piège. Les matériaux retenus sont mesurés à l'aide de seaux jaugés.

Deux ravines ont été équipées : la première d'une superficie de 300 m² environ et une pente moyenne de 38 %, la deuxième d'une superficie de 750 m² environ et une pente moyenne de 18 %. Les deux ravines étudiées ont été laissées en l'état naturel dénudé pendant un an puis ont été végétalisées (décembre 1993). Nous avons traité environ 30 % de la surface totale de chacune des ravines en disposant des bandes de filet perpendiculairement aux lignes de pente. Les bandes ont été plaquées sur des inflorescences de Calamagrostide argenteée préalablement récoltées.

La modélisation du fonctionnement des ravines est en cours et les paramètres explicatifs avec lesquels nous travaillons sont essentiellement pluviométriques : la hauteur totale d'eau tombée (h tot), l'intensité de la pluie (Int), l'énergie cinétique (Ec) et le coefficient d'érosivité (R) (Wischmeier et Smith, 1958).

Il s'avère que la capacité maximale d'infiltration du substrat (CEMAGREF-ONF/RTM, 1987 ; Bufalo et Nahon, 1992), est un élément important à prendre en compte dans notre modèle. En effet, pour les pluies dont l'intensité est inférieure à la capacité d'infiltration, il ne se produit généralement pas de ruissellement et donc pas de transport de sédiments. Nos premiers résultats vont dans ce sens et les meilleures corrélations sont obtenues pour des seuils d'intensité supérieure à 10 mm/h (tableau n°3).

| Seuil (mm/h) | 0 | 5 | 10 | 15 |
|--------------|------|------|------|------|
| h tot | 0.36 | 0.77 | 0.84 | 0.89 |
| Σ h tot | 0.17 | 0.56 | 0.93 | - |
| Ec | 0.59 | 0.81 | 0.86 | 0.89 |
| Σ Ec | 0.29 | 0.68 | 0.94 | - |

Tableau n°3 : effet de l'introduction d'un seuil d'intensité de pluie sur les corrélations entre les volumes de sédiments mesurés dans la plage et quelques paramètres explicatifs (calculs sur 12 événements de l'année 1993)

La mesure de l'érosion correspondant à l'état végétalisé est en cours. La comparaison de l'érosion des bassins entre les deux états nous permettra d'analyser l'impact de la couverture végétale sur le fonctionnement des ravines et sur les taux d'érosion.

Des expériences sont en préparation à l'échelle de la parcelle (un mètre carré) dans le but de comparer in situ l'érosion superficielle, en particulier les quantités de matériaux transportés et les matières en suspension, entre une surface témoin entièrement dénudée et une surface entièrement recouverte par un tapis herbacé dense mis en place par végétalisation (filet et semis). Nous utiliserons un simulateur de pluie du type ORSTOM, et un dispositif de recueil des eaux de ruissellement et des matériaux spécialement mis au point pour ces essais.

5. Conclusion et perspectives

Cette recherche est menée dans le cadre d'une thèse, et l'objectif que nous nous sommes fixé est ambitieux, notamment en regard du peu de temps dont nous disposons. En effet, l'utilisation du matériel végétal pour la protection des sols et la lutte contre l'érosion nécessite une connaissance préalable et approfondie des espèces quant à leurs potentialités de développement et de fixation des terrains rencontrés. Les études que nous avons entreprises dans ce domaine nous permettront bientôt de proposer une solution végétale efficace basée sur la sélection pertinente des plantes les plus adaptées, et sur la quantification de leur impact sur la réduction des taux d'érosion. Néanmoins, dans le but d'améliorer et d'optimiser la méthode de végétalisation des badlands, d'autres recherches devront être menées, en particulier sur le développement de nouveaux géotextiles (structures tridimensionnelles), la connaissance de la pente limite d'intervention, l'étude de la dynamique de conquête des espaces dénudés à partir des zones végétalisées, la recherche d'autres espèces végétales efficaces (arbustes, arbres, plantes exotiques).

(1) Ce texte a fait l'objet d'une présentation orale lors de la dix neuvième session du Groupe de travail sur l'aménagement des bassins versants de montagne, organisée par la F.A.O. à Jaca (Espagne) en juillet 1994.

Références bibliographiques

- CANCELLI A., MONTI R., RIMOLDI P., 1990, *Comparative study of geosynthetics for erosion control*, in Geotextiles, Geomembranes and Related Products, ed. Den Hoedt, Balkema, Rotterdam, pp 403-408.
- BARBERO M., BONIN G., LOISEL R., QUEZEL P., 1990, *Changes and disturbances of forest ecosystems caused by human activities in the western part of the mediterranean basin*, Vegetatio, n°87, pp 151-173.
- BAROUILLET J., 1982, *La revégétalisation dans les Alpes du Sud - Choix et emploi des espèces herbacées ou arbustives*, document technique CEMAGREF, 148 p.
- BAROUILLET J., 1982, *Guide des espèces d'embroussaillage et d'enherbement dans les Alpes du Sud - Annexes*.
- BROCHOT S. et MEUNIER M., 1994, *Erosion de badlands dans les Alpes du Sud - Synthèse*, rapport d'étude CEMAGREF-Ministère de la recherche et de l'espace, 44 p.
- BUFALO M. et NAHON D., 1992, *Erosional processes of Mediterranean badlands : a new erosivity index for predicting sediment yield from gully erosion*, Geoderma, n°52, pp 133-147.

- CEMAGREF-ONF/RTM**, 1987, *Bassins versants expérimentaux de Draix-Compte rendu de recherche n°1 en érosion et hydraulique torrentielle*, rapport, 128 p.
- CÔME D. et CORBINEAU F.**, 1984, *La dormance des semences des céréales et son élimination - Principales caractéristiques*, C.R. de l'Académie d'Agriculture de France, 70, n°5, pp 709-715.
- CROCKER W. et BARTON L. V.**, 1953, *Physiology of seeds - An introduction to the experimental study of seed and germination problems*, Chronica Botanica Company, Waltham, Mass, USA, 267 p.
- CROSAZ Y.**, 1993, *Recherche sur la fixation des sols et essais de comportements des fixateurs et matériaux composites pour la revégétalisation en zones extrêmes*, rapport d'étude CEMAGREF-SIRAS, 44 p.
- GABOURIAUT C.**, 1984, *Etudes diachroniques (1900-1980) et cartographie par photo-interprétation de l'évolution des végétations forestières suite à la déprise rurale - Application à un secteur des Alpes Maritimes (06) : Isola, St-Martin-Vésubie*, thèse, Aix-Marseille III, 82 p.
- OZENDA P.**, 1966, *Perspectives nouvelles pour l'étude phytogéographique des Alpes du Sud*, Documents pour la carte de la végétation des Alpes, IV, pp 71-108.
- SCHMID E.**, 1936, *Die reliktföhrenwälder der Alpen*, Beitr. zur geobot., Landesaufnahme des Schweiz, Bern, 190 P.
- WISCHMEIER W.H. and SMITH D.D.**, 1958, *Rainfall energy and its relationship to soil loss*, Trans.-American Geophysical Union, n°39, pp 285-291.

ÉROSION HYDRIQUE ET PERTES D'HUMUS ET D'ÉLÉMENTS BIOGÈNES DANS LES BASSINS VERSANT À DIFFÉRENTS ÉTATS DE LA COUVERTURE VÉGÉTALE

STANIMIR KOSTADINOV

Université de Belgrade, Faculté Forestière;
Kneza Višeslava 1; 11030 Belgrade, Yougoslavie

MILUN TOPALOVIC

Institut de la Foresterie et du Traitement du Bois
Kneza Višeslava 3; 11030 Belgrade, Yougoslavie

Résumé

L'érosion hydrique est un type d'érosion dominant dans la région montagnarde de la Serbie. Les conséquences de l'érosion hydrique sont la perte en sol, la perturbation du régime de ruissellement, l'apparition des inondations torrentielles, ainsi que le comblement des accumulations hydriques et des rivières d'alluvions fluviales, etc. Tous ces effets apparents sont dus à une action nuisible du processus de l'érosion hydrique.

Il existe aussi des effets nuisibles de l'érosion hydrique difficilement identifiables concernant, par exemple, les pertes en matières organiques (humus) et en éléments nutritifs (biogènes). Les éléments nutritifs et la matière organique entraînent des particules de sol des flancs en causant un double dégât: appauvrissement du sol, c'est-à-dire diminution de sa fertilité et aussi la contamination chimique des eaux dans les cours d'eau et les accumulations avec des éléments nuisibles.

L'intensité de l'érosion hydrique et de la perte en éléments biogènes dépend de nombreux facteurs. Cependant, la couverture végétale, c'est-à-dire la manière d'utilisation du sol dans le bassin versant joue un rôle très important.

Cet ouvrage présente des résultats obtenus pendant la période de dix ans des études de l'érosion, du débit solide et des pertes en éléments biogènes (humus, azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium) dans trois petits bassins versant de la région montagnarde de la Serbie occidentale. Excepté leur différent degré de boisement, ces bassins versant réception ont mêmes ou de semblables caractéristiques naturelles. Dans le bassin versant Djurinovac potok la surface couverte de forêt de bonne densité est de 39,5%, dans celui de Dubošnički potok, de 48% et dans celui de Lonjinski potok le boisement est de 70% de la surface totale du bassin versant.

Mots clés: érosion hydrique, pertes en éléments biogènes, couverture végétale, débit solide.

1. INTRODUCTION

L'érosion hydrique est un processus très complexe d'entraînement de particules du sol des pentes ou du lit des cours d'eau, et de transport des matériaux entraînés du haut vers le bas du bassin versant. Ces particules entraînées des pentes et du lit de la rivière forment des matières solides. À côté des particules minérales, les matières organiques (humus) et les éléments biogènes se trouvant dans le sol sont lessivés des pentes du bassin versant et transportés plus loin par le réseau hydrographique. La perte de matières organiques et d'éléments biogènes des pentes entraîne la diminution de fertilité du sol, ce qui nécessite des investissements complémentaires pour son amélioration. Le comblement des cours d'eau de matériaux solides

menace, de sa côté, des accumulations et fait élever le fond du cours d'eau. Excepté des effets nuisibles dûs à la perte de sol et au comblement des cours d'eau de matériaux solides, on confronte aussi à la pollution des eaux des cours d'eau et des accumulations. Ces effets nuisibles résultent non seulement des pertes de matières naturelles du sol lessivées par l'érosion hydrique, mais aussi des engrais et des pesticides utilisés pour la production végétale.

D'après les données de l'Association américaine des aqueducs, le ruissellement de surfaces agricoles et l'apparition des matières nutritives dans les cours d'eau sont une des causes principales de la pollution des eaux par l'azote et les phosphates (Gudzon, 1974). On peut donc parler de grande importance de ce problème, si l'on sait que la perte annuelle d'azote, de phosphore et de potassium en Amérique est d'environ 50 millions de tonnes (Zaslavskij, 1987). Le même auteur présente les pertes d'éléments biogènes exprimées en kg par tonne de matières en suspension étant de 3 kg d'azote, 1,7 kg de phosphore et de plus de 20 kg de potassium.

On sait bien que le débit solide dépend de deux facteurs fondamentaux: production érosive des matières solides dans le bassin de réception (de l'intensité des processus érosifs) et de la capacité de transport des cours d'eau dépendant des conditions hydrologiques et hydrauliques qui règnent dans le lit. L'évolution des processus érosifs dans le bassin versant est conditionnée par un grand nombre de facteurs parmi lesquels la végétation forestière a la plus grande action sur la diminution des processus érosifs. C'est pourquoi cet article traite les résultats des recherches de l'érosion hydrique, du transport solide (dû à l'érosion) et des pertes de matières organiques et d'éléments biogènes dans trois petits bassins versant expérimentaux dans la Serbie occidentale.

Les bassins versant sont caractérisés par de semblables conditions naturelles, l'état de la couverture végétale étant une seule différence entre eux.

2. MÉTHODES DE TRAVAIL

Les éléments nutritifs étant lessivés des pentes du bassin versant ensemble avec de petites particules de sol qui forment des matières en suspension, les méthodes de travail utilisés pendant ces recherches ont compris:

- étude des caractéristiques naturelles des bassins versant et analyse des facteurs physico-géographiques de la genèse des matières solides,
- mesure du débit liquide,
- mesure du débit de matières en suspension, et du débit de charriage
- analyses chimiques des matières en suspension.

Les caractéristiques naturelles des bassins versant ont été étudiées sur la base des données de littérature (climat, géologie, sol) et de la reconnaissance directe du terrain (végétation et processus d'érosion).

L'analyse des facteurs physico-géographiques de la genèse des matières solides a été faite d'après Gavrilovich (1972). Les précipitations ont été mesurées par le pluviomètre. On a fait la mesure du débit liquide et du débit solide (matières en suspension et charriage) sur les profils hydrométriques bien équipés et aménagés en appliquant la méthode qui correspond aux cours d'eau torrentiels (Kostadinov, 1984). On a prélevé un échantillon de la quantité annuelle de matières solides pour pouvoir déterminer l'humus d'après Tjurin et l'azote total d'après la méthode macro Kjeldahl. Après la combustion, on a procédé à l'analyse de la solution dont le

calcium et la magnésium ont été déterminés par l'analyse complexométrique et le phosphore, par l'analyse colorimétrique et le potassium, par photométrie à flamme.

3. RÉSULTATS DES RECHERCHES

3.1. Caractéristiques physico-géographiques des bassins versant expérimentaux

Pour les bassins versant expérimentaux, on a choisi les cours d'eau torrentiels types dans les régions montagnardes de la Serbie: Dubošnički potok, Lonjinski potok et Djurinovac potok. Tous les trois bassins versant, très proches l'un de l'autre, sont les affluents droits de la rivière Drina (figure 1). Les paramètres fondamentaux de ces bassins de réception sont donnés dans le tableau 1.

Tableau 1. Périmètres des bassins versant

| PARAMÈTRES | INDICE | DUBOŠNIČKI POTOK | LONJINSKI POTOK | DJURINOVAC POTOK |
|-------------------------------------|----------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| Superficie du bassin versant | F-km ² | 1.2464 | 0.7656 | 0.5440 |
| Périmètre du bassin versant | O-km | 5.25 | 3.60 | 3.55 |
| Longueur du bassin versant | L _{gl} -km | 2.48 | 1.40 | 1.40 |
| Densité du drainage | G-km km ² | 3.26 | 2.38 | 4.04 |
| Base locale d'érosion | B _e -m | 490.50 | 295.20 | 246.80 |
| Altitude moyenne du bassin versant | N _{sr} -m | 487.90 | 363.90 | 299.70 |
| Pente moyenne du bassin versant | J _{sr} % | 47.24 | 38.87 | 43.59 |
| Pente moyenne dultit | J _t % | 18.37 | 18.94 | 12.63 |
| Coefficient d'érosion (Gavrilovich) | Z | 0.56 | 0.34 | 0.49 |

Tous les trois bassins versant sont caractérisés par le même fond géologique (schiste sableux) et par le même type de sol -sol brun acide sur le schiste.

La couverture végétale, c'est-à-dire la manière d'utilisation du sol dans les bassins versant sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2. Mode d'emploi du sol dans le bassin versant

| CULTURE | DUBOŠNIČKI POTOK | | LONJSKI POTOK | | DJURINOVAC POTOK | |
|----------------------------|---------------------|-------|------------------|-------|---------------------|-------|
| | km ² | % | km ² | % | km ² | % |
| Pâturage | 0.0224 | 1.80 | 0.0140 | 1.83 | - | - |
| Prairie | 0.1768 | 14.18 | 0.0700 | 9.14 | 0.0764 | 14.04 |
| Terres labourables | 0.0256 | 2.05 | 0.0300 | 3.92 | 0.0136 | 2.50 |
| Fermes | 0.0304 | 2.44 | 0.0120 | 1.57 | 0.0570 | 10.48 |
| Vergers | 0.0784 | 6.29 | 0.0230 | 3.00 | 0.0168 | 3.10 |
| Maquis et farêts dégradées | 0.2848 | 22.86 | 0.0780 | 10.19 | 0.1456 | 26.76 |
| Farêts de bonne qualité | 0.6048 | 48.52 | 0.5386 | 70.35 | 0.2149 | 39.50 |
| Sol dénudé | 0.0232 | 1.86 | - | - | 0.0197 | 3.62 |
| Total | 1.2464 | 100 | 0.7656 | 100 | 0.5440 | 100 |

Du pont de vue de la protection du sol contre l'érosion (contre le "bombardement" des gouttes de pluie), on entend par une bonne densité, celle qui est au-dessus de 0,7. Pour le bassin versant Lonjinski potok, la forêt de bonne densité couvre 70,35% , pour le bassin versant Dubošnički potok, 48,52% et pour celui de Djurinovac potok, 39,5%. Le haut degré de boisement de Lonjinski potok est la conséquence, d'un côté, de la végétation naturelle de cette région - forêts de chênes hongrois et de chênes cerris, forêts de chênes sessiliflores et de hêtres, et de l'autre côté, des forêts artificielles - cultures de robiniers, de pins noirs et d'épicéas. Toutes ces culutres assurent une bonne protection du sol contre l'érosion, en couvrant ainsi tous les terrains nus qu'il y en avait jusqu' à 1972 dans le bassin versant de ce ruisseau. Les processus érosifs de différente intensité sont directement liés au taux de boisement des bassins versant. La répartition et l'importance des processus érosifs (sur la base de la carte de l'érosion faite suivant la méthode de Gavrilovich , 1972) sont données dans le tableau 3.

Tableau 3. Distribution de processus d'érosion dans les bassins versant

| CATÉGORIE | Z | DUBOSNICKI P. | | LONJINSKI P. | | DJURINOVAC P. | |
|--------------------------------|------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
| | | km ² | % | km ² | % | km ² | % |
| Érosion excessive | 1.25 | 0.0862 | 6.92 | 0 | 0 | 0.0480 | 8.80 |
| Érosion intense | 0.85 | 0.2296 | 18.42 | 0.0428 | 5.60 | 0.0250 | 4.60 |
| Érosion moyenne | 0.55 | 0.5040 | 40.44 | 0.1922 | 25.10 | 0.2040 | 37.50 |
| Érosion faible | 0.30 | 0.3698 | 29.66 | 0.3202 | 41.82 | 0.2190 | 40.30 |
| Érosion très faible | 0.10 | 0.0568 | 4.56 | 0.2104 | 27.48 | 0.0480 | 8.80 |
| Total | | 1.2464 | 100 | 0.7656 | 100 | 0.5440 | 100 |
| Coefficient moyen de l'érosion | | Z=0.56 | | Z=0.34 | | Z=0.49 | |

Les processus érosifs de plus grande importance apparaissent dans le bassin versant Dubošnički potok (coefficient de l'érosion Z=0,56), puis dans celui de Djurinovac potok (Z=0,49), et le processus érosif de plus petite importance apparaît dans le bassin versant Lonjinski potok (Z=0,34). Dans tous les bassins versant apparaît l'érosion hydrique comme une forme dominante de l'érosion.

3.2. Le débit liquide et le débit solide

Dans le tableau 4 sont données les valeurs annuelles des précipitations, du ruissellement spécifique et du débit solide spécifique entre 1980 et 1988.

Les symboles du tableau signifient:

- ♦ H - somme annuelle des précipitations en mm
- ♦ M_Q - ruissellement annuel spécifique en $Ls^{-1}km^{-2}$
- ♦ M_R - débit annuel spécifique des matières en suspension en m^3km^{-2}
- ♦ M_G - débit solide total annuel, spécifique (matières en suspension et charriées) en m^3km^{-2}
- ♦ n - nombre de jours d'une année du dessèchement du cours d'eau.

Les plus grandes précipitations moyennes annuelles et le plus grand ruissellement annuel spécifique ont été enregistrés dans le bassin versant Lonjinski potok, et ceux de plus faible intensité, dans la région de Dubošnički potok. Le bassin versant Lonjinski potok était toujours plein d'eau pendant les recherches (sauf cinq jours au mois de juillet 1983 et 1985), tandis que le bassin versant Dubošnički potok était sec pendant la période de haute température (en moyenne 111 jours), et celui de Djurinovac potok, en moyenne 196 jours par an, ce qui explique le mieux le régime de ruissellement de ces bassins de réception.

Tableau 4. Caractéristiques annuelles de précipitations, du débit liquide et du débit solide

| BASSIN VERSANT | ANNÉE | H | M_Q | M_R | M_G | n |
|---------------------|-------|---------|--------------------|---------------|---------------|--------|
| | | mm | $L s^{-1} km^{-2}$ | $m^3 km^{-2}$ | $m^3 km^{-2}$ | |
| DUBOŠNIČKI POTOK | 1980 | 1020.30 | 13.74 | 57.91 | 283.01 | 24 |
| | 1981 | 984.50 | 10.45 | 81.55 | 112.46 | 98 |
| | 1982 | 794.80 | 5.90 | 76.46 | 111.32 | 7 |
| | 1983 | 687.30 | 1.75 | 28.26 | 42.95 | 137 |
| | 1984 | 705.50 | 12.80 | 254.22 | 306.67 | 49 |
| | 1985 | 509.50 | 4.14 | 44.33 | 300.98 | 104 |
| | 1986 | 722.60 | 4.47 | 32.67 | 66.43 | 191 |
| | 1987 | 873.00 | 4.99 | 316.01 | 780.56 | 205 |
| | 1988 | 602.10 | 2.15 | 3.31 | 3.31 | 185 |
| Valeur moyenne | | 766.60 | 6.71 | 99.41 | 223.08 | 111.10 |
| LONJINSKI POTOK | 1980 | 1054.70 | 12.44 | 16.03 | 16.03 | 0 |
| | 1981 | 1011.20 | 10.16 | 38.01 | 38.01 | 0 |
| | 1982 | 779.60 | 7.78 | 48.16 | 48.16 | 0 |
| | 1983 | 768.00 | 5.64 | 40.26 | 40.26 | 5 |
| | 1984 | 906.10 | 14.58 | 64.31 | 64.31 | 0 |
| | 1985 | 591.30 | 8.63 | 13.46 | 13.46 | 5 |
| | 1986 | 612.20 | 3.76 | 3.01 | 3.01 | 0 |
| | 1987 | 995.50 | 11.73 | 119.84 | 119.84 | 0 |
| | 1988 | 737.10 | 8.26 | 90.98 | 90.98 | 0 |
| Valeur moyenne | | 828.40 | 9.22 | 48.23 | 48.23 | 1.10 |
| DJURINOVAC POTOK | 1981 | 1011.20 | 12.19 | 44.27 | 155.25 | 91 |
| | 1982 | 779.60 | 9.14 | 101.47 | 178.29 | 185 |
| | 1983 | 734.10 | 5.84 | 10.78 | 10.78 | 232 |
| | 1984 | 906.10 | 10.42 | 24.64 | 43.47 | 206 |
| | 1985 | 591.30 | 4.51 | 11.87 | 34.18 | 197 |
| | 1986 | 703.00 | 5.03 | 30.85 | 94.38 | 228 |
| | 1987 | 674.60 | 4.83 | 129.44 | 392.70 | 220 |
| | 1988 | 889.10 | 14.82 | 152.38 | 447.84 | 208 |
| Valeur moyenne | | 786.10 | 8.35 | 63.21 | 169.61 | 195.90 |

En partant de ces données, on peut conclure que les ruissellements dans les bassins versant Dubošnički potok et Djurinovac potok se sont manifestés en général sous forme de crues après les pluies, tandis que le ruissellement de Lonjinski potok avait plutôt un régime équilibré sans grandes pointes de crue.

Le plus grand débit de matières en suspension et débit solide total ont été enregistrés dans le bassin versant Dubošnički potok, et le plus petit débit de matières en suspension et le débit solide total, dans le bassin versant Lonjinski potok. Il faut dire qu'on n'a enregistré dans le bassin versant Lonjinski potok que le débit de matières en suspension. Le débit solide total annuel, moyen, spécifique du bassin versant Lonjinski potok est de 4,62 fois plus faible que celui du bassin versant Dubošnički potok et aussi de 3,52 fois plus faible que celui de Djurinovac potok.

Puisque les pertes de matières organiques et d'éléments biogènes dues à l'érosion hydrique dans le bassin versant résultent en général du transport des matières en suspension du bassin versant, le tableau 5 donne le débit annuel de matières en suspension dans tous les trois bassins versant entre 1984 et 1988, période pendant laquelle on a effectué les recherches de pertes de ces éléments.

Tableau 5. Débit de matériaux suspendus pendant la période de 1984 à 1988

| ANNÉE | DUBOŠNICKI POTOK | | LONJINSKI POTOK | | DJURINOVAC POTOK | |
|----------------|--------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|
| | t·km ⁻² | Total t | t·km ⁻² | Total t | t·km ⁻² | Total t |
| 1984 | 279.64 | 348.54 | 70.74 | 56.16 | 27.10 | 14.74 |
| 1985 | 48.76 | 60.77 | 14.81 | 11.34 | 13.06 | 7.10 |
| 1986 | 35.94 | 44.80 | 3.31 | 2.53 | 33.94 | 18.46 |
| 1987 | 347.61 | 433.26 | 131.82 | 100.92 | 142.38 | 74.45 |
| 1988 | 3.64 | 4.54 | 100.08 | 76.62 | 167.62 | 91.88 |
| Valeur moyenne | 143.12 | | 64.15 | | 76.82 | |

Le débit de matières en suspension dans ce tableau est exprimé en t km² (valeurs spécifiques par an et valeurs totales annuelles en t). On a enregistré le plus petit débit moyen annuel de matières en suspension pendant cette période dans le bassin versant Lonjinski potok, et le plus grand débit, dans celui de Dubošnički potok.

3.3 Pertes d'éléments nutritifs

Les pertes annuelles de matières organiques et d'éléments biogènes des bassins versant sont étroitement liées à l'intensité de l'érosion, c'est-à-dire à la production et au débit solide. L'importance de ces pertes d'un même bassin versant dépend des propriétés - d'une somme totale des précipitations et de la somme pendant la période du débit solide, puis de la répartition et de l'intensité des précipitations. Le plus grand débit solide, c'est-à-dire les plus grandes pertes d'humus et d'éléments biogènes ont été enregistrées dans les bassins versant Lonjinski potok et Dubošnički potok en 1987, an connu par une grande somme des précipitations. Pour le bassin versant Djurinovac potok, le plus grand débit solide et les pertes de matières nutritives, on les a enregistrés en 1988, puis en 1987. Pour le bassin versant Djurinovac potok (1984), il est nécessaire de souligner que le débit solide et de petites pertes d'humus et d'éléments biogènes sont disproportionnels à une grande somme totale des précipitations. Ce phénomène est la conséquence de la répartition et de la quantité de sédiments déposés au cours de l'année qui n'ont pas entraîné un débit plus important de matières en suspension (tableaux de 4 à 8).

En partant de différentes manières d'utilisation du sol, on a constaté de grandes différences entre les pertes d'humus et d'éléments biogènes entre les bassins versant analysés qui sont caractérisés par un taux différent de boisement et par une densité différente de végétation forestière.

Tableau 6. Pertes annuelles d'humus et d'éléments biogènes

| Bassin versant | Année | Perte en kg | | | | | |
|---------------------|-------|-------------|---------|--------|---------|---------|---------|
| | | Humus | N | P | K | Ca | Mg |
| DUBOŠNIČKI POTOK | 1986 | 1406.41 | 71.66 | 26.87 | 89.58 | 465.82 | 313.53 |
| | 1987 | 29418.35 | 2166.30 | 389.93 | 1213.13 | 9618.37 | 4852.51 |
| | 1988 | 949.31 | 50.85 | 10.44 | 14.07 | 46.31 | 44.49 |
| LONJINSKI POTOK | 1984 | 4000.42 | 254.55 | 32.50 | 211.22 | 422.45 | 211.22 |
| | 1985 | 1096.58 | 61.24 | 6.80 | 45.36 | 90.72 | 87.32 |
| | 1986 | 234.19 | 13.46 | 2.29 | 12.45 | 35.56 | 22.10 |
| | 1987 | 6125.54 | 343.11 | 60.55 | 363.29 | 605.49 | 514.66 |
| | 1988 | 3685.05 | 206.84 | 38.31 | 275.80 | 582.25 | 390.72 |
| DJURINOVAC POTOK | 1984 | 1057.58 | 78.18 | 8.85 | 67.85 | 126.85 | 119.48 |
| | 1985 | 856.97 | 3.76 | - | - | - | - |
| | 1986 | 1718.63 | 77.53 | 14.77 | 101.53 | 221.52 | 121.84 |
| | 1987 | 7288.99 | 333.08 | 54.22 | 472.51 | 1022.47 | 867.55 |
| | 1988 | 7790.67 | 367.49 | - | - | - | - |

Si l'on fait la comparaison entre le bassin versant Lonjinski potok et celui de Dubošnički potok, connus par leurs processus érosifs allant des plus faibles aux plus fortes, on peut constater qu'en 1987, année de plus grand débit de matières en suspension, les pertes annuelles de Dubošnički potok sont plus grandes pour: l'humus 3 fois, l'azote et le phosphore 4 fois, le potassium 23 fois, la calcium 10 fois et le magnésium 6 fois (tableau 7). Cela confirme le rôle protecteur de la végétation forestière dans des bassin versant et son action sur l'intensité de ces pertes.

Tableau 7. Valeurs spécifiques des pertes annuelles d'humus et d'éléments biogènes

| Bassin versant | Année | Perte en kg·ha ⁻¹ | | | | | |
|---------------------|-------|------------------------------|-------|------|------|-------|-------|
| | | Humus | N | P | K | Ca | Mg |
| DUBOŠNIČKI POTOK | 1986 | 11.28 | 0.57 | 0.22 | 0.72 | 3.74 | 2.52 |
| | 1987 | 236.03 | 17.38 | 3.13 | 9.73 | 77.17 | 38.93 |
| | 1988 | 7.62 | 0.41 | 0.08 | 0.11 | 0.37 | 0.36 |
| LONJINSKI POTOK | 1984 | 52.25 | 3.32 | 0.42 | 2.76 | 5.52 | 2.76 |
| | 1985 | 14.32 | 0.80 | 0.09 | 0.59 | 1.18 | 1.14 |
| | 1986 | 3.06 | 0.18 | 0.03 | 0.16 | 0.46 | 0.29 |
| | 1987 | 80.01 | 4.48 | 0.79 | 4.74 | 7.91 | 6.72 |
| | 1988 | 48.13 | 2.70 | 0.50 | 3.60 | 7.60 | 5.10 |
| DJURINOVAC POTOK | 1984 | 19.44 | 1.44 | 1.63 | 1.25 | 2.33 | 2.20 |
| | 1985 | 15.75 | 0.07 | - | - | - | - |
| | 1986 | 31.59 | 1.42 | 0.27 | 1.87 | 4.07 | 2.24 |
| | 1987 | 133.99 | 6.12 | 1.00 | 8.68 | 18.80 | 15.95 |
| | 1988 | 143.21 | 6.75 | - | - | - | - |

Les données présentées dans les tableaux de 6 à 8 indiquent l'importance de ces pertes d'humus et d'éléments biogènes, surtout l'importance des pertes d'humus. Puisqu'il s'agit en général des bassins versant d'un taux élevé de boisement, les pertes d'humus (ayant un rôle particulier de protection contre le transport du sol) traduisent dans de nombreux cas le caractère des processus d'érosion. Les plus grandes pertes d'humus par tonne de matières en suspension dans tous les trois bassins versant ont été enregistrées pendant la période de plus petites sommes des précipitations (tableau 8).

Tableau 8. Pertes annuelles d'humus et d'éléments biogènes par tonne de matériaux suspendus

| Bassin versant | Année | Perte en kg·t ⁻¹ | | | | | |
|---------------------|-------|-----------------------------|-------|------|------|-------|-------|
| | | Humus | N | P | K | Ca | Mg |
| DUBOŠNIČKI POTOK | 1986 | 31.40 | 1.60 | 0.60 | 2.00 | 10.40 | 7.00 |
| | 1987 | 68.90 | 5.00 | 0.90 | 2.80 | 22.20 | 11.20 |
| | 1988 | 209.31 | 11.20 | 2.30 | 3.10 | 10.20 | 9.80 |
| LONJINSKI POTOK | 1984 | 73.86 | 4.69 | 0.59 | 3.90 | 7.80 | 3.90 |
| | 1985 | 96.69 | 5.40 | 0.61 | 3.98 | 7.97 | 7.70 |
| | 1986 | 92.45 | 5.44 | 0.91 | 4.83 | 13.90 | 8.76 |
| | 1987 | 60.70 | 3.40 | 0.60 | 3.60 | 6.00 | 5.10 |
| | 1988 | 48.10 | 2.70 | 0.50 | 3.60 | 7.60 | 5.10 |
| DJURINOVAC POTOK | 1984 | 71.73 | 5.31 | 6.01 | 4.61 | 8.60 | 8.12 |
| | 1985 | 120.60 | 0.54 | - | - | - | - |
| | 1986 | 93.08 | 4.18 | 0.80 | 5.51 | 11.99 | 6.60 |
| | 1987 | 94.11 | 4.30 | 0.70 | 6.10 | 13.20 | 11.20 |
| | 1988 | 84.79 | 4.00 | - | - | - | - |

Dans ces cas, les matières solides se forment particulièrement d'une partie d'horizon d'humus du sol brun acide. Pendant les années de plus grande somme des précipitations il y a la diminution des pertes d'humus, ce qui montre que la structure des matières solides dépend non seulement de l'érosion en nappe, mais aussi du processus de l'érosion linéaire.

4. CONCLUSION

Les recherches effectuées dans trois petits bassins versant expérimentaux dans la Serbie occidentale ont montré qu'on devait attendre, de temps en autre, des pertes très élevées d'humus et d'éléments biogènes provoquées par l'érosion hydrique. On perd, de cette manière, 80 kg d'humus, 4,5 kg d'azote, 0,79 kg de phosphore, 4,74 kg de potassium, 7,91 kg de calcium et 6,72 kg de magnésium par hectare du bassin versant aux plus faibles processus d'érosion en année avec le plus grand débit de matières en suspension pendant la période des recherches. Les pertes sont beaucoup plus élevées dans le bassin versant aux processus érosifs les plus intensifs. En les évaluant par hectare, ces pertes sont de 236 kg d'humus, de 17,38 kg d'azote, de 3,13 kg de phosphore, de 9,73 kg de potassium, de 77,17 kg de calcium et de 38,93 kg de magnésium. Les recherches effectuées ont montré qu'une meilleure protection contre les pertes quantitatives et qualitatives de sol était assurée par la végétation forestière de densité correspondante, dont on doit tenir compte lors de l'aménagement du terrain dans des semblables conditions naturelles, pour éviter les dégâts matériels et écologiques qui pourraient être provoqués par ces pertes.

5. RÉFÉRENCES

1. Gavrilović, S., (1972): Inženjering o bujičnim tokovima i eroziji. Specijalno izdanje časopisa "Izgradnja", Beograd
2. Gudzon, N., (1974): Ohrana počvi i borba s erozijem; "Kolos", Moskva
3. Kostadinov, S., (1984): Vodna erozija i mogućnost merenja pronosa nanosa u bujičnim tokovima, "Zemljište i biljka" Vol. 33, No 2, str. 129-137, Beograd
4. Kostadinov, S., (1985): Istraživanje pronosa nanosa u bujičnim tokovima zapadne i jugoistočne Srbije. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet, Beograd
5. Kostadinov, S., Stanojević, G., Topalović, M., (1992): Gubici organske materije i hranljivih elemenata usled vodne erozije, Glasnik Šumarskog fakulteta br.74, str. 645-654, Beograd
6. Zaslavskij, M. N., (1987): Erozijskovedenie, osnovi protiverozionavo zemledelija. "Visšaja škola", Moskva

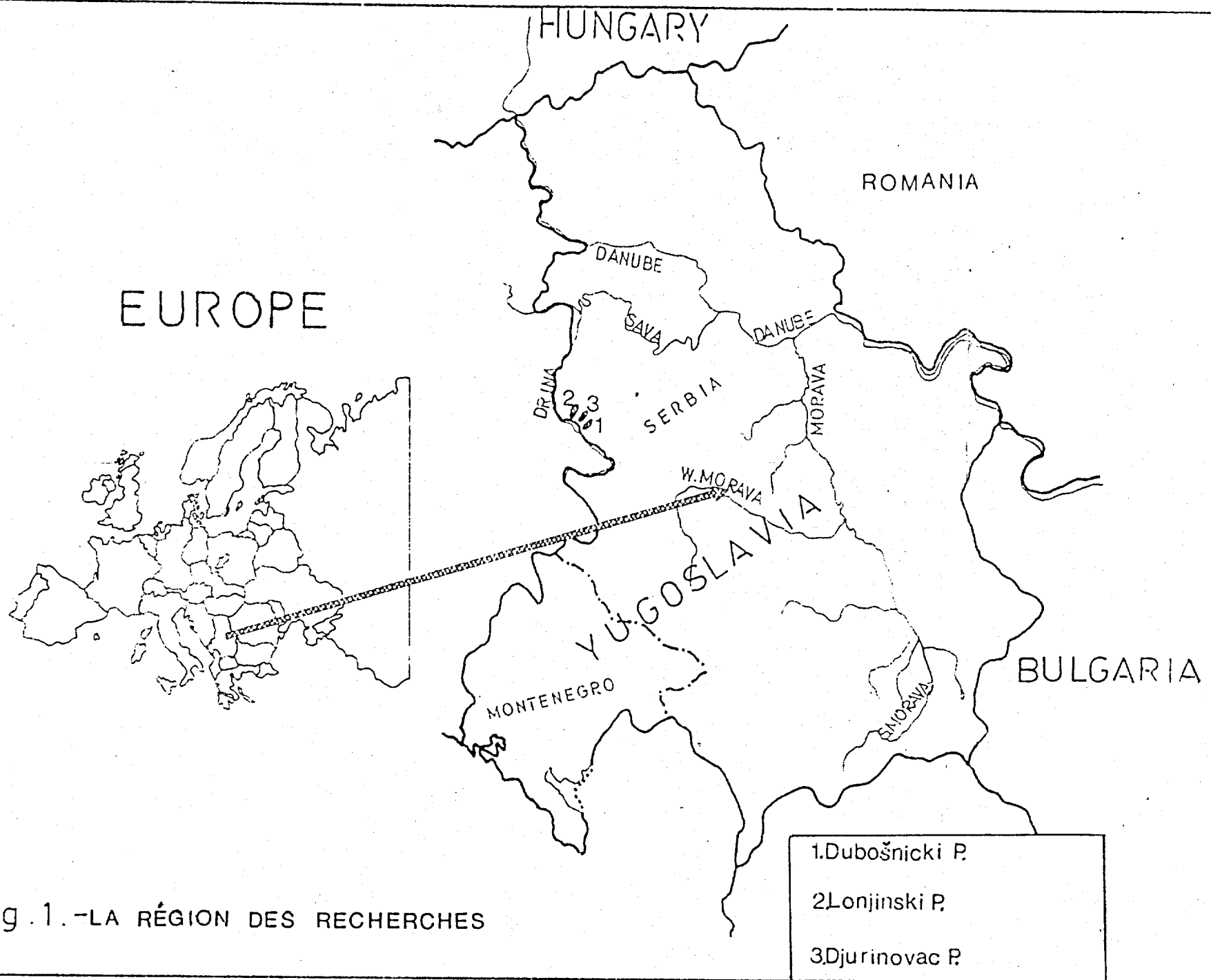


Fig. 1. - LA RÉGION DES RECHERCHES

CARACTERISATION DE L'ERODABILITE D'UNE TERRE DE MOYENNE MONTAGNE MEDITERRANEENNE (SUD AVEYRON - FRANCE).

par

J. ASSELINE, G. DE NONI, J.F. NOUVELOT, E. ROOSE

Centre ORSTOM, BP.5045, Montpellier F 34032, France.

Résumé

Dans les années 1960-80, les paysans de l'Aveyron (piedmont méditerranéen de la façade sud de la France) ont profité de la proximité des Caves de Roquefort (fromage de grande renommée) pour étendre et intensifier leurs cultures fourragères sur des versants à forte pente et sols superficiels, sans investir dans la conservation de la fertilité des sols. Aujourd'hui, les sols posent de nombreux problèmes liés à divers processus d'érosion. Pour aborder le diagnostic de l'importance de ces divers processus, nous avons simulé des séries de pluies et de ruissellements dans le cadre de 4 pratiques culturales : le semis direct sans travail du sol, le labour conventionnel suivi de 2 hersages, idem plus 2 passages du rouleau cultipacker, et le travail réduit à un vibroculteur suivi de 2 hersages. Chaque traitement a reçu 3 averses de 60 mm/h. pendant 30 minutes, d'abord sur sol sec, puis sur sol humide 24 heures plus tard, et enfin, sur sol détrempé, 1 heure plus tard. La même approche a été utilisée pour la simulation de ruissellement avec un débit de 0.3 l/sec déversé au sommet de parcelles de 2 m de large et 9 m de long, sur des pentes légèrement concaves de 20 %.

Parmi les nombreux résultats, nous citerons ici :

- sur la surface enherbée non labourée, les pertes en terre sont négligeables mais le ruissellement dépasse 10 - 40 - et 74% : d'où les risques de ravinement des parcelles cultivées situées en aval;
- sous labour conventionnel grossier, les 50 premiers mm de pluie s'infiltrent complètement, mais ensuite, quand la croûte de battance s'étend, le ruissellement dépasse 50 à 72 % et les pertes en terre atteignent 152 g/m² durant le 3ème test ;
- si le travail est réduit au rotavator, le sol est peu épais, de telle sorte que le ruissellement est abondant après le 1er test (48 à 81 %) mais l'érosion est réduite (<40 g/m² pour le 3ème test) car les mottes sont tassées autour des radicelles ;
- la situation la plus dangereuse est liée au passage du rouleau cultipacker qui éclate les mottes. Après 25 mm de pluie, le sol est complètement encroûté de telle sorte que le ruissellement devient très élevé et l'érosion atteint 239 g/m² pour le 3ème test.

Les expériences de simulation de ruissellement ont confirmé ces conclusions et ont révélé l'importance du ruissellement hypodermique qui peut dépasser 50% dans l'horizon d'altérite du schiste lorsque les sols sont bien travaillés.

Ces observations montrent que sur ces sols superficiels cultivés, il est nécessaire de contrôler la circulation des eaux superficielles en augmentant la rugosité et la couverture végétale de la surface du sol, en créant des haies vives pour limiter la longueur de la pente et en améliorant la fumure organique.

Mots clés : Sud de la France, collines, pentes raides, argillites/schistes rouges, sols minces, techniques culturales, semis direct, labour, travail réduit au rotavator, rouleau cultipacker, simulation de pluies et de ruissellements, perte en terre, drainage hypodermique, diagnostic des processus, Erosion en nappe, en rigole, transport solide par les outils.

Introduction

L'étude se situe dans le Sud Aveyron (région des Rougiers de Camarès), à la périphérie septentrionale du midi méditerranéen français. Depuis une trentaine d'années, l'action de l'homme a provoqué une accélération notable de l'érosion sur un milieu naturellement fragile qui se distingue par des sols peu épais, un relief vallonné et une saison estivale à caractère méditerranéen. Les recherches ont consisté en des simulations de pluies et de ruissellement afin de caractériser l'impact de 4 pratiques culturales sur l'érodabilité des terres.

1 - Diagnostic de l'érosion dans la zone d'étude

1.1 - Les manifestations d'érosion observées.

Des études antérieures ont montré un doublement des superficies fortement érodées en moins de 40 ans. Actuellement, on estime que 80% des terres sont affectées par l'érosion dont 10% correspondent à des zones de ravinement généralisé (badlands). Les principales formes observées sont les suivantes :

- l'érosion en nappe, qui est la forme la plus répandue , touche indifféremment les zones cultivées et en friche et concerne 90% environ des terres situées hors des parties alluviales,
- l'érosion en rigoles, courante sur les terres cultivées, provoque sur les sols des griffures d'une dizaine de cm de profondeur où circulent des quantités importantes d'eau et de terre. Les travaux agricoles font parfois disparaître ces formes qui restent cependant reconnaissables sur les ruptures de pente où l'érosion régressive est active,
- l'érosion en ravine a pour conséquence d'inciser le sol sur des profondeurs de quelques décimètres à plusieurs mètres, la forme ultime étant le "badland".

L'effet à moyen terme de ces manifestations est l'appauvrissement de la terre arable avec un départ sélectif des argiles, des limons et des matières organiques : d'où l'expression des agriculteurs "les cailloux poussent". Parallèlement, on constate une destruction des semis et une baisse de rendements des cultures céréalières et fourragères. Quelques communes ont été affectées par des épisodes particulièrement spectaculaires et dramatiques ces dernières années. Des crues importantes ont été observées sur les principales rivières de la région ainsi que des coulées boueuses.

1.2 - L'environnement physique et humain de l'érosion.

1.21 Le relief.

La zone d'étude est localisée dans un vieux bassin sédimentaire datant du permien (280 à 250 millions d'années). Le substrat, qui résulte de la destruction des montagnes environnantes (Monts de Lacaune et du Lévézou), est composé par l'alternance de faciès schisteux et argilo-marneux, de couleur rouge dont la puissance est estimée à 200-300 mètres maximum. Les traits actuels du relief sont hérités du tertiaire (40 millions d'années) où les poussées liées à l'orogénèse alpine ont provoquée la déformation des sédiments et morcelé le relief en petites unités structurales de type "cuestas".

Les principaux éléments du relief qui interviennent dans la situation érosive sont les suivants :

- la faible extension des zones planes ou de faible déclivité ne recoupe jamais plus de 10% des terroirs,
- la nature friable du substrat qui constitue un matériau très sensible aux alternances gel-dégel ainsi qu'au transport par les eaux de ruissellement,
- la topographie vallonnée et irrégulière de la région où les pentes dominantes oscillent entre 20 et 40%, en particulier sur les revers de cuestas. Ces terres fragiles sont intensément travaillées et en conséquence très exposées à l'érosion. Le sol originel est peu épais et à chaque labour, l'agriculteur retourne un volume composite formé de schiste, d'argile rouge et de sol. C'est la raison pour laquelle on appelle localement ces terres "côteaux maigres ou Sabels".

1.2.2 - Le climat.

La zone d'étude est soumise à trois influences climatiques :

- un **climat océanique** au printemps et à l'automne avec une dominance des vents d'ouest humides provoquant des pluies à caractère orageux qui interviennent à une période où les sols agricoles sont peu couverts (semis de printemps et d'automne);
- un **climat continental** durant l'hiver avec des gelées qui débutent en novembre, les alternances gel-dégel (la température minimale ne dépassant jamais 5°), accélérant les phénomènes de désagrégation du schiste.
- un **climat méditerranéen**, durant l'été, avec une dominance des vents du sud et un déficit hydrique très marqué en juillet et en août (températures moyenne supérieures à 27°) qui n'exclut pas la formation d'orages violents et dévastateurs.

A Saint Affrique (324 mètres d'altitude), où se trouve la station météorologique la plus proche, la moyenne de la hauteur pluviométrique annuelle est de 824 mm pour la période 1964-1991. Le rapport entre le mois le plus sec et le mois le plus pluvieux est supérieur à 0,6 alors qu'il n'est que de 0,2 en climat méditerranéen, en outre les intensités maximales de pluie y sont plus modérées. Ainsi, l'intensité maximale de fréquence décennale est de l'ordre de 60 mm/h pendant 30 minutes.

123 Le contexte humain.

Ce contexte historique a contribué à amplifier les phénomènes d'érosion :

- le défoncement des affleurements de schiste et le défrichement des "côteaux maigres" où la couche arable n'atteint que 20 à 30 cm d'épaisseur ;
- la non couverture du sol de novembre à mars, période de l'alternance gel/dégel
- la suppression des haies dans le but d'agrandir les parcelles pour la culture motorisée ;
- les rotations rapides entraînant un retournement fréquent et un affinage poussé de la terre au *cultipacker* et les passages des engins agricoles plusieurs fois par an.

2 - Analyse quantitative de l'érosion dans les Rougiers de Camarès.

De ce diagnostic, il ressort que les pratiques culturales contribuent à accélérer l'érosion des terres, tant au niveau de l'impact de l'intensité des pluies sur le sol que du rôle de l'énergie du ruissellement en fonction de la morphologie du versant.

21 - Conditions d'expérimentation.

211 - Site expérimental.

Il s'agit d'un versant qui a été choisi pour les raisons suivantes :

- la situation sur les côteaux dits "maigres" où l'érosion est très active ;
- une pente moyenne de 20 % et des sols sablo-argileux développés sur un substrat formé d'une alternance de schiste et d'argilites, représentatif de la région. Il existe un seul horizon dont la profondeur (10 à 30 cm) et la pierrosité varient en fonction de la localisation sur le versant.

Compte tenu des pratiques culturales communément utilisées dans la région, nous y avons reproduit les cinq situations expérimentales suivantes (fig 2) :

SD : semis direct ;

L+L+2H b : travail classique sans *cultipacker* en bas de versant (labour + 2 hersages) ;

L+2H+Cpk : travail classique avec *cultipacker* (labour + 2 hersages + passage de *cultipacker*)

L+2H h : travail sans *cultipacker* en haut de versant (labour + 2 hersages) ;

Ts (Vb + 2 H) : travail simplifié (vibroculteur + 2 hersages).

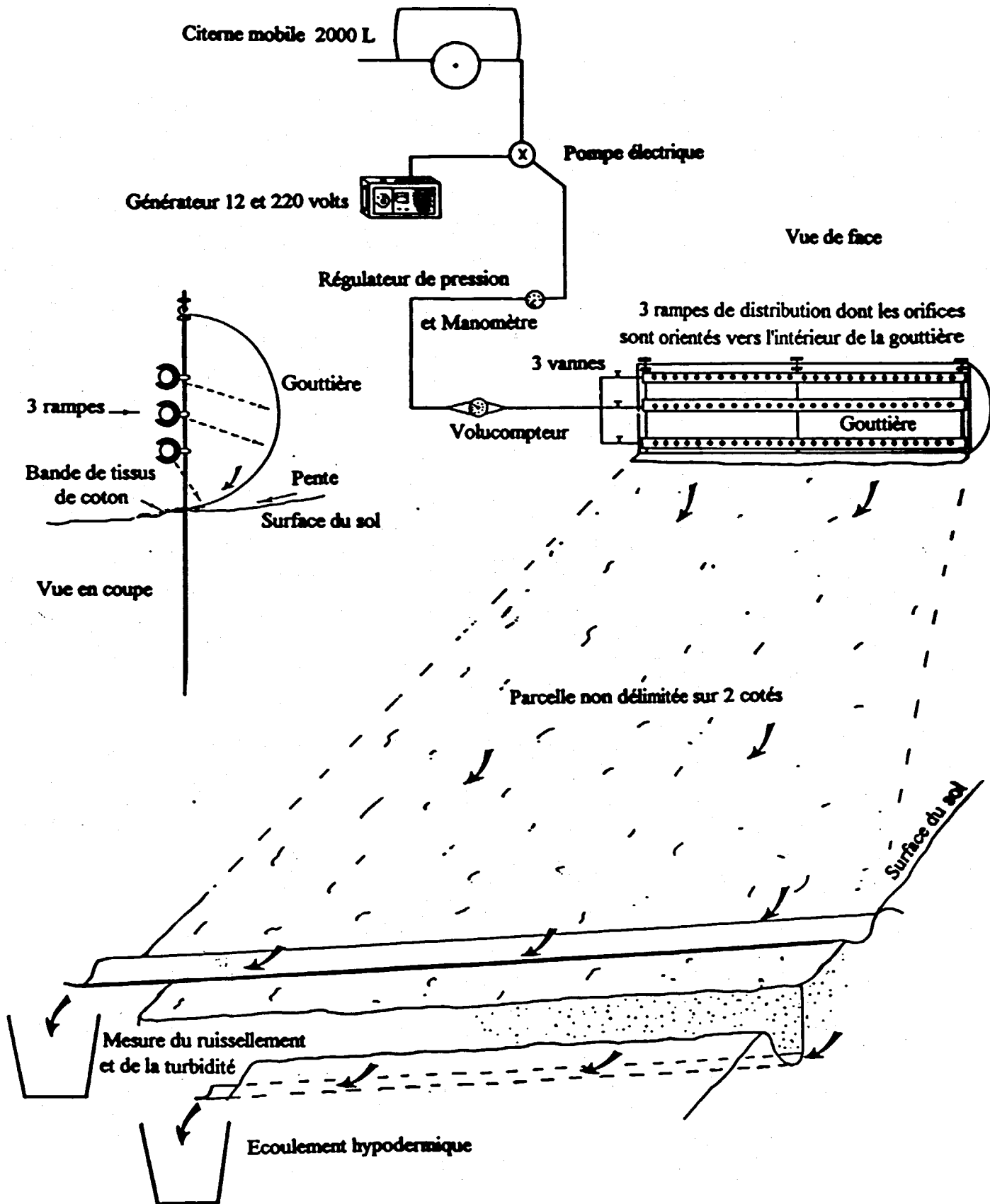
212 - Dispositifs de mesures.

Deux types de dispositifs ont été utilisés pour analyser le comportement hydrodynamique des sols ; l'un, le **simulateur de pluies**, pour apprécier l'impact de la battance des précipitations, l'autre, le **simulateur de ruissellement** pour mesurer le rôle des écoulements, superficiels et hypodermiques.

Le simulateur de pluie, de type ORSTOM (Asseline, Valentin, 1979), est constitué d'une tour pyramidale de 4 mètres de hauteur équipée d'un gicleur calibré, monté sur un bras mobile permettant d'arroser une parcelle de 1 m² matérialisée par un cadre métallique. Les intensités peuvent varier de 30 à 130 mm . h⁻¹, en fonction de l'angle de balancement choisi.

Le simulateur de ruissellement, conçu à cette occasion, est formé de trois rampes constituées de tubes PVC rigides de deux mètres de long. Chaque tube est perforé d'une ligne de trous de 1 à 1,5 mm de diamètre, espacés tous les deux centimètres. Ces tubes sont contenus dans une gouttière en PVC de même longueur, placée sur le sol en position verticale

FIG. 1. SCHEMA du RUISSELLOMETRE



et perpendiculaire à la pente. Le contact avec le terrain est réalisé au moyen d'une jupe de tissu afin d'obtenir un écoulement laminaire de l'eau qui présente une énergie cinétique nulle à la sortie de la gouttière. A partir d'une réserve d'alimentation, l'eau est mise sous pression au moyen d'une électro-vanne qui permet de régler le débit d'injection. Un canal en fibrociment, à l'exutoire de la parcelle longue de 9m, permet de récupérer l'eau de ruissellement superficiel. Pour l'écoulement hypodermique, un fossé a été creusé jusqu'au schiste dont le pendage est en concordance avec la pente topographique.

213 - Protocole expérimental.

Quel que soit le type de simulation utilisé, le protocole vise à mesurer les débits ruisselés et les charges solides sur les différents états de surface du sol sélectionnés.

Pour la simulation de pluie, le protocole est basé sur une pluie d'intensité constante de $60 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ d'une durée de 30 mn, correspondant à un temps de retour de 10 ans. Afin d'étudier, le rôle de l'humidité du sol, cette intensité est répétée trois fois sur chaque site :

- une première pluie sur un sol sec, présentant des conditions proches de celles rencontrées en période estivale lors des orages d'été ;
- une seconde pluie, intervenant 24 heures après, représentative du début de période pluvieuse
- enfin une troisième pluie, survenant une heure après la précédente, pour simuler une période pluvieuse déjà bien avancée (printemps).

Pour la simulation de ruissellement, on a adopté un protocole de même nature que le précédent, mais distribué différemment dans le temps pour des raisons pratiques. La seconde simulation (sol humide) intervient 1 heure après la première (sol sec) et la troisième simulation 8 jours après la seconde (état d'humectation intermédiaire). Au cours des différents essais, le débit injecté a été de 0,3 l/s réparti sur 2 mètres linéaires.

22 - Les résultats des simulations.

221 - La simulation de pluies

2211) Caractérisation physique de la parcelle.

Pour effectuer les essais de pluies simulées, nous avons pris en compte les différents facteurs physiques suivants :

- les états de surface caractérisés par le pourcentage de surface fermée (= Σ des pellicules de battance + croûte de sédimentation + cailloux), de surface ouverte (= Σ des mottes < 1 cm +

mottes < 3 cm + mottes >3 cm + trous de vers de terre) et de surface couverte (litière ou végétation) ;

- la rugosité appréciée à la chaîne par des observations sur l'évolution du micro-relief ;
- l'état d'humectation évaluée en surface sur 10 cm de profondeur.

Ces facteurs sont mesurés avant et après chaque simulation.

2212) Les processus hydrodynamiques et les pertes en terre observés.

En règle générale, au cours d'une averse d'intensité constante, ces processus se décomposent en 4 phases bien distinctes:

- *phase d'imbibition* (P_i en mm) qui exprime la hauteur de la pluie qui tombe sur la parcelle sans provoquer de ruissellement, en conséquence la capacité d'infiltration est en tous points supérieure à l'intensité de pluie qui parvient au sol ;
- *phase à régime transitoire* correspondant à l'apparition du ruissellement en filets et en nappes : l'humidité du sol augmente, l'impact des gouttes de pluie pulvérise les agrégats, colmate les pores et les flaques débordent ;
- *phase à régime permanent* durant laquelle l'intensité de ruissellement se stabilise à son niveau le plus élevé jusqu'à la fin de l'averse ;
- *phase de vidange* représentant le ruissellement après la fin de l'averse appelé détention superficielle récupérable (D_r en mm).

Pour les résultats concernant ces 3 dernières phases, le ruissellement a été exprimé soit en $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (hydrogramme) soit en pourcentage de la pluie (K_r).

La mesure des pertes en terre, dans le contexte de l'expérimentation, ne représente à l'échelle du m^2 que le détachement provoqué par l'impact des gouttes de pluie (effet *splash*) sur le sol et non pas l'érosion due à l'énergie du ruissellement. Comme pour les hydrogrammes, elles sont exprimées sous la forme de turbidigrammes qui permettent de suivre les variations de la concentration en matières solides ($\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$) au cours de l'averse.

2212) Les résultats de simulation de pluies.

Pour chaque pluie, l'examen des hydrogrammes et des turbidigrammes donne les résultats suivants :

1ère série de pluies

Le tableau ci-après récapitule les principaux résultats concernant la dynamique de l'eau et des sédiments sur les sites testés :

| | Humidité initiale % | 1ère simulation de pluie | | | |
|-----------------|---------------------|--------------------------|--------|----------|------------|
| | | Pi (mm) | Kr (%) | C. (g/l) | Kr max (%) |
| SD | 15,3 | 21,8 | 8,2 | 0,4 | 46,1 |
| L+2H b | 14,2 | > 30 | 0 | 0 | 0 |
| L+H+Cpk | 12,1 | 25,2 | 2,5 | 6,97 | 17,8 |
| L+2H h | 10,8 | >30 | 0 | 0 | 0 |
| Ts(vb+H) | 14,7 | >30 | 0 | 0 | 0 |

Les conditions d'humidité du sol, pour cette première pluie, sont relativement proches d'un site à l'autre, variant de 11 à 15 %.

La rugosité de la surface du sol est de l'ordre de 5 % pour le labour + *cultipacker*, de 15% pour le labour et de 22 à 24 % pour le travail simplifié.

Les parcelles labourées (en bas et haut de versant) ainsi que celle travaillée de façon simplifiée n'ont pas ruisselé. Ceci s'explique par le fait que, durant cette première simulation de pluie, les mottes du labour ont piégé l'eau dans les dépressions du sol, favorisant ainsi l'infiltration.

Seules ont ruisselé la parcelle compactée au *cultipacker* et celle traitée en semis direct. La phase d'imbibition est cependant relativement lente : 20 mn pour la première et 16 mn pour la seconde. Néanmoins, le ruissellement reste peu intense tout au long de la durée de l'essai, les valeurs extrêmes fluctuent de 8 à 28 mm /h sur le semis direct (Kr = 8%) et de 8 à 11 mm /h sur le labour + *cultipacker* (Kr = 2,5%). Au cours de cette pluie, le régime permanent n'est pas atteint.

A la fin de l'essai, on constate que l'impact des gouttes de pluie a provoqué une fermeture importante du sol (40 à 50 % de la parcelle) sur les terrains sans protection végétale : labourés, hersés ou tassés au *cultipacker*.

Les turbidités sur le labour + *cultipacker* sont relativement élevées (environ 7 g . l⁻¹ sur toute la durée de la simulation). Par contre, le semis direct, grâce à son couvert herbeux, donne très peu de charge solide (0,4. g . l⁻¹ en moyenne). La façon culturale qui consiste à utiliser la

charrue et le cultipacker est donc 18 fois plus érosive que celle consistant à effectuer simplement un semis direct. Dès ces premières manifestations, on observe le phénomène très général qui montre que la turbidité des eaux croît d'abord rapidement avec le débit liquide, atteint un maximum avant le pic de ruissellement ce qui explique que la relation ruissellement-concentration ne soit pas univoque, ce décalage traduisant un véritable hystérésis.

2ème série de pluies

La seconde simulation, 24 heures après la première, affecte un sol dont les conditions d'humidité sont sensiblement supérieures à celles de l'essai précédent (voir tableau ci-après) :

| | 2ème simulation de pluie | | | | |
|-----------------|--------------------------|---------|--------|----------|------------|
| | Humidité initiale % | Pi (mm) | Kr (%) | C. (g/l) | Kr max (%) |
| SD | 19,9 | 8,4 | 43,7 | 0,34 | 69,9 |
| L+2H b | 21,0 | 17,7 | 28,7 | 1,08 | 78,0 |
| L+H+Cpk | 27,6 | 3,8 | 45,7 | 6,93 | 76,6 |
| L+2H h | 18,8 | 4,2 | 19,3 | 3,60 | 40,4 |
| Ts(vb+H) | 22,6 | 13,0 | 48,3 | 1,65 | 93,0 |

Lorsque survient la 2ème pluie, le sol se sature plus vite que lors de la première simulation, ce qui explique que toutes les parcelles aient ruisselé. On peut noter que sur tous les sites le ruissellement débute à partir des cinq premières minutes sauf dans les cas de L+2H b et Ts où la phase d'imbibition est un peu plus longue (15 mn). Dans trois cas, le coefficient de ruissellement Kr est voisin de 45 % : SD, L+H+ Cpk et Ts. Il n'atteint que la moitié de cette valeur sur les sites labourés.

A la fin de cette deuxième pluie, le régime permanent d'écoulement est atteint pour le L+Cpk et le Ts, les valeurs de l'intensité de ruissellement atteignant alors 50 mm . h⁻¹ en moyenne. Nous avons constaté une modification des états de surface marquée par une diminution sensible du pourcentage des zones ouvertes (< 5%), sauf dans le cas du travail simplifié Ts.

Au cours de cette pluie, il apparaît que les pertes en terre peuvent varier sensiblement selon les traitements. Le semis direct continue à bien protéger le sol (un peu plus de 0,3 g . l⁻¹ en moyenne) tandis que le labour avec cultipacker confirme son agressivité (5 à 7 g . l⁻¹ en moyenne). Le travail simplifié induit une érosion 4 à 5 fois plus forte que le semis direct mais 4 à 6 fois plus faible que le labour + cultipacker. On peut également noter une différence sensible, de nature texturale, entre les résultats obtenus pour les labours de bas et de haut de versants, les derniers étant 4 à 5 fois plus sensible au *splash*. L'analyse granulométrique des

sédiments érodés par rapport au sol en place montrent une érosion sélective des argiles et limons

3ème série de pluies

La troisième pluie qui intervient 1h après la seconde, tout en conservant une intensité de $60 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, a une durée d'une heure au lieu de 30 minutes pour les précédentes (voir tableau suivant) :

| | 3ème simulation de pluie | | | | |
|-----------------|--------------------------|---------|--------|----------|------------|
| | Humidité initiale% | Pi (mm) | Kr (%) | C. (g/l) | Kr max (%) |
| SD | 29,1 | 4,2 | 74,7 | 0,31 | 89,9 |
| L+2H b | 23,0 | 6,5 | 72,2 | 0,95 | 86,8 |
| L+H+Cpk | 24,9 | 0,9 | 81,5 | 4,95 | 90,5 |
| L+2H h | 23,1 | 1,5 | 54,4 | 4,70 | 69,0 |
| Ts(vb+H) | 25,5 | 5,7 | 81,2 | 1,22 | 97,5 |

Cet essai confirme les tendances d'évolution des paramètres hydrodynamiques observées durant la pluie précédente :

- une baisse importante des hauteurs des pluies d'imbibition et de leur durée ;
- une augmentation de l'intensité de ruissellement et par conséquent du coefficient global correspondant (Kr).

Il est important de noter, en outre, que l'humidité du sol a peu varié entre la seconde et la troisième pluie, ce qui laisse à penser que l'accroissement du ruissellement est la conséquence d'une modification des états de surface. Les deux pluies précédentes ont plus ou moins aplani le micro-relief et le colmatage des pores du sol par les particules fines a entraîné la formation d'une pellicule de battance peu perméable.

Pour les pertes en terre, on constate par contre une stabilisation de l'érosion due à la forte humidité du sol et au pourcentage élevée de zones fermées.

La simulation a reproduit une situation hydrologique extrême dont le temps de retour est très supérieur à 10 ans puisque cette pluie a duré 60 mn au lieu de 30 mn (fréquence décennale). De plus, cette pluie exceptionnelle tombe sur un sol très engorgé par la pluie précédente.

Fig. 2. Simulation de pluie à MONTLAUR

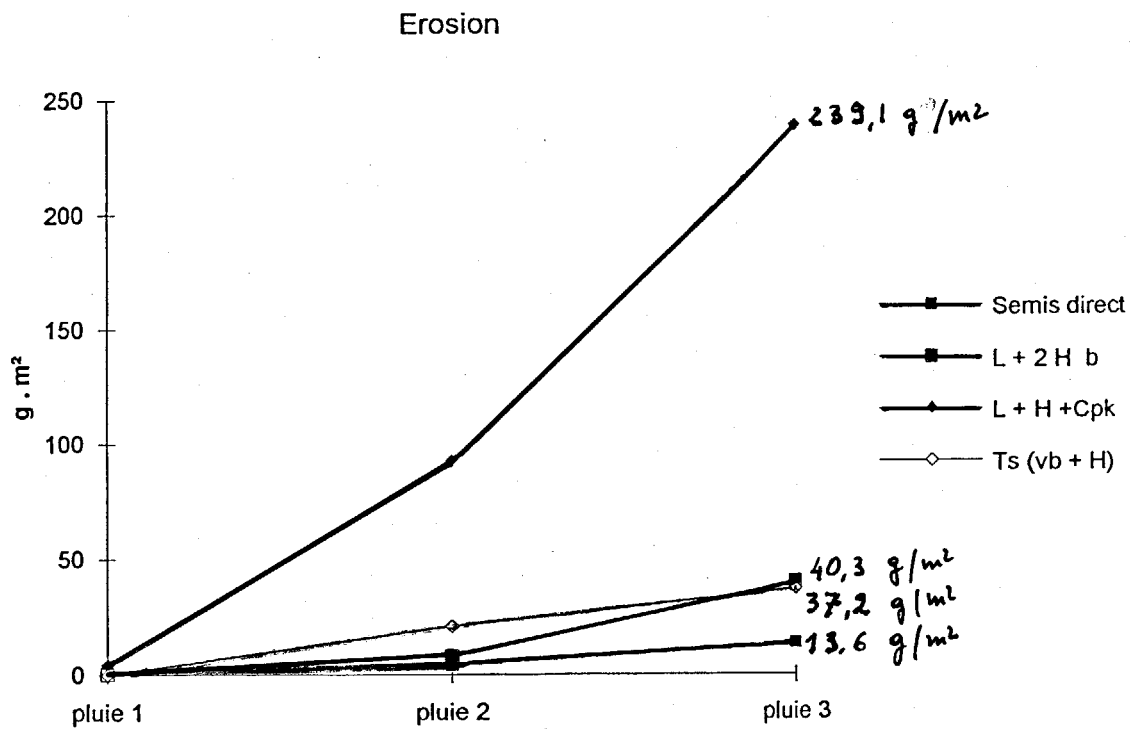
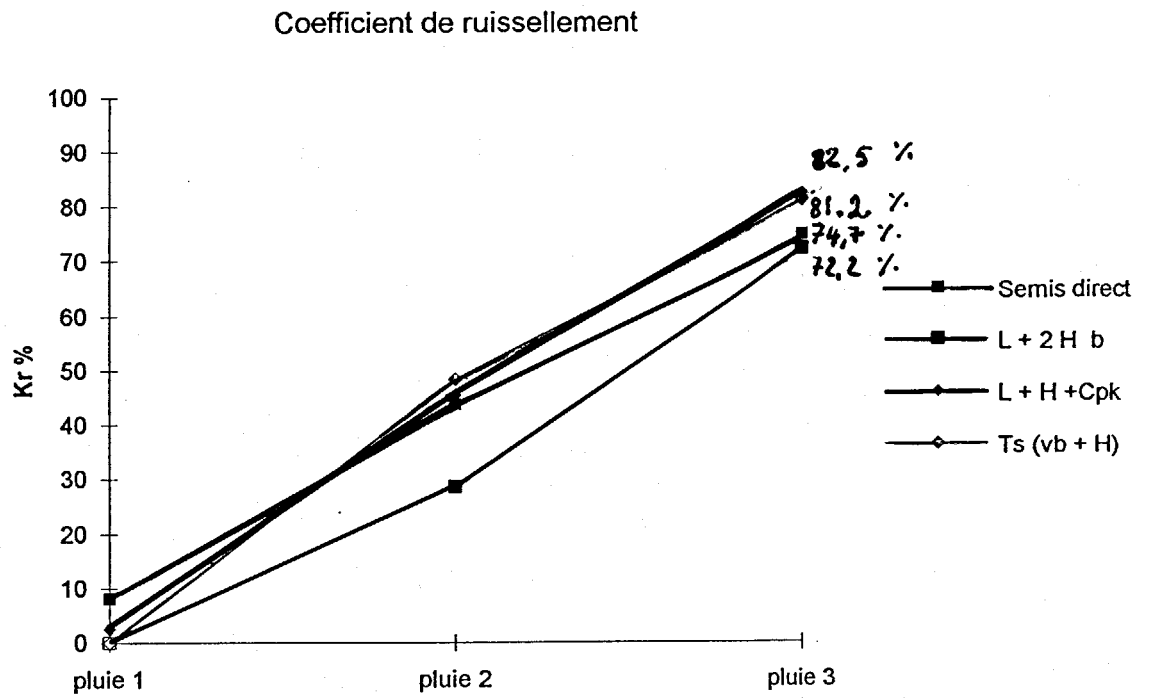
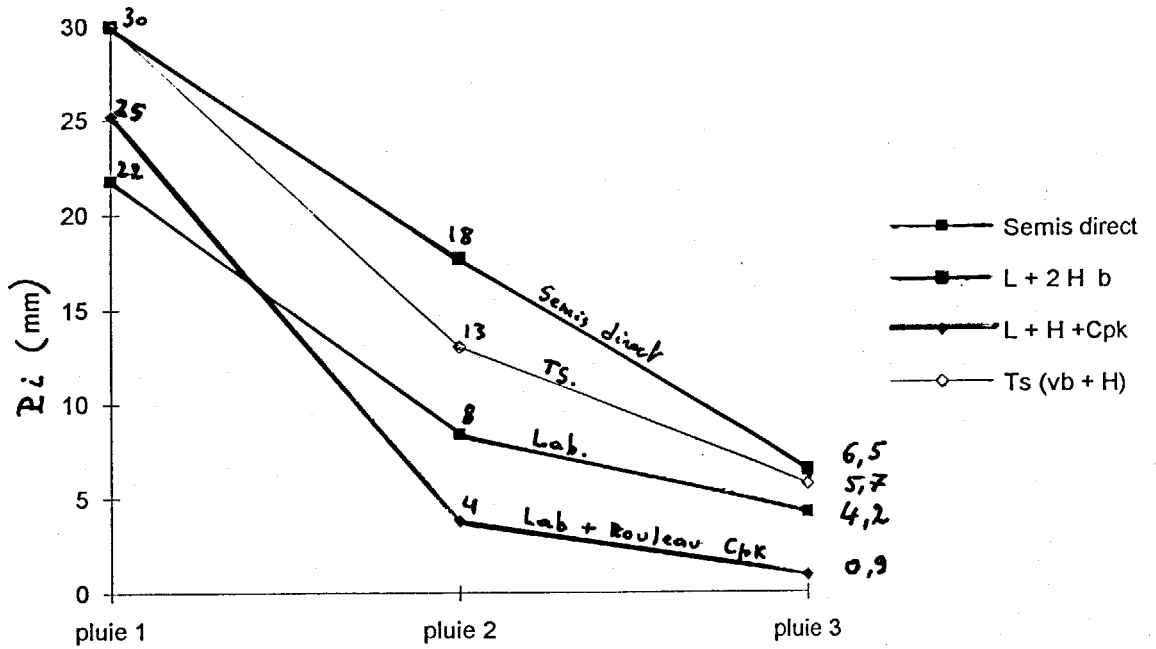
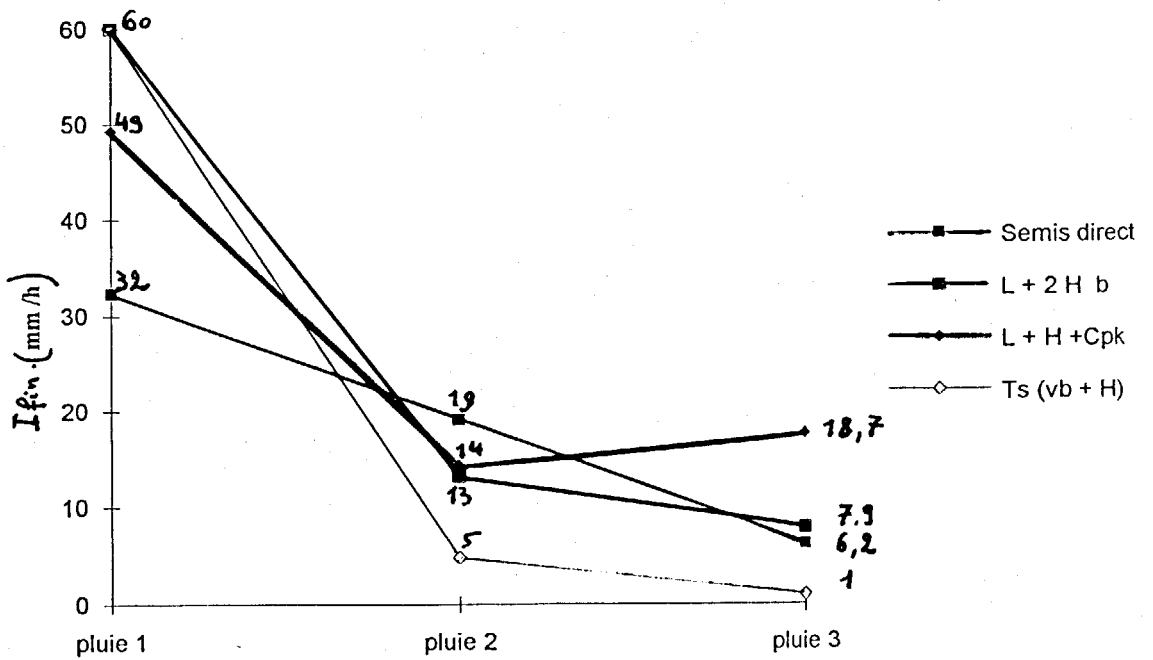


Fig. 3. Simulation de pluie à MONTLAUR

Pluie d'imbibition



Infiltration minimale



222) Les résultats de simulation de ruissellement.

Les simulations ont été réalisées sur des pentes de l'ordre de 20% et 3 types d'états de surface :

- semis direct ;
- labour perpendiculaire à la pente + herse rotative combinée au semoir ;
- labour + herse + *cultipacker*.

Les mesures ont porté sur les quantités d'eau ruissellée, la vitesse de ruissellement ainsi que sur les charges solides.

Lorsque l'eau s'écoule en surface, on constate que le ruissellement commence en nappe, avec un front d'humectation de 10 à 20 cm de large. Au-delà, des différences significatives sont observées en fonction des états de surface, les filets d'eau s'organisant suivant les traces de roues des tracteurs ou les sillons provoqués par les outils de travail et non pas en respectant strictement la pente naturelle du terrain. Dans le cas du labour, aucun ruissellement superficiel n'a été observé, l'écoulement de l'eau s'opérant de façon hypodermique.

Il ressort des 3 séries de simulations, les observations suivantes :

Première simulation

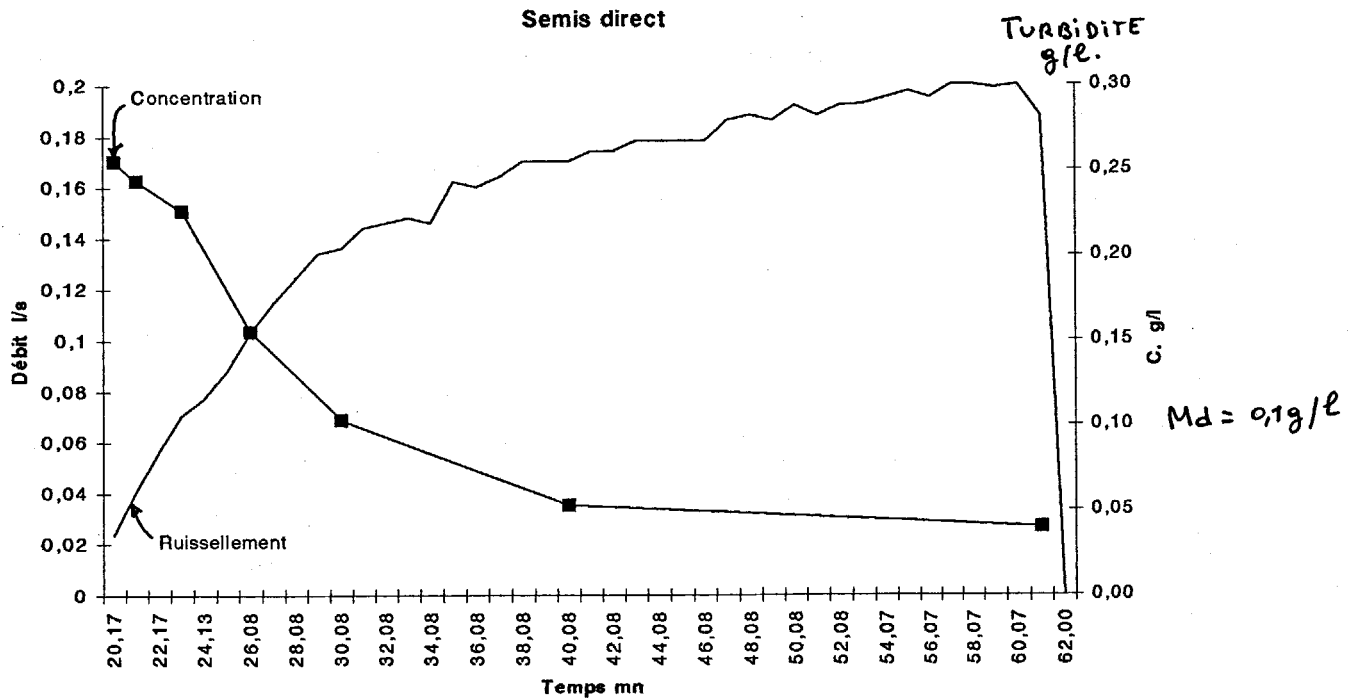
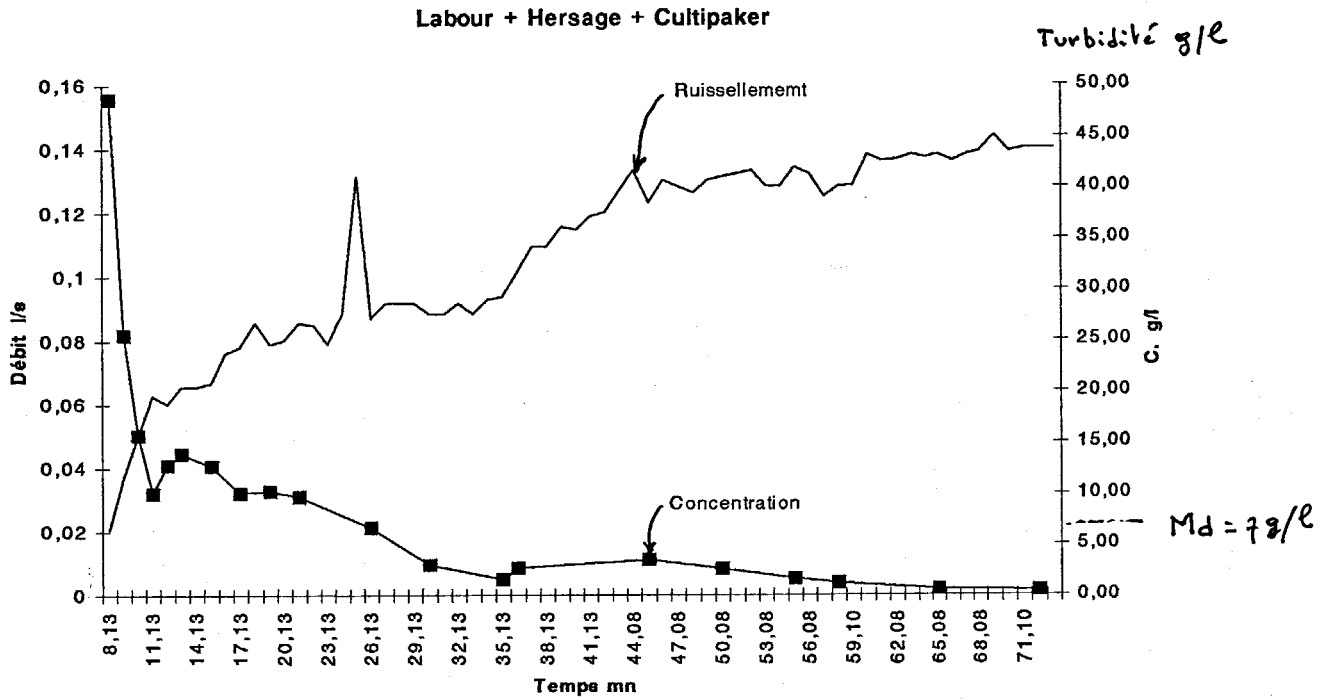
Les résultats de cette première manipulation, menée sur un sol sec à l'humidité du champ, sont consignés dans le tableau ci-dessous :

| <i>1ère simulation de ruissellement</i> | | | | | |
|---|---------|----------------------------|---------|-----------|----------|
| | Pente % | Kr (%) | C (g/l) | Vm (m/s) | Kr max % |
| SD | 21,5 | 47,3 | 0,09 | 0,05 | 74,1 |
| L+2H b | 20,0 | Ruissellement hypodermique | | | |
| L+2H+Cpk | 20,0 | 31,9 | 3,87 | 0,18 | 47,7 |

Sur le semis direct où la rugosité est fonction du couvert herbeux, 20 minutes ont été nécessaires pour que les premiers filets d'eau ruissellent et arrivent à l'exutoire, tandis que pour le labour + *cultipacker* 7 à 10 minutes ont suffi. On constate par ailleurs que la vitesse de ruissellement est de 4 à 5 fois plus rapide pour le labour + *cultipacker* que sur le semis direct. Un régime pseudo-permanent semble être atteint, dans les deux cas, en plus d'une heure.

Sur semis direct, on note un coefficient de ruissellement instantané maximal de 74,1 % et de 47,7% sur le labour + *cultipacker*. Les concentrations en matière solides sont respectivement de 0,09 g/l et de 3,87 g/l, soit dans un rapport de 1/40.

FIG. 4. PREMIERE SIMULATION DE RUISSELLEMENT



Deuxième simulation

La deuxième simulation de ruissellement se situe une heure après la première, avec des humidités du sol plus élevées et des rigoles déjà formées.

| <i>2ème simulation de ruissellement</i> | | | | | |
|---|---------|----------------------------|---------|-----------|----------|
| | Pente % | Kr (%) | C (g/l) | Vm (m/s) | Kr max % |
| SD | 21,5 | 63,5 | 0 | 0,05 | 82,0 |
| L+2H b | 20,0 | Ruissellement hypodermique | | | |
| L+2H+Cpk | 20,0 | 51,4 | 2,41 | 0,16 | 60,7 |

Le régime pseudo permanent est atteint, dans les deux cas, dans un temps plus court (18 mn pour le semis direct et 14 mn pour le labour + le *cultipacker*), avec un coefficient de ruissellement instantané maximal beaucoup plus élevé que celui observé lors de la première simulation (KRmax respectivement 82 % et 60,7 %). **La vitesse de ruissellement est cinq fois plus forte pour le *cultipacker* que sur le semis direct**, ceci étant dû essentiellement, comme nous l'avons déjà souligné, à la formation de chenaux préférentiels bien marqués, lisses et tassés lorsque le *cultipacker* est utilisé après labour.

Les charges solides sont quasi nulles sur le semis direct et atteignent 2,41 g/l sur le labour + *cultipacker*.

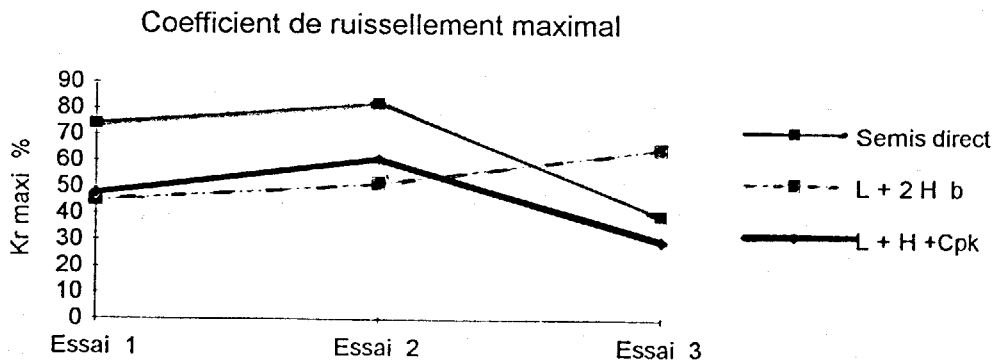
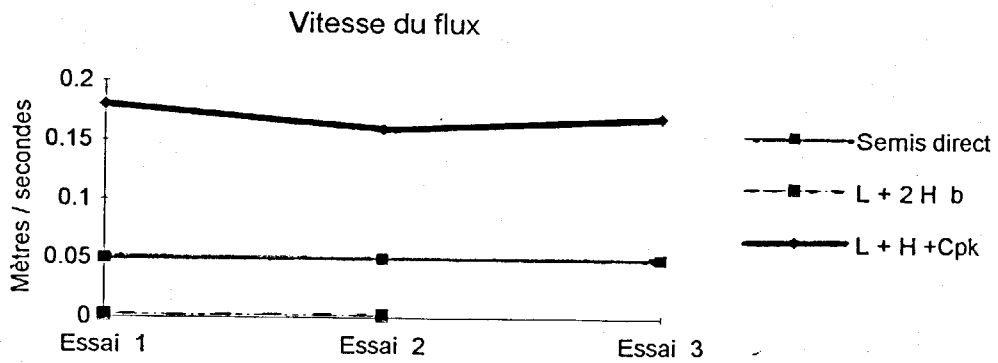
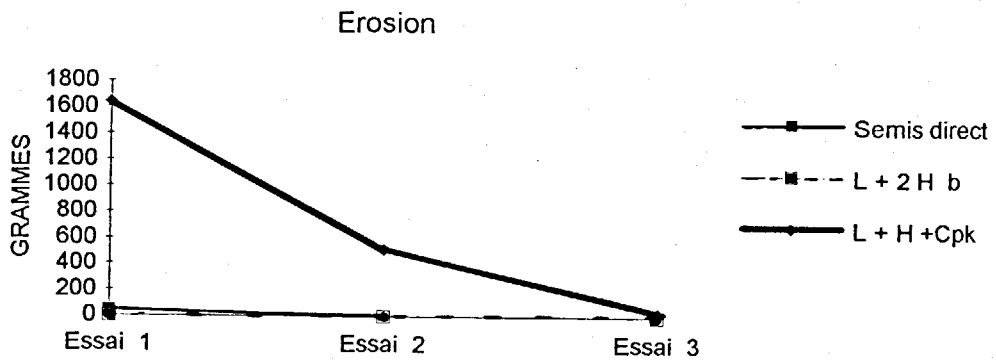
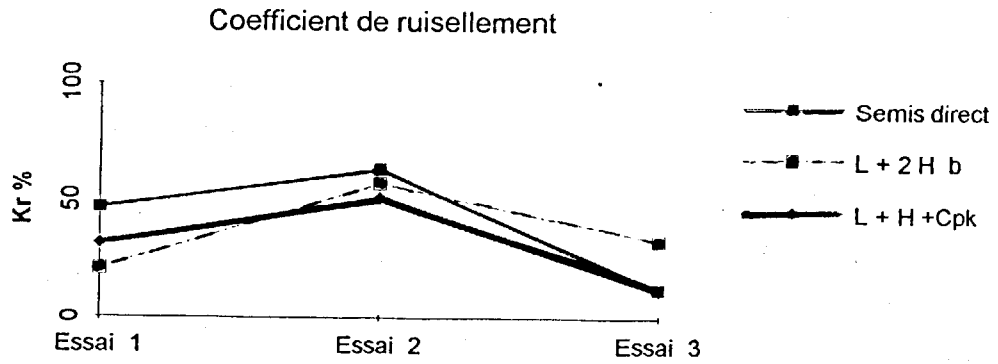
Troisième simulation

Ce troisième essai, réalisé après une période d'une semaine particulièrement sèche et ventilée, se caractérise par des coefficients de ruissellement globaux et maximaux sensiblement plus faibles que ceux observés au cours de la deuxième simulation (voir tableau ci-après).

| <i>3ème simulation de ruissellement</i> | | | | | |
|---|---------|----------------------------|---------|-----------|----------|
| | Pente % | Kr (%) | C (g/l) | Vm (m/s) | Kr max % |
| SD | 21,5 | 12,5 | 0 | 0,05 | 39,5 |
| L+2H b | 20,0 | Ruissellement hypodermique | | | |
| L+2H+Cpk | 20,0 | 12,0 | 0,46 | 0,17 | 29,9 |

Là encore, la vitesse de propagation de ruissellement est quatre fois plus importante pour le labour + *cultipacker* que pour le semis direct, confirmant les observations faites précédemment. Par ailleurs, le semis direct se confirme être une excellente protection contre l'érosion (charge solide nulle), alors que les concentrations mesurées sur le labour + *cultipacker* restent importantes bien qu'un épuisement sensible du stock de matières solides, dû essentiellement à l'absence de *splash*, soit observé d'une simulation à l'autre, la diminution de la charge transportée étant dans un rapport de 1 à 9 entre le premier et le dernier essai.

FIG. 5. ESSAIS RUISSELLEMENT



Le ruissellement hypodermique

Sur la parcelle labourée, non compactée, aucun des trois essais n'a donné lieu à de l'écoulement superficiel malgré des débits et des volumes d'eau injectés importants :

- 1ère simulation correspondant à un débit de 800 l/h durant 116 mn ;
- 2ème simulation avec un débit de 2000 l/h durant 40 mn ;
- 3ème simulation avec un débit de 1300 l/h durant 89 mn ;

La circulation de l'eau s'effectue de manière hypodermique, à une profondeur se situant entre 20 et 40 cm. Le front d'humectation avance d'une dizaine de centimètres par minute ce qui laisse supposer qu'en régime permanent la vitesse d'écoulement doit être importante (plusieurs dizaines de cm/mn). Après arrêt des vannes d'injection, l'écoulement s'est poursuivi durant de nombreuses minutes (86 minutes dans le cas du 3ème essai), ce qui explique que les quantités d'eau recueillies correspondent, dans tous les cas, à des coefficients d'écoulement globaux dépassant 30% et 65% pour les coefficients d'écoulement instantanés maximaux. Ces valeurs représentent nécessairement une limite inférieure des coefficients réels, sachant qu'elles correspondent à un front de drainage de 4 mètres de long, alors que nous avons pu vérifier que sa longueur totale atteignait 8 mètres. Une valeur de 50% paraît vraisemblable.

L'importance de ce ruissellement hypodermique est due au blocage de l'infiltration par la semelle de labour ou le socle schisteux. La reproduction expérimentale de ce phénomène corrobore les observations de terrain qui ont montré la présence de très nombreuses petites zones engorgées d'eau (mouillères). Ce type de ruissellement hypodermique peut être à l'origine du déclenchement de glissements de terrain, et de la perte d'éléments fertilisants ou des pesticides

CONCLUSION

Il ressort que, parmi les pratiques testées, le semis direct s'avère être une pratique culturale assez bien adaptée aux coteaux maigres. Cette technique, économe en main d'oeuvre et en énergie réduit le nombre de passages des engins au strict minimum, limitant ainsi la destruction de la structure du sol lequel bénéficie de plus d'une couverture végétale protectrice.

Néanmoins, elle ne peut être une solution durable que si le désherbage chimique et la lutte contre les ravageurs (sautériaux, limaces, etc...) sont mieux maîtrisés.

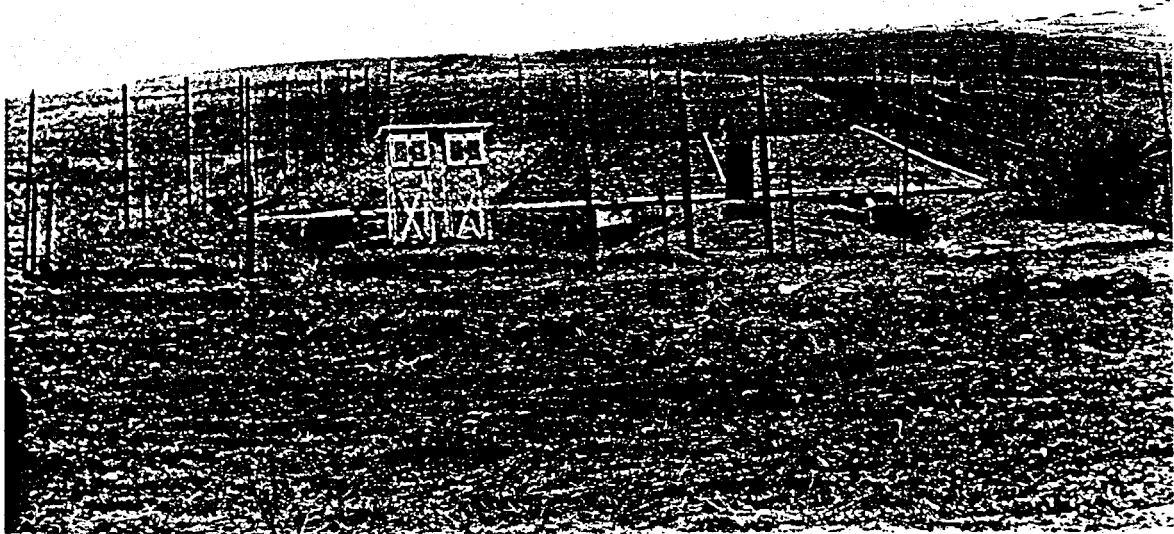
Toutefois, elle provoque des pertes en eau superficielle importante qui, si elles limitent le drainage hypodermique par ailleurs néfaste (glissements de terrain, pertes d'intrants et des nutriments du sol), n'en nécessiteraient pas moins des mesures d'accompagnement dont certaines étaient traditionnellement utilisées telles les haies vives et les fossés enherbés.

Bibliographie

- Asseline, J., Valentin C., 1979. - Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. Cah. ORSTOM, Sér. Hydrologie, Paris, 15, 4 : 321 - 350.
- Asseline, J., De Noni G., Nouvelot J.F., Roose E. 1994. - Note technique sur la construction et l'utilisation d'un simulateur de ruissellement, Cah. ORSTOM. Pédol., Paris 28, 2 (sous presse).
- De Noni, G., Nouvelot J.F., Roose E., 1994. Projet de recherche sur l'érosion et la conservation des sols cultivés et sous pâturages en Sud Aveyron. ORSTOM-Montpellier, 6 pp.
- Guillerm, C., 1994. Diagnostic de l'érosion pluviale dans les Rougiers de Camarès, propositions de pratiques culturales. CNAM et INAPG, Paris, 51pp.
- Lafforgue, A., Naah, E., 1970. Exemple d'analyses expérimentales des facteurs de ruissellement sous pluies simulées. Cah. ORSTOM, Sér. Hydrologie, Paris 13, 3 : 1955 - 2377.
- Moussa M., 1994. - Influences des techniques culturales sur le ruissellement et l'érosion dans les Rougiers de Camarès (Aveyron). Mémoire CNEARC-EITARC, Montpellier, 56 pp.
- Roose e., 1994. - Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols. Bull. Pédologique FAO, Rome, n° 70, 420 pp.

APPLICATION DE LA G.C.E.S* DANS LA REGION DE TLEMCEN ALGERIE

Par : CHEBBANI R - MEDEDJEL N et BELAIDI S



Laboratoire de l'érosion et de la conservation des sols
Station I.N.R.F Bp :88 IMAMA MANSOURAH TLEMCEN ALGERIE

G.C.E.S : Gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols

Introduction :

Les terres de montagne Algériennes subissent une dégradation accélérée du milieu écologique liées aux pratiques culturales et pastorales entraînant une diminution des capacités de production et l'usure des conditions de vie des paysans .

Dans les zones semi-arides à sub-humides , l'érosion constitue un grave processus de dégradation du capital sol , entraînant un décapage de l'horizon superficiel et une baisse de son degré de fertilité , du réseau hydrographique et du micro-climat .

L'érosion et la conservation du sol sont depuis toujours l'objet de préoccupation du monde et des études importantes .

Depuis de nombreuses années des efforts sont fait s pour lutter contre la dégradation des terres de montagne ; ainsi l'événement de la D.R.S* préconisé à partir des années 1938 , cette stratégie à intéressé plus de 375 000 ha en Algérie (B,Heuch, 1986) .

Si les techniques préconisées paraissent efficaces dans certains cas , leur mise en application semble en contradiction sociale d'où leur rejet . Les forestiers continuent la réforêtation et la correction torrentielle des ravines , mais les fermiers ne reçoivent plus d'autre aide pour maîtr iser l'érosion sur leur terres que le sous-soulage des terres à croûte calcaire (E,Roose, 1987)

La problématique de l'érosion au niveau des monts de Tlemcen surtout sur le faciès lithologique meuble pose plusieurs problèmes (dégradation du couvert végétal et du capital sol) .

Aujourd'hui , un immense champ de recherche et d'expérimentation s'est ouvert sur la gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols qui repose sur deux grands principes .

-Utilisation rationnelle des terres pour obtenir le plus grand profit pour la collectivité tout en assurant la conservation des facteurs de production .

-Application sur chacun des terroirs définis des procédés et des techniques les plus adaptées pour les soustraire à l'érosion

L'application de la G.C.E.S dans la région de Tlemcen a été initiée pour la première fois dès l'année 1990 en collaboration avec l'O.R.S.T.O.M

Définition du problème :

Les sols peu-évolués à érosion régosolique , les sols bruns calcaires , les sols isohumiques et les sols à caractère vertique qui composent la majorité de la zone sont souvent bien structurés , riches en calcaire , résistent bien à l'origine à la battance des pluies mais pas au ravinement , au sapement des berges et au glissement des terrains .

Les pluies battantes ferment le sol , réduisent sa capacité d'infiltration et provoquent l'abondance du ruissellement , cette énergie du ruissellement dévalant sur les fortes pentes , provoque des dégâts d'érosion sur le sol , le couvert végétal et les aménagements existants .

Présentation du milieu naturel :

La zone d'étude est située au Nord du bassin versant de l'Isser et juste au niveau du sous bassin de Sidi Ahmed Cherif à une distance de 55km du chef lieu

Dans ce sous-bassin se trouve une intense dégradation du sol et du couvert végétal , résultat d'un défrichement abusif du sol et d'une pratique culturale abandonnée à la céréaliculture .

Le climat est de type méditerranéen à tendance continentale , à deux saisons contrastées . Une humide , pluvieuse et l'autre sèche et chaude .

La topographie est caractérisée par un relief convexo-concave entre coupé par des terrasses et des glacis avec une altitude variant entre un minimum de 420m et un maximum de 523m .

Le réseau hydrographique est arborescent lâche , résultat d'une intense dégradation du sol .

La concentration de l'eau à la surface du sol fait apparaître des rigoles . Au niveau de ces rigoles les filets d'eau atteignent un pouvoir érosif suffisant pour creuser le sol et aboutissent à la formation des ravines , puis à des ravins profonds à berges escarpées atteignant une profondeur de 2m .

Premiers résultats de l'application de la G.C.E.S :

a - L'érosion en nappe :

Le processus de la battance des gouttes de pluie tassent le sol , cisailent les agrégats et projettent au loin les particules du sol . L'érosion en nappe est sélective , elle appauvrit les horizons de surface en éléments fins et en éléments fertilisants :

17 parcelles d'érosion (22,2 - 4,5m) ont été installées sur les champs des paysans par Mazour M depuis 1989 sur trois faciés représentatifs des conditions géologiques , climatiques et pédologiques du bassin versant de l'Isser qui se termine par un grand barrage hydraulique (barrage EL-Izdihar) .

Ces stations sont du Sud au Nord :

- Gourari (Jurrassiques gréseux) : Sols rouges fersiallitiques lessivés , végétation à base de Chamareops ulmis et de futaies de Quercus suber .

- Madjoudj (Jurassique calcaire) : Sols peu évolués non climatiques d'érosion , végétation : Olea oleaster , Chamareops ulmis , Quercus ilex , Pistachia lentiscus et Jujubier lotus .

- Sidi M Cherif et Heriz (marne avec parfois intercalations gréseuses) : Sols bruns calcaires à caractère vertique et sol isohumique brunifié, végétation de type céréales et légumes secs .

L'objectif est de comparer les risques de ruissellement et d'érosion sur plusieurs systèmes de culture (Agro-Sylvo-Pastoral) et plusieurs pratiques culturales . Les améliorations introduites sont , le labour soigné , les pesticides , les herbicides , les semences sélectionnées , une fertilisation minérale suffisante , une jachère de légumineuse et des rotations .

Les paramètres mesurés sont la pluie (hauteur , intensité érosivité) , les suspensions et les charges solides , les états de surface des sols , la production de biomasse et des rendements .

Les premiers résultats donnés par Mazour en 1991 ont montrés que : Au cours de la période 89 - 90 et 90 -91 , un déficit pluviométrique a été enregistré 274mm au lieu de 510mm à Madjoudj et 286mm au lieu de 480mm à Heriz et Sidi M Cherif , l'indice d'érosivité Rusa est faible (18 à 36,1) .

L'érosion en nappe fut très modeste , les valeurs retrouvées restent inférieure au seuil de tolérance , résultats confirmés par Heusch .1970 , Kouidri , Arabi etRoose (1989).

- Dans les zones marneuses , l'érosion en nappe a nettement dépassée 2 t/ha .

- Sur les sols d'érosion et les sols fersiallitiques , l'érosion varie de 3,3 à 5,2 t/ha

- Sur les parcelles améliorées , l'érosion , le ruissellement annuel moyen

(K.R.A.M) et surtout le ruissellement maximum (K.R.MAX) , sont légèrement plus faibles que sur les parcelles traditionnelles qui s'explique par l'augmentation de la biomasse et une réduction des surfaces encrouûtées .

Durant la période 92-93 on a enregistré 242mm de pluies en quelques évènements pluvieux . Le (K.R.A.M) varie de 2,2 à 6,8% en zone marneuse mais le (K.R.MAX) atteint 26,5% .L'érosion est de 2,22t/ha et reste inférieure au seuil de tolérance .

Erosion et ruissellement mesurés dans la zone marneuse sur parcelles d'érosions (1992-1993)

| Systèmes | K.R.A.M % | K.R.MAX % | Erosion kg/ha |
|--------------------------------------|-----------|-----------|---------------|
| Sol nu | 6,8 | 26,5 | 2219,91 |
| Parcelle amélioré (Blé tendre) | 2,2 | 8,7 | 368,16 |
| Parcelle traditionnelle (Blé tendre) | 6,1 | 12,7 | 871,84 |
| Jachère | 5,3 | 20,6 | 1144,36 |

L'énergie moyenne des averses ordinaires s'est avérée beaucoup moins importante en zone méditerranéenne montagneuse (Ram/Ham = 1/10 à 1/2) qu'en zone tropicale (Ram/Ham = 1/2) . (Roose .1973-77 , Heusch .1982 , Arabi et Roose .1989 et Mazour .1991) .

b - Dégradation des sols :

L'érosion accélérée apporte un apport massif de sédiments , les particules les plus grossières , parmi lesquelles de très nombreux agrégats se sont déposés au pied des versants , tandis que les particules les plus fines étaient entraînées en suspension dans l'eau vers les oueds et les barrages .

Les sols peu évolués non climatique d'érosion présentent une texture limono-argileuse , un taux de matière organique de 1,69% , une stabilité structurale de 1,2 , un indice de dispersion de 7,22 et une érodibilité qui varie de 0,38 à 0,46 Par contre les sols rouges fersillitiques lessivés la texture et de type limono-sableuse , un taux de matière organique de 4,4% , une stabilité structurale de 1,5 et un indice de dispersion de 25,14 . L'indice d'érodibilité est de 0,23 à 0,27 .

Les sols sur marne ont une texture argileuse à limono-argileuse , un taux de matière organique de 1,72% à 2,03% , une stabilité structurale de 1,2 et indice de dispersion de 5,11 . L'indice d'érodibilité est de 0,35 .

Les matériaux érodés (transport solide et liquide) des parcelles d'érosion ont été analysés pour voir l'effet de l'érosion en nappe sur la dégradation de l'horizon superficiel . Les résultats montrent que ces transports sont riches en éléments de la fraction 0 et 10 μ , mais pauvres pour la fraction comprise entre 10 et 20 microns

On assiste à un entraînement préférentiel des particules les plus fines qui sont constituées d'éléments provenant de la destruction des agrégats par l'impact des gouttes de pluie .

L'érosion en nappe entraîne dans les champs un décapage de l'horizon superficiel en diminuant insidieusement sa réserve en éléments nutritifs et sa capacité à retenir l'eau . Les pertes en matière organique sont extrêmement poussées sous matorral , par contre cette appauvrissement est faible à Sidi A Cherif et Gourari .

Les phénomènes d'érosion entraînent des pertes sélectives en particules fines , en éléments nutritifs et en calcaire .

La croissance des pertes chimiques est presque parallèle à celle des pertes en terre , elle est donc fonction inverse du couvert végétal (E.Roose , 1977) .

Les eaux de ruissellement des parcelles sur marne sont riches en bicarbonates , sodium , sulfates et calcium (139 , 120 , 50 , 64mg/l) , mais pour les parcelles sur grès les eaux

sont riches en bicarbonates , sulfates , chlore , sodium et magnésium respectivement (101 ,48 ,46 ,64 et 21mg/l) .

D'après E ROOSE (1977) la migration du carbone et du phosphore se fait essentiellement sous forme solide (terre de fond et suspension) par contre l'azote , les bases totales et les assimilables leurs migrations se font exclusivement en solution .

c - L'érosion par ravinement :

Tant que les eaux ruissellent en fine couche sur l'ensemble de la surface du sol , leur vitesse est faible , ainsi que leur capacité de transport et leur compétence .

Mais dès que le ruissellement se concentre et prend de la vitesse, son énergie $mv^2/2$ devient capable d'arracher les particules , de creuser des rigoles qui évoluent en ravines

Les facteurs qui influencent le plus le ravinement , sont le volume ruisselé (fonction de la surface du bassin , du degré de saturation des sols , de leur capacité d'infiltration , de l'intensité et de la hauteur des pluies) la vitesse du ruissellement (fonction de la pente , de la rugosité des surfaces , des aménagements et de la résistance du sol au cisaillement) (Roose , 1991) .

Dans la zone marneuse , nous avons pu observer trois types de ravines dont le fonctionnement varie en fonction de la pente et de la lithologie .

- Des ravines en V issues soit des rigoles drainant le refus à l'infiltration des surfaces dégradées , soit provenant de l'attaque du versant au niveau d'une rupture de pente .

- Des ravines en U issues soit de l'attaque des berges par les oueds , soit provenant de glissement de terrain en forte pente .

- Des ravines en tunnel évoluant par suffosion dans les marnes gypseuses .

Nous avons pu observer et suivre depuis Octobre 1991 deux couples de ravines . Des couples de transect permettent de surveiller l'évolution des fonds des ravines , des versants (berges) des ravines et le recul de la tête des ravines . La vitesse d'altération des roches est mesurées par couples de ravines .

Les mensurations effectuées pendant une durée de 15 mois , respectivement le 23-03-92 , le 19-05-92 , le 26-11-92 et le 19-05-93 montre une alternance de séquences d'ablation , de comblement ou de stabilité .

La phase d'ablation intéresse généralement les berges , la tête et le fond des ravines. La phase de sédimentation provient de la fin du dernier événement pluvieux .

La dynamique du ravinement se fait par :

a-L'ablation ou comblement des berges de la ravine

Les bilans de production spécifiques de sédiments sont de l'ordre :

-Ravine 1= -2,5cm/an

-Ravine 2= -1,98cm/an

-Ravine 3= -1,71cm/an

-Ravine 4= -2,65cm/an

b-Le recul de la tête de la ravine , le creusement du fond de la ravine et l'affouillement des berges :

Vu que la pluviométrie cumulée n'a été que de 260 mm de Septembre 1991 à Mai 1992 et de 196 mm de Novembre 1992 à Juin 1993 il n'y a pas de recul significatif .

-Ravine 1= un recul de 1,32m

-Ravine 2= un recul de 1,26m

d - Aménagement des ravines non torrentielles :

La phase pluviale du quaternaire a participé à la modification des versants par la mobilisation des matériaux meubles et altérites .

La nature des matériaux en place , l'agressivité du climat et des techniques culturales parfois mal adaptés ont fait que les versants continuent à évoluer et à se dégrader (décapage de l'horizon superficiel , formation des rigoles qui en s'approfondissant ont évolué en ravines , ravins et bad-lands) .

* Dans la W. de Tlemcen malgré les travaux de D.R.S et de correction torrentielle , les sols continuent à s'éroder et les barrages à s'envaser .

Une étude expérimentale a été entreprise sur la stabilisation des ravines par des procédés simples , moins coûteux et à la portée des paysans (confection d'ouvrages tels que petit barrages en sacs plastiques bourrés de terres associés à des plantations mélangés d'arbres , d'arbustes et d'herbes afin de fixer les sédiments) .

L'opération a commencé au mois de Mars 1993 , six seuils en sacs plastiques ont été construits . Ils ont stoppés après plusieurs événements pluvieux 10,60 à 10,65m³ de terres .

e - Comportement des sols par la gestion de la matière organique :

L'érosion en nappe et rigole entraîne une dégradation de la fertilité physique et chimique du sol par un décapage de l'horizon superficiel , en diminuant insidieusement sa réserve en éléments nutritifs et sa capacité à retenir l'eau par effondrement de la macro-porosité des sols .

L'effet de la battance de la pluie sur la surface du sol , entraîne une diminution de l'infiltrabilité par la formation d'une pellicule de battance .

La caractérisation des sols sur marne montre qu'ils sont faibles en matière organique , sensibles à la battance , d'où la naissance du ruissellement et de la dégradation du sol .

Dans de nombreux pays , des études ont montré que les apports de matière organique sous forme de fumier , de compost ou de paille ont été utilisés avec succès pour protéger le sol contre l'énergie des pluies et comme fertilisant organique pour maintenir le stock du sol , de sa structure et de sa capacité d'infiltration .

Des apports de compost urbain ont été apportés sur les sols marneux à caractère vertique à dose croissante respectivement 0, 25, 50 et 75t/ha sous pois-chiche ont montrés qu'il ya augmentation du rendement qui passe de 9,5q/ha à 22,19q/ha c'est à dire plus que 100%. Le taux de matière organique passe de 1,15 à 1,93% avec une amélioration de la stabilité structurale, de l'infiltrabilité et du stock du sol en éléments fertilisants.

Conclusion :

Les premiers résultats de l'application de la gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols dans la région de Tlemcen montre que les sols de la zone marneuse sont susceptibles aux ruissellement et au ravinement, mais pas à l'érosion en nappe et rigole. Cette dernière entraîne une dégradation de la fertilité physique et chimique des sols. On a constaté sur parcelle "améliorée" une augmentation significative des rendements en céréale qui ont atteint 34 à 35qx/ha alors qu'ils n'ont guère dépassé les 16qx/ha sur les parcelles traditionnelles.

Une expérimentation sur un versant d'un paysan a donné les mêmes résultats, assolement blé tendre vesce-avoine.

La dégradation des sols entraîne des pertes en charge fine et des éléments fertilisants; ces pertes peuvent être compensées par des apports répétés en engrais et de matière organique sous différentes formes (fumier de ferme et de compost)

On a aussi montré qu'on peut gérer les sédiments d'une ravine par des techniques simples peu coûteuses et à la portée des agriculteurs, tout en donnant la considération à l'arbre et l'arbuste dans le paysage.

La gestion du terroir doit être orientée vers une approche progressive qui prend en compte, le type d'utilisation des terres, l'instauration de l'arboriculture rustique en tenant compte des exigences climatiques et édaphiques, et la concentration de l'élevage afin de minimiser la vaine pâture.

L'étude doit être dirigée vers la connaissance des effets du travail du sol, des systèmes culturaux sur la dégradation des propriétés physiques, ainsi que l'analyse fine des différentes phase de ruissellement et des phénomènes de l'érosion en reliant des données expérimentales aux caractéristiques des sols et plus particulièrement de leur surface

BIBLIOGRAPHIE

Arabi M. et Roose E. 1993 - Gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols en montagne méditerranéenne Algérienne. Bull. Réseau Erosion 13 : 230 - 240.

Chebbani R., Belaidi S. 1993 - Suivi expérimental d'une ravine. Mémoire INRF, TLEMCEM, Algérie

Roose E., Ndayizigiyé F. , Nyamulinda V. Byiringiro E. 1988 - La GCES : une nouvelle stratégie de LAE pour le Rwanda. Bull. Agricole du Rwanda, Kigali, 21, 4 : 264 - 277.

Roose E. 1987 - Conservation des sols en zones méditerranéennes : la GCES.une nouvelle stratégie de LAE en Algérie. - Séminaire INRF de Médéa, Bull.Réseau Erosion n° 7 : 91 - 96.

Roose E. , 1991 - Conservation des sols en zones méditerranéennes : synthèse et proposition d'une nouvelle stratégie de LAE, la GCES. Cahiers ORSTOM Pédol. : 26, 2 : 145 - 181.

Mazour M., 1992 - Les facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin versant de l'ISSER, Tlemcen, Algérie. Bull.Réseau Erosion n°12 : 300 - 313.

REMERCIEMENTS

Les résultats présentés ci-dessus font partie d'une convention de coopération entre l'Institut National de Recherches Forestières (INRF) et l'Institut français de Recherche scientifique pour le développement en coopération (ORSTOM), signée en 1996.

OUVRAGES REÇUS

AGRICULTURES, 1994. Cahiers d'études et de recherches francophones, Vol.3, n° 6, Nov-Dec, John Libbey Eurotext, Montpellier, France, pp 385- 405.

AGROFORESTRY, 1994. Traditions and innovations, CSWCRTI, Pratap Narain, K.S Dadhwal, R.K. Singh Eds, Dehra Dun, Inde, 178 p.

ALEXANDRE (D-Y), 1994. La fixation biologique des diguettes à l'IRBET, le point sur les recherches en 1993, IRBET, Ouagadougou, Burkina Faso, 4 p.

Mots-clés: " Burkina Faso, diguettes en terre, cordons pierreux, plateau central, zone semi-aride, conservation des eaux et des sols".

APPLIED SOIL ECOLOGY, 1994. A section of agriculture, ecosystems and environment, Vol. 1, n°1, Avril 1994, Elsevier Science, Amsterdam, Pays-Bas, 90 p.

ASSELIN (J), DE NONI (G), NOUVELOT (J.F), ROOSE (E), 1994. Runoff and soil erosion analysis on some tillage systems in a mediterranean mountainous landscape, papier présenté à l'ISCO, New Delhi, décembre 1994, Inde, 12 p.

Mots-clés: " Ruissellement, érosion des sols, pratiques culturales, montagnes méditerranéennes".

BARRY (O), ROOSE (E), SMOLIKOWSKI (B), Reflexions sur la conduite des actions de lutte anti-érosive au Cap Vert. Essai d'adaptation d'une nouvelle stratégie de lutte anti-érosive appliquée aux zones d'agriculture pluviale: la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols; cas du projet de développement de l'agriculture pluviale et de l'élevage (PRODAP) dans l'île de Santiago, In séminaire Scope "Gestion durable des terres dans les régions semi-arides et sub-humides de l'Afrique", Dakar, Sénégal, 15-19 Novembre 1993, 36 p.

BERGSMA (E), 1994. The bridge between land user and adviser, Papier présenté à l' ISCO, New Delhi, Décembre 1994, Inde, 11p.

Mots-clés: " Erosion, problèmes de lutte anti-érosive, causes de l'érosion, cultivateur, planificateur".

BOLI (Z), BEP (B), ROOSE (E), 1994. Erosion impact on crop productivity on sandy soils of northern Cameroun, papier présenté à l'ISCO, New Delhi, décembre 1994, Inde, 11 p.

Mots-clés: " Evaluation de l'érosion, productivité des terres, savane, Cameroun".

BRUIJNZEEL (L.A), 1990. Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review, International institute for aerospace survey and earth sciences/Unesco, Amsterdam, Pays-Bas, 224 p.

Mots-clés: " Régions tropicales humides, déforestation, croissance démographique galopante, utilisation du sol après défrichement".

BRYAN (R.B), 1994. Soil erosion, land degradation and social transition: Geocological analysis of a semi-arid tropical region, Kenya, Advances in geocology 27, IDRC/CRDI, Catena Verlag, Cremlingen-Destedt, Allemagne, 231 p.

Mots-clés: " Région semi-aride, dégradation du sol, transport de sédiments, ruissellement, pentes, conservation de l'eau".

CAHIERS ORSTOM, 1992. Pédologie, Vol XXVII, n°1, éditions de l'ORSTOM, Paris, France, 133 p.

CAMPBELL (A), 1994. Community First: Landcare in Australia, Gatekeeper series n°42, I.I.E.D, Londres, Royaume Uni, 21 p.

Mots-clés: "Australie, dégradation des sols, méthode du "Landcare", protection de l'environnement, mode d'utilisation des sols".

CATENA, 1993. Soil technology, A cooperating journal of catena, Vol. 6, n°1, Mars 1993, Elsevier Science, Amsterdam, Pays-Bas, 115 p.

CATENA, 1994. An interdisciplinary journal of Soil science-hydrology-geomorphology focusing on geocology and landscape evolution, a cooperating journal of the International Society of Soil Science, Vol. 22, n° 3, Juin 1994, Elsevier Science, Amsterdam, Pays-Bas, pp 215-227.

CATENA, 1994. Soil technology, A cooperating journal of catena, Vol. 7, n°2, Juin 1994, Elsevier Science, Amsterdam, Pays-Bas, 173 p.

CHIHAB (B.A), 1993. L'érosion actuelle dans le bas plateau Zemmour (Maroc Nord-Ouest), doctorat de Géographie physique, Université de Bordeaux, France, pp 161-324.

Mots-clés: " Bas plateau Zemmour, réseau hydrographique dense, érosion éolienne, ruissellement, érosion linéaire".

Résumé: Le bas plateau Zemmour se présente comme un quadrilatère tabulaire et monotone, mais profondément entaillé par un réseau hydrographique dense. La pression démographique et l'épuisement des réserves de terres à défricher ont accéléré la dégradation irréversible des sols. Malgré l'utilisation des engrais minéraux, la surexploitation du sol et le "surpacage" ont entraîné une chute des rendements.

CNRS- CEFE, 1994. Bulletin du réseau des zones arides, n° 28 et 29-30, Montpellier, France, 103 p et 145 p.

CONFERENCE PROGRAMME, 1994. Soil and water conservation, challenges and opportunities, Décembre 4-8, 1994, New Delhi, Inde, 30 p.

CSWCRTI, 1987. Mined area rehabilitation research project Sahastradhara, CSWCRTI, Dehra Dun, Inde, 25 p.

CSWCRTI, 1989. Central soil and water conservation research and training institute, Dehra Dun, Inde, 20 p.

DERBYSHIRE et al, 1991. Variation in runoff on steep, unstable loess slopes near Lanzhou, China: initial results using rainfall simulation, in Process models and theoretical geomorphology, Geological hazards research institute, China, pp 339-354.

Mots-clés: " Région de Lanzhou, Chine, plateau loessique, ruissellement, terrasses, croûte de surface".

DESCROIX (L), 1994. L'érosion actuelle dans la partie occidentale des Alpes du Sud, doctorat, Université de Lyon II, France, 350 p.

Mots-clés: "Moyenne montagne, dégradation du milieu, érosion anthropique, actions de l'eau, gel, ravinement".

Résumé: ce travail présente plusieurs centres d'intérêts qui sont reliés entre eux. Le premier est d'ordre géographique et consiste à montrer quelles formes peut prendre la dégradation du milieu de moyenne montagne et surtout de mettre en évidence les liens entre cette dégradation et le rôle de l'homme d'une part, et les recherches et travaux menés par ce dernier pour s'adapter au

milieu, à sa dégradation, et bien sûr pour remédier à celle-ci, d'autre part.

DESTHIEUX (F), 1994. Les phosphates à travers les principales interfaces continentales et océaniques, application au cas des phosphates de certains milieux superficiels méditerranéens et paléotropicaux et aux eaux karstiques, sans Ref., 14 p.

Mots-clés: " Phosphates naturels, précipitations, dilution, cavités karstiques".

DIALLO (A), 1992. Evaluation des étables fumières en haute Casamance (Sénégal), D.A.T, CNEARC-ISRA, Sénégal, pp 34-40.

Mots-clés: " Parcage, étable fumière, stabulation, fumier, intensification, agriculture/élevage."

Résumé: En 1985, la dégradation continue des sols cultivés a abouti à la vulgarisation d'étables fumières dans la zone cotonnière de la Haute casamance et du sénégal oriental.

DJEGUI (N), 1992. Matière organique et azote dans les sols cultivés sur terres de barre (Bénin), Document ORSTOM Montpellier n°6, France, 185 p.

Mots-clés: " Sud Bénin, stock organique des sols, sols ferralitiques, terres de barre, azote, brûlis du sous-bois, semis en poquet."

Résumé: Cette étude concerne les sols ferralitiques du Sud du Bénin nommés habituellement "terres de barre". Elle vise à déterminer l'effet de différents systèmes de cultures sur le statut organique de ces sols et en particulier le statut azoté. Le bilan organique qui se trouvait équilibré par des écosystèmes fondés sur la jachère forestière a été modifié à cause de la substitution par des agro-systèmes dans lesquels le cycle des éléments fertilisants comporte des exportations par les récoltes et des pertes par lixiviation qui ne sont généralement pas compensés par les apports d'engrais. Ceci entraîne une baisse des teneurs en éléments minéraux et parfois une nette acidification des sols qui influe sur le cycle de l'azote.

DUCHAUFOR (H), 1993. Stratégies de développement régional: une approche spatiale de l'environnement rural des bassins versants de la Ntakangwa et de la Muha, Cirad-Sar n° 52/93, Burundi, pp 36-54.

Mots-clés: " Bujumbura, érosion urbaine, site collinaire, phénomènes d'érosion hydrique".

Résumé: Les sites collinaires qui surplombent Bujumbura, capitale du Burundi, subissent d'importantes dégradations par suite d'une croissance accrue de la population péri-urbaine. La mise en

culture des pentes extrêmes (+ de 60 %) a provoqué une érosion grave pour la ville. Celle-ci subit des dégâts importants au niveau de certaines infrastructures comme les ponts, routes, maisons d'habitation. Il est donc impératif d'assurer une protection des ressources naturelles de ces sites de collines, par la généralisation d'un système intégrant "élevage intensif, agriculture et agroforesterie fourragère antiérosive" ainsi que la gestion des eaux, facteur principal d'érosion à tous les niveaux.

DUGUE (P), (à paraître). Recyclage des résidus de récolte en vue d'accroître l'utilisation de la fumure organique: le cas du Sine Saloum (Sénégal), 31 p.

Mots-clés: " Résidus de récolte, érosion éolienne, recyclage des résidus, porosité du sol, ruissellement, système racinaire des cultures".

DUROUSSET (E), 1994. Pratiques sociales associées à l'érosion des sols viticoles et aux inondations en Saône-et-Loire, Université Paris X-Nanterre, France, 154 p.

Mots-clés: " Terroirs viticoles, érosion des sols, maîtrise du ruissellement, mécanisation des parcelles, défrichement des espaces intermédiaires, augmentation de la taille des parcelles".

Résumé: Dans le vignoble de Saône-et-Loire, les problèmes d'érosion des sols se posent fréquemment au cours des XVIII^e et XIX^e siècles. Ils ont pour cause principale les défrichements qui eurent lieu à cette époque. Des pratiques de maîtrise de l'érosion se mettent en place. Un nombre important de changements à différents niveaux de la pratique de la viticulture ont entraîné une aggravation de l'érosion des sols. Cette étude a permis de dégager les différentes dimensions des pratiques sociales à savoir le niveau économique (la validité pour l'exploitation des actions de maîtrise de l'environnement), le niveau identitaire (l'identité professionnelle et sociale), le niveau local (environnement, contextes locaux et liens sociaux). Il est ainsi possible de sortir de l'analyse des phénomènes particuliers de l'érosion et des inondations pour dégager certains points communs susceptibles d'éclaircir la lecture d'autres problèmes d'environnement sur le plan local.

EROSION CONTROL, 1994. Watershed management, The journal for erosion and sediment control professionals, Vol. 1, n°5, Novembre-Décembre, Forester Communications, Santa Barbara, U.S.A, pp 20-38.

FAO, 1989. Conservation des sols et des eaux: façons culturales appropriées, Bulletin pédologique FAO, n° 54, Rome, Italie, 272 p.

Mots-clés: " Erosion, pratiques de travail du sol, conservation des sols, des eaux et de l'énergie, agriculture non irriguée".

FARRINGTON (J), BEBBINGTON (A), 1994. From research to innovation: getting the most from interaction with NGOs in farming systems research and extension, Gatekeeper series n°43, I.I.E.D, Londres, Angleterre, 23 p.

FAUCK (R), 1994. Gestion de la ressource en eau, le problème de l'érosion des terres, In C. R. Acad. Agri. Fr., 80, n°4, pp 3-14. Scéance du 1er juin 1994.

Mots-clés: " Erosion hydrique, facteur lié au site, zone méditerranéenne, région d'altitude, terre en pente, pratique culturale, France".

FLORET (C), PONTANIER (R), SERPANTIE (G), 1993. La jachère en Afrique tropicale, dossier MAB 16, ONU, Paris, France, 86 p.

Mots-clés: " Jachère, engrais, lutte anti-érosive, dégradation de l'environnement, temps de jachère".

Résumé: En Afrique tropicale, un système d'utilisation des terres très courant consiste en une phase de culture, suivie d'un abandon cultural dès qu'une baisse de rendement du travail se fait sentir. Cette seconde phase permet un retour à une savane arbustive ou arborée qui, dans bien des endroits, peut être considérée comme une jachère de longue durée. Ce repos de la terre peut être considéré comme un moyen efficace de lutte anti-érosive.

FONDATION INTERNATIONALE POUR LA SCIENCE (IFS), 1994. Systèmes agraires et agriculture durable en Afrique sub-Saharienne, Compte-rendu du séminaire régional organisé par la Fondation Internationale pour la Science, 7-11 Février, Cotonou, Bénin, pp, 171-607.

Mots-clés: " Systèmes agraires, protection des sols, fertilisation, fixation d'azote, jachère, zone soudanienne, agriculture durable".

GALLIEN (E), 1994. Genèse du ruissellement et de l'érosion diffuse: influence de l'occupation du sol et transfert d'échelle du m² à la parcelle, D.A.A, Ministère de l'agriculture, Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier, France, 61 p.

Mots-clés: " Erosion diffuse, plateaux limoneux, ruissellement, concentration en terre du ruissellement, couvert végétal".

Résumé: Les plateaux limoneux du Nord-Ouest de la France présentent des signes d'érosion graves. Ils sont pourtant caractérisés par des pentes relativement douces et subissent un régime de pluie de faible intensité (- de 10 mm/h en moyenne).

Deux grands types d'érosion peuvent y être recensés: une érosion de versant, au cours de laquelle des particules de la surface du sol sont transportées par le ruissellement en nappe (c'est l'érosion diffuse) et une érosion de talweg, par creusement par l'eau de rigoles et ravines le long des chemins d'eau privilégiés du bassin versant, où l'eau se concentre (c'est l'érosion linéaire). Le ruissellement en nappe est à l'origine de l'érosion linéaire. Le but de ce travail est donc de mettre l'accent sur les mécanismes de l'érosion diffuse et de quantifier l'effet réel du couvert végétal ainsi que la possibilité d'utiliser la jachère obligatoire de la Politique Agricole Commune comme outil de maîtrise de l'érosion.

GEODERMA, 1994. Geoderma: an international journal of soil science, Vol. 63, n°1, Septembre 1994, Elsevier Science, Amsterdam, Pays-Bas, pp 43-95.

GEOJOURNAL, 1994. Land degradation, natural resources and local knowledge in Sahel zone of Burkina Faso, n° 33-4, Kluwer academic publishers, Allemagne, pp 365-375.

Mots-clés: " Dégradation des sols, Sahel, vent, ruissellement, désertification, couvert végétal".

GERTEC, 1994. Geomorphological response to environmental change, International geographic union, 9 p.

GRAS (R), 1994. Sols caillouteux et production végétale, INRA éditions, Paris, France, 175 p.

Mots-clés: " Sols caillouteux, production végétale, température du sol, écoulement de l'eau, réserve en eau du sol".

GRATIER (M), de PURY (P), 1994. Les sols du canton de Genève, Communication présentée à la séance du 21 avril 1994, In Archs Sci. Genève, Vol. 47, fasc.2 , Septembre 1994, pp 165-194.

Mots-clés: " Sols lessivés, sols altérés, couvert végétal, pentes, action anthropique".

Résumé: Dans le canton de Genève, considéré comme un canton-ville, la surface agricole utile et les forêts représentent 50% d'une surface cantonale pourtant réduite. La plus grande partie de ces sols se sont formés aux dépens de moraines à éléments siliceux et calcaires de provenance alpine abandonnés par le glacier du Rhône. Les sols se sont développés en fonction de la perméabilité des divers dépôts morainiques. Les pentes, en amplifiant les transports de matière, jouent un rôle majeur sur la profondeur du sol et son acidité (modification de la teneur en calcaire). L'importance du rôle de l'homme sur la morphologie de la couverture pédologique est soulignée par la discordance entre les caractères génétiques

observés et les caractères fonctionnels d'aujourd'hui provoqués par le drainage artificiel, l'eutrophisation due aux engrais et un nivellement de la topographie par le travail du sol.

GUEYE (M), 1994. Conflits et alliances entre agriculteurs et éleveurs: le cas du Goll de Fandène, I.I.E.D, Dossier n°49, Avril 1994, Londres, Angleterre, 19 p.

GUYOT (JL), 1993. Hydrogéochimie des fleuves de l'amazone bolivienne, doctorat, Editions de l'ORSTOM, Paris, France, p 156-163.

Mots-clés: " Bassin amazonien, Andes, matières particulaires, matières dissoutes, transport de fond, érosion, sédimentation".

HARAMATA, 1994. Les toits sans bois, Bul. des zones arides: peuples, politiques, programmes, n° 24, I.I.E.D, Londres, Angleterre, 28 p.

I.F.S, 1993: Improvement of soil fertility, Institut des Sciences du sol, Academia Sinica, International Foundation for Science, 18-24 avril 1993, Nanjing, Chine, 264 p.

Mots-clés: " Chine, fertilité des sols, gestion des sols, fertilisants".

I.I.E.D, 1989. Les orientations de Ségou, Rencontre régionale de Ségou (Mali), Document n° 11, Septembre 1989, Ségou, Mali, 8 p.

IBSRAM, 1994. Newsletter, international board for soil research and management, n° 33, Septembre 1994, IBSRAM Publications, Bangkok, Thailand, 7 p.

ICRAF, 1993. L'agroforesterie aujourd'hui, Vol. 5, n°4, Octobre-Décembre 1993, Nairobi, Kenya, 25 p.

ICRAF, 1994. L'agroforesterie aujourd'hui: les arbres au bois dormant, Vol. 6, n°2, Avril-Juin 1994, Nairobi, Kenya, 25 p.

INDIAN JOURNAL OF SOIL CONSERVATION, 1994. Soil and water conservation retrospects and prospects, Vol. 22, n° 1 et 2, Jan-juin 1994, Indian association of soil and water conservationists, Dehradun, 296 p.

Mots-clés: " Mesures de conservation des sols et de l'eau, dégradation des sols, réhabilitation, agroforesterie, couvert végétal".

IRHO, 1990. Le sous-solage en plantation de palmier à huile. Présentation d'un outil adapté et des conditions de réalisation, In oléagineux, Vol 45, n° 8-9, Août-Septembre 1990, pp 387-394.

Mots-clés: " Horizons tassés, plantations de palmiers à huile, engins lourds, réserve hydrique".

Résumé: L'utilisation d'engins lourds en cultures intensives, se traduit souvent par la formation au niveau du sol d'horizons tassés, préjudiciables au bon développement des cultures. En plantations industrielles de palmiers à huile, ce type de dégradation peut être observé lorsque les préparations des terrains ont été réalisées brutalement et sans précautions, bien souvent sur sols humides. Pour tenter de corriger le phénomène, il est nécessaire d'ouvrir la structure du sol, c'est-à-dire de fracturer les couches résistantes et de créer des agrégats avant la mise en place des palmiers, afin de favoriser leur enracinement.

ISCO, 1994. Programme de la 8^o conférence, Soil and water conservation: challenges and opportunities, du 4 au 8 Décembre, New Dehli, Inde, 25 p.

JOSHI (B.P), SINGH (P.N) et al., 1989. Water management in high rainfall North-West foothills, Bulletin T-21/D-17, Central soil and water conservation research and training institute, Dehradun, Inde, 33 p.

Mots-clés: " Ressources en eau, production agricole, pratiques de conservation de l'eau, irrigation".

JOURDAN (O), 1980. Devenir du potassium restitué par les urines au pâturage, la part récupérée par l'herbe, In Dossiers agronomiques d'ASPACH le Bas, n°1, Décembre 1980, pp 5-28.

Mots-clés: " Pâturages, fertilisation potassique, engrais, production de matière sèche, rendements".

Résumé: Cet essai permet de comparer deux systèmes: fauche et pâture, avec et sans fertilisation potassique. La moitié des parcelles est semée en dactyle et l'autre en fétuque. L'engrais agit rapidement sur la production de matière sèche. L'effet des restitutions en pâture est immédiatement observé dans les teneurs en K de l'herbe, particulièrement sur dactyle, mais il faut attendre cinq ans pour obtenir une différence sensible sur le rendement. Le coefficient de récupération du potassium par l'herbe, variable suivant le niveau de fertilisation en K₂O et l'espèce végétale tend à dépasser 50 %, mais l'efficacité de cet élément reste très inférieure à celle du système de fauche.

JUYAL (G.P) et al., 1991. Geojute for rehabilitation of steep mine spoil areas, Bul. n° T-26/D-19, CSWCRTI, Dehradun, Inde, 22 p.

Mots-clés: "Pentes, jute, terrasses dégradées, stabilisation des pentes, couvert végétal".

Résumé: Dans le Nord-Est de l'Inde, sur les collines de Shiwalik, les pentes sont couvertes de terrasses dégradées où la végétation ne pousse même plus. La toile de jute, produite par l'industrie textile indienne, pourrait permettre de réhabiliter ces pentes érodées qui appartiennent à un ancien site d'exploitation de mines. Ce matériel fournirait un support mécanique pour la pousse du couvert végétal sur ces pentes.

KAASSCHIETER (G.A), COULIBALY (Y), KANE (M), 1994. Supplémentation de la paille de mil (*Pennisetum thyphoides*) avec le tourteau de coton: effets sur l'ingestion, la digestibilité et la sélection, rapport PSS n°4, Wageningen, Pays-Bas, 25 p.

Mots-clés: "Ressources fourragères, sécheresse, pays sahéliens, paille de mil, matière organique".

KAISIN (E). De l'utilité des brise-vent en zone sahélienne: la prudence s'impose, bureau des Nations-unies pour la région Soudano-Sahélienne, New York, U.S.A, 9 p.

Mots-clés: "Brise-vent, évapotranspiration, érosion éolienne, productivité, Sahel".

Résumé: En Afrique sahélienne, la technique des brise-vent est apparue comme une solution pour la protection des sols contre l'érosion éolienne. Mais des observations in situ ont permis de mettre en évidence un effet dépréciateur de la productivité des parcelles protégées. Les causes en sont mal connues. La concurrence hydrique est la première incriminée mais, lorsque les essences constitutives du brise-vent sont à enracinement très réduit, les effets physiologiques semblent prédominants sur les cultures pluviales en zone sahélienne.

KALMAN (R), 1976. Etude expérimentale de l'érosion par griffes, In revue de géographie physique et de géologie dynamique (2), Vol. XVIII, Fasc 5, Paris, pp 395-406.

Mots-clés: "Maroc, griffes, pente, érosion accélérée, débit".

Résumé: On a effectué, sur deux types de sols marocains, une série d'expériences de creusement de griffes d'érosion sous débit liquide contrôlé, sur des versants de pentes variables. On a constaté: 1) Que la vitesse de l'eau est constante sur toute la longueur de la griffe et ne dépend que de la pente et du débit

2)

Que l'érosion, rapide en début d'expérience, diminue ensuite jusqu'à devenir quasi nulle.

KANTE (S), DEFOER (T), 1994. La connaissance de la classification et gestion paysanne des terres: rôle dans l'orientation des actions de recherche et de développement, I.I.E.D, Dossier n°51, Londres, Angleterre, 19 p.

Mots-clés: " Mali, gestion des terres, fertilisation, enherbement".

Résumé: Dans le but de comprendre le système traditionnel de la classification des sols, d'appréhender les critères qui en constituent la base et de déterminer les stratégies paysannes de la gestion des terres, une étude a été menée en milieu Minianka, au Mali-Sud. L'aptitude des sols d'être labourés après les premières pluies de l'hivernage, et leur sensibilité à l'excès d'eau en terme d'adhésivité, qui peut retarder les travaux du sol, sont les principaux facteurs qui forment la base de la classification des terres.

KOBAYASHI (H), 1994. The significance of grass roots for soil conservation, soil particle holding function with pasturage grass roots, Kitasato University, Towada, Aomori, Japan, 12 p.

Mots-clés: " Qualité d'herbe, conservation des sols, racines, pâturage".

KRUGER (H), 1994. The development of farmer friendly conservation measures, understanding conflicts between production and conservation, sans Ref., 5 p.

Mots-clés: " Ethiopie, dégradation des sols, conservation du sol et de l'eau, hautes terres".

LE FUR (A), 1994. Erodibilité et dispersabilité de vertisols de la Martinique: rôle de la matière organique et de la garniture ionique, Mémoire d'agronomie, ORSTOM, Montpellier, Paris, 48 p.

Mots-clés : " Vertisols, érodibilité, matière organique, cations échangeable, agrégation".

Résumé: L'érodibilité et la dispersabilité de deux vertisols de la Martinique, distincts par leur garniture ionique (magnésio-sodique et calcique) ont été étudiés par l'intermédiaire de deux tests: de simulation de pluie au champ et de cinétique de désagrégation dans l'eau, en laboratoire. Cette étude a porté sur des sols sous forêt, prairie et maraîchage. Les résultats montrent que les vertisols sous forêt et prairie ont une érodibilité et une dispersabilité nettement inférieures à celles des vertisols sous maraîchage.

LELONG (F), ROOSE (E), DARTHOUT (R), TREVISAN (D), 1993. Susceptibilité au ruissellement et à l'érosion en nappe de divers types texturaux de sols cultivés ou non cultivés du territoire français. Expérimentation au champ sous pluies simulées, In Science du sol, Vol. 31, n°4, pp 251-279.

Mots-clés:" Simulation de pluie, érosion en nappe, ruissellement, dégradation structurale, croûte de battance".

Résumé: L'étude des phénomènes de ruissellement et de transports solides a été menée par méthode expérimentale au champ pour différents types de sols français à texture contrastée. L'objectif était de préciser la capacité d'infiltration et la stabilité des agrégats, selon les caractéristiques physiques des sols, leur état de surface (présence et nature de la végétation, rugosité de la surface, pierrosité, existence d'une croûte de battance...), les conditions initiales d'humidité et leur situation au cours du cycle cultural. La méthode employée consiste à provoquer du ruissellement sur des parcelles de sol de 1m² par aspersion, à l'aide d'un simulateur de pluie de type ORSTOM dans des sites différents. Les mesures de l'intensité du ruissellement et des transports solides ainsi provoqués, correspondent à différentes intensités d'averses, comprises entre 30 et 100 mm h⁻¹. IL apparaît une grande variabilité des valeurs caractéristiques obtenues sur chaque site, tant pour l'infiltrabilité minimale (entre 0 et 100 mm.h⁻¹) que pour l'intensité des transports solides (turbidité variant de 0 à 12 g.l⁻¹). En définitive, les comportements hydrodynamiques et mécaniques des sols testés dépendent essentiellement de leur état de surface.

MAGLINAO (A), HASHIM (G), 1994. Management of sloping uplands for sustainable agriculture in southeast Asia, PCARRD, Farm Resources and Systems Research Department, Los Banos, Laguna, Philippines, pp 11-127.

Mots-clés:" Hautes terres, pentes, Asie du Sud-Est, matière organique, problèmes de fertilité".

Résumé: Aux Philippines, 18 Millions d'habitants, c'est-à-dire presque 30 % de la population totale du pays vit actuellement sur des pentes de 18 % et plus. Ce sont surtout des familles d'agriculteurs qui vivent en autarcie et dans des conditions de pauvreté et d'insécurité extrêmes. Il apparaît donc urgent de mettre sur pied un écosystème pour protéger les hautes terres.

MALINDA (D), 1994. Residue management and tillage technical session, future stratégies, International soil conservation organisation conference held in New Delhi, 4 au 8 Décembre 1994, 6 p. **Mots-clés:**" Inde, contrôle de l'érosion, matière organique, stratégies pour les pays développés et en voie de développement".

MISHRA (A.S), BHATT (P.N), VENKATARAMANAN (C), 1988. Soil conservation prospects and challenges, CSWCRTI, Dehra Dun, Inde, 22 p.

Mots-clés: " Région semi-aride, conservation de l'eau et des sols, Inde, couvert végétal, ruissellement".

MOUSSA (M), 1994. Influence des techniques culturales sur le ruissellement et l'érosion dans les Rougiers de Camarès (Aveyron), Mémoire DITA, ORSTOM-CNEARC, Montpellier, France, 57 p.

Mots-clés: " Rougiers, précipitation, battance, ruissellement, travail du sol, érosion hydrique, érosion mécanique sèche, gestion des sols.

Résumé: L'étude des phénomènes de ruissellement, de transports solides et d'érosion, y compris l'érosion mécanique sèche, a été menée dans les Rougiers de Camarès, parce que l'utilisation intensive des terres pour l'élevage ovin (proximité des caves de Roquefort) a provoqué une accélération des phénomènes de dégradation des sols. L'objectif est donc d'étudier l'impact de quelques types de pratiques culturales, représentatives de la région, sur la genèse du ruissellement et de l'érosion. Des méthodes expérimentales originales comme la simulation de pluie, des tests pour mesurer l'érosion mécanique sèche et le ruissellement ont été utilisés.

MTIMET (A) et al, 1994: Sols de tunisie. Bulletin de la direction des sols, n° 15, Ariana, Tunisie, 326 p.

Mots-clés: " Sud tunisien, loess, granulométrie, quaternaire, datation 14 c, profil pédologique, pédogénèse, géotechnie, accumulation calcaire, classification, érosion".

Résumé : Les limons à nodules calcaires se développent dans de nombreuses régions tunisiennes, mais leur plus grand domaine de représentation est la région des matmata en Tunisie méridionale. Ce matériau est riche en carbonates de calcium et les nodules calcaires forment une des caractéristiques majeures de ces limons. Les sols rencontrés sur ce matériau sont des sols qui évoluent lentement et relèvent d'anciennes pédogénèses du pléistocène. Ils se développent dans la zone amont, la montagne, et sont exploités en grande partie par l'arboriculture en système de jessours; ces sols sont constamment menacés par l'érosion hydrique. En aval, ils sont redistribués par le ruissellement, entourent les piémonts des djebels et s'étalent dans la plaine de la djeffara. La sauvegarde et l'aménagement des sols sur limons contribuent à freiner la désertification et à augmenter la surface agricole utile dans ce milieu aride.

OFFICE NATIONAL DES FORETS, 1990. Forêts et risques naturels en montagne, Fontainebleau, France, 28 p.

Mots-clés:" Forêts domaniales, montagne, rôle de protection, risques naturels, régénération artificielle".

OMORO (L), NAIR (P), 1993. Effects of mulching with multipurpose -tree prunings on soil and water runoff under semi-arid conditions in Kenya, In Agroforestry systems, Vol. 22, Kluwer Academic Publishers, Amsterdam, Pays-Bas, pp 225-239.

Mots-clés: " Mulch (MPT), conservation des sols, érosion des sols, conditions de région semi-aride, Kenya".

Résumé: Au Kenya, à Machakos, une expérience qui a duré deux ans, a permis de mesurer les effets de l'addition de paille sur le ruissellement mais aussi sur les pertes en terre sur un alfisol cultivé sous des conditions semi-arides. Les résultats ont montré que la paille permettait de réduire considérablement les pertes en terre mais aussi le ruissellement et ses effets.

ORSTOM, 1994. " Recueil provisoire des communications, Xèmes Journées hydrologiques, 13 - 14 Septembre 1994, ORSTOM, Montpellier, France, 11 p.

ORSTOM, 1994. Sciences au Sud: Dictionnaire de 50 années de recherche pour le développement, Paris, France, 161 p.

PARCOURS DEMAIN, 1994. Bulletin d'information sur les systèmes pastoraux du Nord de l'Afrique et du Sahel, CIHAAM/IAM-M, Réseau Parcours, Montpellier, France, 43 p.

PARCOURS DEMAIN, 1995. Bulletin d'information sur les systèmes pastoraux du Nord de l'Afrique et du Sahel, Vol. 5, n°1, Janvier 1995, Réseau Parcours, CIHEAM/IAM-M, Montpellier, France, pp 27-34.

PARCOURS, 1994. Stratégies de mise en oeuvre du développement pastoral: Deuxième séminaire international du réseau PARCOURS, I frane, Maroc (14-18 septembre 1993), CIHEAM/IAM, Montpellier, France, 187 p.

PATNAIK (U.S), CHITTARANJAN (S), RAMAMOHAN RAO (M.S), 1987. Conservation ditching for soil and water conservation in low rainfall vertisol regions, Bul.n°T-19/D-15, 1987, Central soil and water conservation research and training institute, Dehra Dun, Inde, 30 p.

Mots-clés: "Vertisols, régions arides, sols profonds, montmorillonite, ruissellement, craquements du sol".

PENNING DE VRIES (F.W.T), DJITEYE (M.A) (EDS.), 1982. La productivité des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle, Agricultural research reports 918, Centre for

publishing and documentation, Wageningen, Pays-Bas, pp 284-476.

Mots-clés: " Précipitation, bilan d'eau, fertilité de sol, azote, phosphore, productivité (potentielle), qualité de fourrage, systèmes d'élevage, transhumance, dégradation, feux de brousse, légumineuses, gestion, aménagement".

Résumé: Le bilan de l'eau, les cycles d'azote et de phosphore, la production actuelle et potentielle et l'écologie des pâturages sahéliens ont été examinés systématiquement afin de comprendre et de quantifier le potentiel de cette ressource. La croissance démographique exige une telle intensité d'exploitation des pâturages, que leur fertilité et productivité diminue progressivement, ce qui provoque leur dégradation: par déclin de leur structure ou par compactage du sol (le premier cas est de loin le plus important au Sahel).

PENVEN (M.J), MUXART (T), 1994. Bassin versant du Vannetin, URA 141/CNRS, Livret guide, Piren/Seine/ Equipe bassins versants ruraux, septembre 1994, Montpellier, France, 22 p.

Mots-clés: "Modification de l'utilisation de l'espace, bassin-versant, unités spatiales fonctionnelles (USF), matières en suspension (MES), nutriments".

PERRET (S), 1993. Propriétés physiques, hydriques et mécaniques de sols andiques de la Réunion: Facteurs d'évolution des horizons culturaux, implications agronomiques et écologiques, Génie agronomique et mécanisation, CIRAD-SAR, n°1/93, Janvier 1993, Montpellier, France, pp 115-265.

Mots-clés: "Andosols, propriétés physiques, espace poral, état structural, dynamique de l'eau, ruissellement, travail du sol, performances des matériels, rendement, variabilité spatiale".

Résumé: Ce travail concerne les horizons superficiels de sols andiques de la Réunion et consiste à en décrire les propriétés physiques et leur évolution sous contraintes, à définir des composantes de leur aptitude culturale par la mise en relation de ces propriétés avec les dynamiques superficielles de l'eau et des structures, les conditions de mise en culture et le comportement des plantes. Sous pluies simulées, les processus générateurs de ruissellement et d'érosion sont décrits. Les résultats soulignent le comportement particulier des andosols: infiltrabilité gouvernée par l'horizon continu sous-jacent, transport de structures grossières, battance et ruissellement diffus modérés sur sol non dégradé, plus marqués sur sol dégradé.

POESEN (J.W), LAVEE (H), 1994. Rock fragments in top soils: significance and processes, Catena Vol. 23, Elsevier Science, Amsterdam, Pays-Bas, pp 1-28.

Mots-clés: " Fragments de roche, couches arables, dégradation physique des sols, érosion des sols".

Résumé: Cette étude analyse les divers aspects que revêtent les fragments de roche sur les couches arables. Une attention toute particulière a été accordée à la définition et à la quantification des fragments de roche dans les terres arables, à la densité des sols qui contiennent des morceaux, à leur distribution spatiale, à leur mouvement dans les sols, aux effets de ces fragments sur certains processus hydrologiques clés, aux propriétés thermales des terres, à la dégradation physique des sols, à l'érosion des sols et enfin à la productivité des sols.

POESEN (J.W), TORRI (D), BUNTE (K), 1994. Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: a review, *Catena* Vol. 23, Elsevier Science, Amsterdam, Pays-Bas, pp 141-166.

Mots-clés: " Processus d'érosion des sols, fragments de roche , eau, conservation des sols".

REICHERT (J.M), NORTON (L), HUANG (C), 1994. Sealing, amendment, and rain intensity effects on erosion of high-clay soils, In *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Vol. 58, pp 1199-1205.

Mots-clés: " Particules de sol, transport, forces érosives, pluie, ruissellement, simulation de pluie".

RESEAU R3S, 1994. Les publications des chercheurs du réseau R3S, Comité de coordination documentaire R3S, CIRAD-CA, Montpellier, France, 38 p.

RESEAU, 1989. Lettre du Réseau Recherche Développement, bilan des activités 1989, Paris, France, 11 p.

ROOSE (E), 1994. La gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES), une nouvelle méthode de lutte antiérosive testée par le projet PRODAP dans une zone semi-aride montagnaise du Cap Vert (Godim, Ribeira Seca, Ile de Santiago), Compte-rendu de mission du 17 au 29 mai 1994 en appui au PRODAP-FIDA, centre ORSTOM, Montpellier, France, 16 p.

Mots-clés: " Régions semi-arides de montagne, développement rural, gestion conservatoire des ressources naturelles, nouvelle stratégie participative de gestion de terroir".

Résumé: Il s'agit d'un programme de recherche et de développement pour appliquer en milieu semi-aride montagnard, à forte densité de population, une nouvelle stratégie participative de gestion conservatoire de terroir où la lutte antiérosive n'est qu'une partie du programme de développement rural.

ROSSET (P), BENJAMIN (M), 1994. Two step's back, one step forward: Cuba's national policy for alternative agriculture, Gatekeeper series n°46, Londres, Royaume Uni, 26 p.

Mots-clés: " Gestion de l'environnement, labour minimal, emploi rationnel des fertilisants, jachère, rotation des cultures, couverts végétaux."

SABIR (M), 1994. Impact du pâturage sur l'état de surface et les propriétés hydrologiques du sol dans un milieu steppique marocain (périmètre de l'Aarid, haute Moulouya), doctorat de Sciences Agronomiques, Université du Maroc, 161 p.

Mots-clés: "Pâturage, état de surface, milieu aride, Maroc, surpâturage, couvert végétal".

Résumé: L'objectif de cette recherche est de pouvoir étudier l'impact du pâturage sur l'état de surface et sur les propriétés hydrologiques du sol dans un milieu pastoral aride de la Haute Moulouya (Aarid), Maroc. Il est très significatif d'observer que si l'on double la charge animale sur un pâturage, cela entraîne une dégradation du couvert végétal, une diminution de la capacité d'infiltration et une augmentation des risques de ruissellement et d'érosion. L'avenir des parcours en zone semi-aride est compromis dans la mesure où ceux-ci doivent supporter 3 à 5 fois plus de charge que celle qu'ils sont capables de soutenir durablement.

SANON (K), 1993. Relation entre la durée de mise en valeur d'un sol et bilan hydrique: Cas du village de Thiougou (Burkina Faso), D.I.A.T, Montpellier, France, 49 p.

Mots-clés: " Pratiques culturales, sol ferrugineux modal, durée d'exploitation, bilan hydrique, Burkina Faso".

Résumé: Cette étude concerne les pratiques culturales des agriculteurs de Thiougou, dans la région du Centre-Sud du Burkina Faso. A partir des mesures de ruissellement effectuées avec un dispositif léger (parcelles de 1 m²) sur des parcelles d'âge de défrichement différent, un schéma de bilan hydrique est réalisé. Malgré l'existence de conditions climatiques opposées (année sèche ou humide), le ruissellement augmente avec la durée d'exploitation (32 % pour une année d'exploitation et 54 % après 16 ans).

SCHERTZ (D.L), KEMPER (W.D), 1994. Crop residue management systems and their role in achieving a sustainable, productive agriculture, sans Ref., U. S.A, 13 p.

Mots-clés: "Résidus de culture, matière organique, érosion des sols, qualité des sols, qualité de l'eau".

Résumé: L'érosion des sols peut être sensiblement diminuée grâce à l'utilisation des résidus de culture pendant la période la plus critique pour l'érosion éolienne.

SHAINBERG (I), LAFLEN (J.M), BRADFORD (J.M), NORTON (L.D), 1994. Hydraulic flow and water quality characteristics in rill erosion, In Soil Sci. Soc. Am. J., Vol. 58, pp 1007-1012.

Mots-clés: "Taux de ruissellement, pentes, érodibilité, perte en terre".

SIGHA-NKAMDJOU, 1994. Fonctionnement hydrochimique d'un écosystème forestier de l'Afrique centrale: la Ngoko à Moloundou (S.E du Cameroun), Travaux et documents microfichés, ORSTOM éditions, Paris, France, 379 p.

Mots-clés: "Régimes hydro-pluviométriques, fonctionnement hydrochimique, érosion mécanique, altération chimique, écosystème forestier équatorial, bassin fluvial de la Ngoko".

Résumé: L'ensemble du bassin versant de la Ngoko (70 000 Km²) se caractérise par une tendance très nette à l'augmentation de l'érosion mécanique, en raison d'une rupture de l'équilibre du milieu due à une exploitation forestière en nette progression. Mais il faut souligner qu'une analyse hydrochimique permet de mettre en relief le rôle important qui est joué par la densité de son couvert forestier.

SINGH (G), SINGH (N.T), 1993. Mesquite for the revegetation of salt lands, Bul. n° 18, ICAR, Karnal, Inde, 24 p.

SINGH (G), SINGH (N.T), TOMAR (O.S), 1993. Agroforestry in salt affected soils, Bul. n° 17, Central soil salinity research institute (ICAR), Karnal, Inde, pp 51-55.

Mots-clés: " Conservation de l'eau et des sols, perte en sol, ruissellement, types de plantations, balance de l'eau".

SOIL AND TILLAGE RESEARCH, 1994. An international journal on research and development in soil tillage and field traffic, and their relationships with soil environment, land use and crop production, Vol. 29, n° 1, Février 1994, Elsevier Science, Amsterdam, Pays-Bas, pp 35-97.

SWALLOW (B), 1994. The role of mobility within the risk management strategies of pastoralists and agro-pastoralists, Gatekeeper series n°47, I.I.E.D, Londres, Royaume Uni, 27 p.

Mots-clés: "Croissance de la population, mobilité, pastoralisme et agro-pastoralisme, risques de dégradation."

TCHOTSOUA (M), 1993. Erosion accélérée et contraintes à l'aménagement du site de la ville de Yaoundé: une contribution à la

gestion de l'environnement urbain en milieu tropical humide, Thèse de 3e cycle, Université de Yaoundé, 286 p.

Mots-clés: Cameroun, contraintes d'aménagement, environnement, érosion, glissement de terrain, massif Mfoundi, parcelle expérimentale, ravine, ravinement, reptation, ruissellement, sol ferrallitique, surpopulation, zone équatoriale, Yaoundé.

Résumé: Le département de Mfoundi, site de la capitale du Cameroun, se caractérise par une forte érosion urbaine qui se traduit par une augmentation du ruissellement, le ravinement, l'érosion anthropique directe, les éboulements, les glissements de terrains, les coulées de boue, le colmatage des caniveaux et les inondations de plus en plus catastrophiques. L'accent est mis tout particulièrement sur les méthodes de sensibilisation pour une participation effective des citoyens à la lutte contre l'érosion à Yaoundé.

TEJWANI (K.G), 1994. Agroforestry in India, Centre for Natural Resources and Environment Management, Oxford and IBH publishing Co. Pvt. Ltd, New Delhi, Inde, pp 98-168.

Mots-clés: " Pratiques agro-pastorales, Inde, agro-foresterie, zone aride et semi-aride".

TIFFEN (M), MORTIMORE (M), GICHUKI (F), 1994. Population growth and environmental recovery: policy lessons from Kenya, Gatekeeper series n°45, I.I.E.D, Londres, Royaume Uni, 26 p.

Mots-clés: " Régions semi-arides, démographie galopante, conservation de l'eau et des sols, augmentation de la production."

TURKELBOOM (F), ONGPRASERT (S), TAEJAJAI (U), 1994. Fertile strips along steep slopes: sustainability of alley cropping and indigenous soil conservation techniques, Papier présenté au 8° congrès international de conservation des sols, New Delhi, Inde, Décembre 4-8, 1994, 10 p.

Mots-clés: " Labours, conservation des sols indigènes, niveau de fertilité des sols, pentes fortes, terres de montagne en riz".

TYAGI (P.C) et al., 1988. Rainfed cropping in North-West lower hill region, Bul. n° T-20/D-16, Central soil and water conservation research and training institute, Dehradun, Inde, 33 p.

Mots-clés: " Ruissellement, évaporation, force du vent, pratiques culturales, paillage, matière organique".

Résumé: En Inde, dans le Nord-Ouest, sur des collines peu élevées, la productivité des terres arables est basse. Ceci est dû à une érosion hydrique importante. Les agriculteurs sont très pauvres et ne cultivent que quelques ares. Ils ignorent toutes les pratiques culturales telles que la sélection des variétés, l'emploi d'engrais,

les pratiques de conservation des sols et de l'eau, la rotation des cultures, l'irrigation.

U.R.A, 1994. Etudes de Géographie physique: Troisième journée scientifique du Gis Réal Collobrier, Géomorphologie Karstique, résumé de thèses, U.R.A 903, CNRS, Université de Provence, Aix-Marseille I, n° XXIII, France, 87 p.

VIGUIER (J.M), 1993. Mesure et modélisation de l'érosion pluviale. Application au vignoble de Vidauban (Var), Thèse de doctorat de Géologie, Université d'Aix-Marseille II, France, 285 p.

Mots-clés: "Erosion, ruissellement, parcelles expérimentales, simulation de pluie, vignobles, Var, bilans, modélisation".

résumé: Dans la région de Vidauban (Var), les vignobles sont établis sur des sols développés sur pélites et grès de la dépression permienne, au Nord du Massif des Maures. Malgré des pentes faibles, les manifestations de l'érosion sont notables. L'étude a pour but d'éclairer le phénomène, de rechercher plus précisément l'influence de la nature du sol et de diverses façons culturales sur le ruissellement et l'érosion. Trois pratiques agricoles sont comparées: la non-culture par désherbage chimique du sol, le travail traditionnel alliant labours et griffages, enfin l'enherbement (trèfle souterrain). Cette comparaison est menée en adoptant deux points de vue: celui fourni par les techniques de simulation de pluie sur des surfaces exigües inférieures ou égales au m²; celui donné par la mesure du ruissellement et de l'érosion, à l'échelle de parcelles expérimentales de 100 m², dans les vignes soumises aux conditions naturelles. Lors des essais de simulation de pluie, l'enherbement des parcelles apparaît comme le traitement le plus efficace pour limiter aussi bien le ruissellement que l'érosion (54 t/ha/an sur les parcelles expérimentales).

WASWC, 1994. Newsletter, World association of soil and water conservation, Vol. 10, n°3, Août 1994, Doug snyder, Des Moines, Iowa, U.S.A, 6 p.

WICHEREK (S), 1994. L'érosion des grandes plaines agricoles, La Recherche 268, Septembre 1994, Vol. 25, Paris, France, pp 880-888.

WOCAT, 1993. Workshop proceedings: World overview of conservation approaches and technologies, 2nd International WOCAT Workshop, 11 -15 octobre, Berne et Riederalp, Suisse,40 p.

XUEREF (J), 1994. Lutte anti-érosive pour la conservation des sols: bassin versant de l'Ouergha (Maroc), B.R.L/ E.N.G.R.E.F., Mémoire de maîtrise de l'eau, Montpellier, France, 59 p.

Mots-clés: " Erosion hydrique, Rif central, montagne, roches tendres, couvert végétal, fortes pentes.

Résumé: Le rif central est une zone montagneuse particulièrement touchée par l'érosion hydrique, du fait de longues précipitations sur des fortes pentes, fragiles car issus de roches tendres (marnes, schistes) et qui ne sont plus protégés par un couvert végétal permanent à cause d'une extension importante des cultures. L'érosion en nappe en est la conséquence. Le but de cette étude est donc de produire une carte de sensibilité à l'érosion à partir des cartes des différents facteurs de l'érosion : agressivité climatique, érodibilité des sols, pentes, couvert végétal et pratiques anti-érosives. Les aménagements de lutte anti-érosive seront adaptés ainsi aux contraintes physiques et socio-économiques des terres de la région.

YOUNG (A), 1989. Agroforestry for soil conservation, cab international, ICRAF, Oxon, Royaume Uni, 271 p.

Mots-clés: " Agroforestrie, conservation des sols, matière organique du sol, éléments nutritifs, rôle des racines".

Résumé: Ce livre met l'accent sur l'importance de l'agroforestrie dans la lutte pour la conservation des sols. C'est une bonne mise au point des connaissances actuelles sur ce thème. La conclusion générale de cet ouvrage porte sur le fait que des systèmes agroforestiers appropriés peuvent permettre de contrôler l'érosion, de préserver la matière organique et les caractéristiques physiques d'un sol, d'adopter des cycles nutritifs adaptés aux besoins.

OUVRAGES SIGNALES

AALDERS (I.H), 1989. The contribution of ants to soil erosion: a reconnaissance survey, *Catena*, Vol. 16, pp 449-459.

ABRAHAMS (A.D), HOWARD (A.D), PARSONS (A.J), 1994. Rock-mantled slopes, In A.D Abrahams and A.J parsons (eds), *geomorphology of desert environments*, Chapman and Hall, Londres, 674 p.

ABROL (I.P), 1992. Soil conservation strategies and retrospect lecture delivered in international training course in soil and water conservation for Southern African Development Cooperation conference countries, CSWCRTI, Dehradun, Inde.

ACTES DU SEMINAIRE MAPIMI, 1992. Etude des relations eau-sol-végétation dans une zone aride du Nord du Mexique orientée vers l'utilisation rationnelle de ces ressources pour l'élevage bovin extensif, J.P Delhoume et M. Maury Eds, Institut d'écologie, México, 1992.

AFOUDA (F), 1990. L'eau et les cultures dans le Bénin central et septentrional: étude de la variabilité des bilans de l'eau dans leur relation dans la savane africaine, Thèse de doctorat, Paris IV Sorbonne, 312 p.

AGASSI (M), LEVY (G.J), 1991. Stone cover and rain intensity: effects on infiltration, erosion and water splash, *Aust. J. Soil Res.*, n°29, pp 565-575.

ALBALADEJO (J), DIAZ (E), 1990. Degradation y regeneracion del suelo en el litoral mediterraneo espanol: experiencias en el proyecto lucdeme, In J. Albaladejo, M.A Stocking and E. Diaz (Eds), *Soil degradation and rehabilitation in mediterranean environmental conditions*, Consejo Superior de Investigaciones cientificas, Madrid, pp 191-214.

ALLEN (E.B), 1988. The reconstruction of disturbed arid lands, Westview press, Boulder, Colorado, Allen E.B Ed.

ALTON (C), 1988. Averses catastrophiques, glissements de terrain et inondations dans les communes de Nyakinama et Nyamutera en préfecture de Ruhengeri en mai 1988, projet RRAM, 51 p.

ANECKSAMPHANT (C), BONCHEE (S), 1992. Management of sloping lands for sustainable agriculture in Northern Thailand, Technical report on the management of sloping lands for sustainable agriculture in Asia, phase 1, 1988-1991, Network document n°2, IBSRAM, ABD and SDC, Bangkok, Thaïlande.

ARNOULD (P) et al, 1992. Influence des modifications des structures agraires sur l'érosion des sols, BAGF 69 (2).

ARPEXAD (E), AMADJI(F), 1990. Une nouvelle gestion de l'espace pour la commune de Montlaur (Sud Aveyron), Montpellier, CNEARC, 140 p.

ASAE, 1985. Erosion and soil productivity, St Joseph, Michigan, U.S.A: ASAE, 289 p.

ASSELIN (J), CUSTODE (E), DE NONI (G), et al, 1993. La simulacion de lluvia: metodologias y practicas, Accord DNA-ORSTOM, Quito, 66 p.

AUZET (A.V), BOIFFIN (J), PAPY (F), LUDWIG (B), MAUCORPS (J), 1993. Rill erosion as related to characteristics of cultivated catchments in the North of France, Catena, Vol. 20, pp 41-6

AWASTHI (R.P), PRASAD (R.N), CHATTERJI (B.N), 1990. Effect of cropping systems on runoff and soil losses from steep slopes in North-East India, Indian j. soil cons. 18 (1 et 2), pp 56-64.

AYUK (E), DIBLONI (O.T), MAIGA (A.A), 1993. Programme collaboratif de recherche agroforestière IRBET/ICRAF, rapport annuel d'activités, 35 p.

BACYE (B), 1993. Influence des systèmes de culture sur l'évolution du statut organique et minéral des sols ferrugineux et hydromorphes de la zone soudano-sahélienne (Province du Yatenga, Burkina Faso); Thèse de docteur en Sciences de l'université d'Aix-Marseille, 243 p.

BALESDENT (J), 1993. Estimation du renouvellement du carbone des sols par mesure isotopique ^{13}C . Précision, risque de biais, Cah. ORSTOM, Série pédologie, Vol. XXVI, n°4, 1991, pp 315-326.

BALLO KOFFI (C), QUENCEZ (P), 1991. Plantation sur terrasses continues en courbes de niveau, dispositif adapté à l'expérimentation agronomique, oléagineux, n°46 (12), pp 515-526.

BAMBARA (D), 1993. Dynamique de la matière organique selon les systèmes de culture dans les sols agricoles du finage de Thiougou; approche quantitative. Mémoire IDR/Université de Ouagadougou, 100 p.

BARREAU (C), 1992. Etude de la matière organique associée aux suspensions fluviales: application à des climats tempéré et intertropical, Thèse de doctorat, Université de Paris VI.

BARRERE (B), 1994. Influences des pratiques culturales sur l'érodibilité de deux sols viticoles méditerranéens (mesure sous simulation de pluie), ORSTOM Montpellier, 61 p.

BAUMER (M), 1987. Agroforestrie et désertification, Wageningen, Netherlands: centre technique de coopération agricole et rurale, 260 p.

BAZZOFFI (P), CANUTTI (P), MARETTI (S), 1986. quantitative evaluation of some slope processus (surface erosion mass movements), In experimental areas with different agro-climate conditions in central Italy, Zetschrift für geomorphologie in supplement band, n° 60, pp 131-148.

BERNARD-ALLEE (P.H), COSANDEY (C.I), 1991. Conséquences d'une coupe forestière sur les bilans hydrologiques et sédimentaire: le bassin-versant de la Latte, Mont Lozère, physio-Géo, n°21, pp 79-94.

BERTRAND (R), 1993. Etude des sols dans les paysages du haut bassin versant de Ribeira Seca, CIRAD-CA Montpellier, 38 p.

BHARDWAJ (S.P), 1990-91. Study on live bunds for soil and water conservation and maize yield on 4% slope in Doon Valley, Annual Report, CSWCRTI, Dehradun, U.P, pp 41-42.

BIDON (S), 1994. Etude de l'érodibilité par simulation de pluie de trois sols viticoles méditerranéens, ORSTOM Montpellier, 71 p.

BILLARD (A) et al, 1992. Les glissements de terrain induits par les pluies dans les loess de la province de Gansou, Chine, annales de géo., 566, PP 495-515.

BIOT (Y), 1990. the use of treesmounds as benchmarks of previousland surfaces in a semi-arid tree savanna, Botswana, In J.B Thornes Ed, Vegetation and erosion, John Wiley and Sons, Chichester, pp 437-450.

BIZIMANA (M), 1992. Les acquis de la recherche à l'ISABU en matière de protection et de restauration des sols, séminaire Erosion des sols au Burundi du 26-28 Octobre 1992.

BIZIMANA (M), 1992. Mesure de l'érosion en nappe sur parcelle Wischmeier à Rushubi, étude de l'efficacité de différents étalements de paillage léger saisonnier sur la culture de manioc, Rapport annuel, ISABU, Bujumbura, Burundi.

BLAIKIE (P), 1985. The political economy of soil erosion in developing countries, London: Longman, 188 p.

BOIFFIN (J), GUERIF, STENGEL (P), 1990. Les processus d'évolution de l'état structural du sol: quelques exemples d'études expérimentales récentes, In la structure du sol et son évolution, Laon, France, éd INRA, pp 37-69.

BOKONON-GANTA (E), VIGNIGBE (J), 1993. Bilan d'eau et son influence sur les cultures dans le Bas-Bénin: cas du plateau d'Abomey, In Bulletin de la Recherche Agronomique, n° 8, Novembre 1993, pp 9-18.

BOUGHRARA (A), 1986. L'érosion actuelle dans le Tell algérien, le cas du bassin versant de l'oued Agrioun. Thèse de 3e cycle, Aix-Marseille, France, 412 p.

BOURGUET (L) et al, 1988. Stabilisation par drainage du glissement de Bidougui (gabon) Landslides, pp 863-866.

BOUROUBA (M), 1988. Hydrologie et érosion actuelle dans le tell oriental algérien, Thèse de 3e cycle, Aix-Marseille, France, 404 p.

BOUSQUET (B), DUFAURE (J.J), NEBOIT (R), 1988. Formes héritées et dynamique actuelle dans deux bassins versants élémentaires de la vallée du Sinni (Lucanie), études méditerranéennes, n°12, Poitiers, France, pp 169-178.

BRADFORD (J.M), HUANG (C), 1992. Mechanisms of crust formation: physical components, In Soil crusting: chemical and physical processes, M.E Sumner, B.A Stewart Eds.

BREMAN (H), DE RIDDER (N), 1991. Manuel sur les pâturages des pays sahéliens, Karthala, Paris, 485 p.

BRIAN (R.B), SUTHERLAND (R.A), 1992. Accelerated erosion in semi-arid region: the Baringo district, Kenya, In K. TATO et Hans HURNIEds, Soil Conservation for survival, Comptes-rendus de la 6e conférence internationale de l'Ethiopie et du Kenya, chapitre 31, soil conservation society, Ankeny, Iowa, U.S.A.

BROOKFIELD (H.C), PADOCH (C), 1994. Appreciating agrodiversity-a lookat the dynamism and diversity of indigenous farming practices, environment n°36 (5).

BRUNET (D), 1988. Evaluation des surfaces dégradées de la vallée de djiguinoum, Mars 1988, ORSTOM, Dakar, Sénégal.

CAI (Q.G), LUK (S.H), CHEN (H), CHEN (Y.Z), 1986. Effect of surface crusting on water erosion: laboratory experiments on loess soils, China, Assessment of soil surface sealing and crusting, proceedings of symposium, Ghent, Belgique, 1985, pp 99-105.

CAIRNS (J), 1991. The status of the theoretical and applied science of restoration ecology, environmental professional 13, pp 1-9.

CARSON (R), 1989. Soil conservation strategies for upland areas of Indonesia, East-West Environment and policy institute, occasional paper, n°9.

CARTER (M.R), 1992. Influence of reduced tillage systems on organic matter, microbial biomass, macro-aggregate distribution and structural stability of the surface soil in a humid climate, Soil Tillage Res., n°23, pp 361-372.

CASENAVE (A), VALENTIN (C), 1992. A runoff capability classification system based on surface features criteria in semi-arid areas of West Africa, J. hydrology 130, pp 231-249.

CCE, 1993. Réhabilitation et utilisation des terres marginales au Nord-Cameroun, rapport final, projet CCE, contrat TS2/0077/M(CD), 116 p.

CELESTINO (A.F), 1985. Farming systems approach to soil erosion control and management , In Soil erosion management, ACIAR, proceedings series 6, Canberra: ACIAR, E.T Craswell, J.V Remenyi, L.G Nallana Eds, pp 64-70.

CERRI (C), FELLER (C), BALESSENT (J), VICTORIA (R) et al., 1985. Application du traçage isotopique naturel en ^{13}C à l'étude de la dynamique de la matière organique dans les sols, C.R Acad Sci., Paris, T. 300, II, 9, pp 423-428.

CESAR (J), 1989. L'influence de l'exploitation sur la pérennité des pâturages de savane. II. Rôle du système racinaire dans la dégradation du pâturage, fourrages 120, pp 382-392.

CESAR (J), COULIBALY (Z), 1991. Le rôle des jachères et des cultures fourragères dans le maintien de la fertilité des terres, In Savanes d'Afrique, terres fertiles? Coll. Focal. Coop., ministère de la coopération, Paris, pp 271-287.

CHAIEB (M) et al, 1992 . Life history strategies and water resource allocation in five pasture species in the tunisian arid zone, Arid soil research and rehabilitation 6, pp 1-10.

CHAIEB (M), 1992 . Réhabilitation d'écosystèmes pastoraux de la zone aride tunisienne par réintroduction d'espèces locales, Proceedings of the IVth international rangelands congress, CIRAD, Montpellier, Vermont, in press.

CHAIEB (M), FLORET (C), LE FLOC'H (E), PONTANIER (R), 1990. Les graminées perennes, un recours pour la réhabilitation des terres de parcours dégradés en zone aride tunisienne, Ecologia Mediterranea 16, pp 415-425.

CHAIROJ (P), 1993. Long term effect of organic material management on nitrogen availability, Thai journal of soils and fertilizers, n°15(1), pp 28-34.

CHANNAPPA (T.C), ASHOKA (H.G), 1992. Effect of beeding system on the yield of fingermillet as an inter-terrace management pratice for red soils under dryland conditions, Indian j. Soil Conservation, 20 (1et 2), Indes, pp 1-8.

CHOPART (JL), 1990. Rôle du travail du sol sur les termes du bilan hydrique. Enracinement et rendement des cultures pluviales, In Agronomie et ressources naturelles en région tropicales, éd. IRAT Montpellier, pp 223-237.

CHUT (L.Q), THU (P.X), 1991. Some results of survey and research on bare lands of Daklak province, Journal of agriculture and food industries, n°351, pp 419-420.

CLEMENT (P), 1989. Processus d'érosion et évolution du relief: exemples sous climat tempéré à hiver froid, Bull. du labo. Rhôd. de Géomorphologie, Lyon II.

CLEMENT (P), 1990. Enseignements d'une aire-témoin d'érosion dans les Appalaches Estriennes (Québec, Canada), revue de géomorphologie dynamique, T. XXXIX, n°4.

COSANDEY (C), 1992. Influence de la forêt sur le cycle de l'eau; Conséquences d'une coupe forestière sur le bilan d'écoulement annuel, hydrologie continent., Vol. 7, n°1, pp 13-22.

COSANDEY (C), BOUDJEMLINE (D), ROOSE (E), LELONG (F), 1990. Etude expérimentale du ruissellement sur des sols à végétation contrastée du Mont Lozère, Z. Geomorph., 34, 1, Montpellier, France, pp 61-73.

COULIBALI (A), 1993. Etude sur le sylvopastoralisme dans le cadre du PAFT, ministère de l'agriculture et de l'élevage, 28 p.

CROZIER (R), 1986. Landslides: cause, conséquences and environment, croom, helm, 252 p.

DAGAR (J.C), SINGH (G), 1993. Afforestation and agroforestry for salt affected soils, indian Rev. life Sci. 13, Indes, pp 215-240.

DANLOUX (J), LAGANIER (R), 1991. Classification et quantification des phénomènes d'érosion, de transport et de sédimentation sur les bassins touchés par l'exploitation minière de Nouvelle Calédonie, Hydrol. cont. ORSTOM, 6 (1), pp 15-28.

DE LIMA (M.I), DE LIMA (J.L), 1990. Water erosion of soils containing rock fragments, IAHS Publ., n°197, pp 141-147.

DE NONI (G), NOUVELOT (J.F), 1983. Les processus d'érosion en Equateur (Quito), MAG - UNESCO, 36 p.

DE NONI (G), NOUVELOT (J.F), ROOSE (E), 1994. Bulletin réseau érosion, bull. n°14, ORSTOM, 625 p.

DE NONI (G), NOUVELOT (JF), ROOSE (E) 1994. Projet de recherche sur l'érosion et la conservation des sols cultivés et sous pâturage en Sud Aveyron, ORSTOM, 6 p.

DE NONI (G), PELTRE (P) et al, 1989. Drainage urbain et accidents climatiques à Quito (Equateur), analyse d'un cas récent de crue boueuse, Cah. ORSTOM, série Sci. Hum. 24 (2), pp 225-249.

DE NONI (G), TRUJILLO (G), VIENNOT (M), 1986. L'érosion et la conservation des sols en Equateur, Cah. ORSTOM, série pédologie XXII, n°2, pp 235-245.

DE NONI (G), VIENNOT (M), TRUJILLO (G), 1990. Mesure de l'érosion dans les Andes de l'Equateur, Cah. ORSTOM, série pédologie, Vol. XXV, n° 1-2, pp 183-196.

DE NONI (G), TRUJILLO (G), VIENNOT (M), 1992. Soil erosion in the Andes of Ecuador, In Soil conservation for survival, Ed SWCS-ISCO-WASWC. Berne, pp 549-558.

DE NONI (G), VIENNOT (M), 1993. La lutte anti-érosive en milieu agricole: mythe ou réalité, Réseau Erosion Bulletin, ORSTOM, Montpellier, n°13, pp 5-11.

DE NONI (G), VIENNOT (M), 1993. Les recherches sur l'érosion par l'ORSTOM, évolution et perspectives: cas de la montagne équatorienne, Journées PIREN, Lyon.

DE NONI (G), TRUJILLO (G), VIENNOT (M), 1994. Erosion agricole dans les Andes de l'Equateur, Bull. pédologique de la FAO, Ch. 13, n°70, Rome, pp 352-362.

DE NONI (G), JANEAU (J.L), PRAT (C), TRUJILLO (G), VIENNOT (M), 1994. Hydrodynamique, érodibilité et conservation des sols volcaniques indurés d'Amérique latine (Equateur, Mexique et Nicaragua): impact du matériau originel et effet de la réhabilitation agricole, XVè Congrès International de Science du Sol, Vol. 6a, Commission V, 10-16 Juillet 1994, Acapulco (Mexique), pp 554-570.

DELHOUME (J.P), 1987. Ruissellement et érosion en bio-climat méditerranéen semi-aride de Tunisie centrale, In processus et mesure de l'érosion, Ed CNRS, Paris, France, pp 487-507.

DHAYANI (S.K), SINGH (B.P), CHAUHAN (D.S), PRASAD (R.N), 1994. Evaluation of MPTS for agroforestry systems to ameliorate

infertility of degraded acid alfisols on slopy lands, Conférence Internationale sur "Sustainable Development of degraded lands through agroforestry", New Delhi, Inde, Nov. 25-30, 1994.

DHIR (R.P), 1992. Genesis and manifestations of desertification and a comsat at Strategy, In Land and soil T.N Khoshoo and B.L Deekashatulu Eds., Har Anand Pub, Delhi, Indes, pp 223-242.

DHRUVANARAYANA (V.V), 1993. Soil and water conservation research in India, indian council of agr. research, New Delhi, Indes, 454 p.

DIAW (M), 1986. Contribution à l'étude sur la désertification et de la filière brise-vent comme moyen de lutte: opération "Salane", rapport technique n°2, Probovil, Louga (Sénégal), 35 p.

DJONDO (M), FARDOUX (J), VIZIER (J.F), 1993. Modification de la disponibilité des éléments minéraux d'un sol pour les plantes après correction de son acidité par un apport de calcaire broyé, Compte-rendu de la sixième réunion du GRESSAP, pp 25-29.

DREGNE (H.E), 1987. Soil erosion: cause and effect, land use policy, 4: 412-18.

DUCHAUFOR (H), PARTY (J.P), 1988. Etude de la conservation des eaux et des sols dans le Mumirwa, Cas de deux bassins versants, commune d'Isale, mission d'appui Technique à l'Isabu, Bujumbura, Burundi.

DUFOUR (J), GRAVIER (J), LARUE (J.P), 1990. Fortes pluies et érosion des sols. L'orage de mai 1988 dans la Sarthe, Bull. Assoc. géogr. franç., pp 159-170.

DUMAS (B), HOTYAT (M), 1987. Formes d'écoulement, dynamique du couvert végétal et processus d'érosion sur des glacis en cours d'élaboration dans le Sud-Est de l'Espagne, In processus et mesure de l'érosion, Ed CNRS, pp 87-98.

DUNNE (T), ZHANG (W), AUBRY (B.W), 1992. Effects of rainfall and microtopography on infiltration and runoff, Water resources Research 27, pp 2271-2285.

EGBOK (C.E), ORAJAKA (I.P), 1987. Soil and gully erosion models for effective control programs, Geo Forum, n°3, Oxford, Royaume-uni, pp 333-341.

EL-SWAIFY (S.A), 1988. Conservation-effective rainfed farming systems for the tropics, In: Unger et al. (Ed), Challenges to dryland agriculture, a global perspective, Proceedings of the international conference on dryland farming (134-136), Texas Agr. Exp. Sta, Temple, U.S.A.

EL-SWAIFY (S.A), 1994. State-of-the art for assessing soil and water conservation needs and technologies: a global perspective, In: Napier et al. (Ed), Adopting conservation on the farm, Soil and water conservation society, Ankeney, Iowa, U.S.A.

EL-SWAIFY (S.A), MOLDENHAUER (W.C), LO (A), 1985. Soil erosion and conservation, In Soil conservation society of North America, Ankeney, Iowa, U.S.A, 793 p.

ELLIOT (W.J), LIEBENOW (J.M), et al, 1989. A compendium of soil erodibility data from WEPP cropland soil field erodibility experiments 1987, 1988, NSERL Rep. n°3, USDA-ARS natl. soil erosion res. lab., W.Lafayette, IN.

F.A.O, 1992. Mission de pré-préparation du programme de gestion des ressources naturelles et de l'environnement, Burundi.

FANG (Y.S), ZHAN (Z.H), 1988. Mécanisme cinétique des glissements catastrophiques et prévision de vitesse et distance parcourue, Landslides Vol 2, pp 225-229.

FAURY (O), 1990. L'érosion anthropique actuelle sur les hautes chaumes des monts du Forez: mesures de suivi, Bull. Rhôd. de géomorphologie, n° 25-26, Lyon.

FELLER (C), BURTIN (G) et al., 1991. Utilisation des résines sodiques et des ultrasons dans le fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. Intérêts et limites. Sciences du sol.

FELLER (C), FRANCOIS (C) et al., 1991. Nature des matières organiques associées aux fractions argileuses d'un sol ferrallitique, C.R.Acad. Sci. Paris, t. 312, série II, p 1491-1497.

FELLER (C), FRITSCH (E), POSS (R), VALENTIN (C), 1991. Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferrallitiques (Afrique de l'ouest, en particulier), Cah. ORSTOM, série pédologie, 1991, sous presse.

FLAGEOLLET (J.C), 1988. Les mouvements de terrain et leur prévention, Masson et Cie, 223 p.

FLORET (C), SERPANTIE (G), 1991. La jachère en Afrique de l'ouest, Atelier international , 2 au 5 décembre, Montpellier.

FLORET (C), SERPANTIE (G), 1993. La jachère en Afrique de l'ouest, Ed ORSTOM, coll. colloques et séminaires, 494 p.

FOLLET (R.F), STEWART (B.A), 1985. Soil erosion and crop productivity, Madison, Wisconsin, U.S.A: ASA, 533 p.

FOREST (F), LOPEZ (J.M), 1991. Intérêt du mulching au Cap-Vert: étude de faisabilité, INIDA/CIRAD-IRAT.

FOX (D), BRYAN (R.B), 1992. Influence of a polyacrylamide soil conditioner on runoff generation and soil erosion: field tests in Baringo District, Kenya, Soil Technology 5, pp 101-119.

FRANK (D.A), McNAUGHTON (S.J), 1991. Stability increases with diversity in plant communities: empirical evidence from the 1988 Yellowstone drought, Oikos 62, pp 360-362.

FRITSCH (J.M), 1992. Les effets du défrichement de la forêt amazonienne et de la mise en culture sur l'hydrologie de petits bassins versants, opération ECEREX en Guyane française, Etudes et thèses ORSTOM, Paris, 392 p.

FROST (P), 1985. Organic matter and nutrient dynamics in a board leaved African savanna, In Ecology and management of the world's savannas, J.C Tothill and J.J Mott Eds, Farnham Royal, U.K: cab International, pp 200-205.

GARCIA-RUIZ (J.M), RUIZ-FLANO (P), et al., 1991. Erosion in abandoned fields, what is the problem? In: M. Sala J.L. Rubio and J.M. Garcia-Ruiz(Eds), Soil Erosion studies in Spain, Geofoma Ediciones, Logrono, pp 97-108.

GOLDMAN (S.J), JACKSON (K), BURSTYNSKY (T.A), 1986. Erosion and sediment control handbook, Mc Grow-Hill book company, New York, U.S.A, pp 6-29.

GOPINATHAN (R), 1986. Agrotechniques for soil conservation in taungya systems, Ph. D. thesis, Kerala Agricultural University, Vellanikkara, Inde, 187 p.

GOUGH (M.W), MARS (R.H), 1990. A comparison of soil fertility between semi-natural and agricultural plant communities: implications for the creation of species-rich grassland on abandoned agricultural land, *biological conservation* 51, pp 83-96.

GOVERS (G) et al, 1987. Susceptibilité d'un sol limoneux à l'érosion par rigoles: essais dans le Grand Canal de Caen, *Revue du centre de géomorphologie de Caen, France*, pp 83-106.

GREGOIRE (I), TRUTILLO (G), 1986. Estudio de la erosion en una comunidad indigena de la Sierra ecuatoriana: manifestaciones, causas y metodos de conservacion del suelo, *CEDIC-ORSTOM, documentos de investigacion n°6*, pp 49-57.

GREWAL (S.S) MITTAL (S.P), DAYAL (S), AGNIHOTRI (Y), 1992. Agroforestry systems for soil and water conservation and sustainable production from foothill areas of north India, *Agroforestry systems, Inde*, pp 81-89.

GREWAL (S.S), ABROL (I.P), SINGH (O.P), 1987. Rainwater management for establishment of an agroforestry system on sodic soil, *Thèse de doctorat, Université de Kurukshetra, Inde*, 148 p.

GREWAL (S.S), MITTAL (S.P), et al., 1990. Cropping practices for soil and water conservation in Shiwalik foot hills, *Bull. CSWCRTI, Res. Centre, Chandigarh*, 55 p..

GRIL (J.J), DUVOUX (B), 1991. Maîtrise du ruissellement et de l'érosion, processus morphogénétiques. Applications au N.O de la France, *CEMAGREF, roneo*.

GUIGO (M), 1987. Les transports solides et l'érosion des milieux naturels, *In Processus et mesure de l'érosion, Ed CNRS, France*, pp 413-425.

GUILLEM (C), 1994. Diagnostic de l'érosion pluviale dans les Rougiers de Camarès, propositions de pratiques culturales *CNAM et INAPG*, 51 p.

GUILLET (F), LAMACHERE (J.M), SABATIER (J.L), SERPANTIE (G), 1994. L'amélioration des conditions du ruissellement sur les pentes cultivées soudano-sahéliennes. Résultats d'une approche triple: enquêtes, expérimentation, modélisation, *In utilisation rationnelle de l'eau des petits bassins versants en zone aride, John Libbey Eurotext, 1991, Paris, France*, pp 87-108.

GUILLOBEZ (S), ZOUGMORE (R), 1994. Etude du ruissellement et de ses principaux paramètres à la parcelle (Saria, Burkina Faso: 1990), In Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale. Vers une gestion des flux hydriques par le système de culture, John Libbey Eurotext, Paris, France, pp 319-329.

HABTE (M), EL-SWAIFY (S.A), 1986. Simulated erosion's effects on N2 fixation and growth of Sesbania, NFTA Research Report, n°4, pp 64-65.

HADLEY (R.F), LAL (R) et al, 1985. Recent developments in erosion and sediments yield studies, UNESCO, Paris, 127 p.

HAGEN (L.J), 1991. A wind erosion prediction system to meet user needs, J. Soil Water Conserv., n° 46, pp 106-111.

HANSON (R.G), 1992. Optimum phosphate fertilizer products and practices for tropical climate agriculture, In Proceedings of an international workshop on phosphate fertilizers and the environment, IFCD, Muscle Shoals, Alabama, U.S.A, pp 65-75.

HEUSCH (B), 1986. Cinquante ans de banquettes de DRS-CES en Afrique du Nord: un bilan, Cahiers ORSTOM, série pédologie, n°22, pp 153-162.

HINVI (C.J), TOTONGNON (K.J), VISSOH (V.P), DAHIN (C), 1990. Les systèmes de culture traditionnels face à la dégradation de l'environnement. Cas du département de l'Atlantique. Résultats d'enquêtes et d'expérimentations de 1986 à 1990. Ronéotypé, Abomey-Calavi, Bénin, 98 p.

HOBBS (R.J), SAUNDERS (D.A), 1991. Re-integrating fragmented landscapes-a preliminary framework for the Western australian wheatbelt, Journal of environmental management 33, pp161-167.

HOFFMANN (L), RIES (R.E), 1991. Relationship of soil and plant characteristics to erosion and runoff on pasture and range, J. Soil Water Conservation, n°46, pp 143-147.

HUDSON (N.W), 1987. Soil and water conservation in semi-arid areas, FAO soils, Bull. 57.

HUDSON (N.W), 1988. New ideas on soil conservation stratégies, IBSRAM Newsletter, n°7, 6p.

JANEAU (J.L), VALENTIN (C), 1987. Relations entre les termitières trinervitermes spp. et la surface du sol: réorganisations, ruissellement et érosion, Rev. Ecol., Biol., Sol, 24(4), pp 637-647.

JARELL (W.M), VIRGINIA (R.A), 1990. Soil cation accumulation in a mesquite woodland: sustained production and longterm estimates of water use and nitrogen fixation, Journal of arid environments 18, pp 51-56.

JOHNSTON (A.E), 1986. Soil organic matter, effects on soils and crops, Soil use and management, n°2, pp 97-105.

JOHNSTON (A.E), 1992. The role of phosphorus in crop production and soil fertility: 150 years of field experiments at Rothamsted, United Kingdom, In Proceedings of an international workshop on phosphate fertilizers and the environment, IFCD, Muscle Shoals, Alabama, U.S.A, pp 45-63.

JULIEN (P.Y), 1991. Spatially varied soil erosion under different climates, Hydrol. Sc. 36, pp 6-12.

JUNCKER (E), PEREZ (P), RUELLE (P), 1990. Economie de l'eau, défense et restauration des sols au Siné-Saloum (Sénégal), In Agronomie et ressources naturelles en régions tropicales, Bertrand R. et Saint Macary H. Ed, CIRAD-IRAT, Montpellier, France, pp 213-221.

KACHANOSKI (R.G), MILLER (M.H), LOBB (D.A), et al., 1992. Management of farm field variability. I. Quantification of soil loss in complex topography. II. Soil erosion processes on shoulder slope landscape positions. Final report. Technology and Evaluation and Development Soil Program, Soil and Water Environment Enhancement Program, Agriculture Canada, Harrow, Ontario.

KAISIN (E), 1989. Restauration des sols par l'enrichissement champêtre en zone sahélienne, FAO/GCP/SEN/024/SWE, document de travail n°2, FAO-silvi Nova, Dakar, 17 p.

KATYAL (J.C) et al., 1992. Cost effective technologies for soil and moisture conservation in rainfed areas, Rainfed Agriculture Research Newsletter, CRIDA, Hyderabad, n°1, pp 15-21.

KHERA (K.L), KUKAL (S.S), 1994. Soil and water conservation through crop cover and residue management, In compte-rendu de la 8ème conférence de l'ISCO, 4-8 Décembre 1994, New Delhi, Inde.

KING (D), LE BISSONNAIS (Y), 1992. Rôle des sols et des pratiques culturales dans l'infiltration et l'écoulement des eaux. Exemple du ruissellement et de l'érosion sur les plateaux limoneux du Nord de l'Europe, C.R Acad. Agric. Fr 78, n°6, pp 91-105.

KINNEL (P), 1991. The effect of flow depth on sediment transport induced by raindrops impacting shallow flows, Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 34, pp 161-168.

KIRKBY (M), et al., 1994. The pedregal slope catena model: a physically based process model for hydrology, ecology and land degradation interactions, In J. Thornes and J. Brandt (Eds), Mediterranean desertification and land use, Wiley, Chichester, in press.

KODJO, 1988. Recherche pour la maîtrise du ruissellement pluvial à Yaoundé, Université de Yaoundé, 210 p.

KÖNIG (D), 1992. Erosionsschutz in agroforstsystemen: möglichkeiten sur begrenzung der bodenerosion in der kleinbäuerlichen landwirtschaft Rwandas im rahmen standortgerechter landnutzungssysteme, Mainz, Geographisches Institut der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Thèse de doctorat.

KOUIDRI (R), ARABI (M), ROOSE (E), 1989. Premiers résultats de quantification du ruissellement et de l'érosion en nappe sur jachères en Algérie, Bulletin du réseau érosion, 1989 (9), pp 33-38.

KRISHNEGOWDA (K.T), KRISHNAPPA (A.M) et al., 1990. Live bunds for soil and moisture conservation under dryland conditions, Intern. symp. water erosion, sedimentation and resource conser., CSWCRTI, Dehradun, U.P, Indes.

KUETE (M), 1990. Géomorphologie du plateau Sud-Camerounais à l'ouest du 13° E, Université de Bordeaux III, Thèse de doctorat d'Etat, 859 p.

LA COSTA (G), 1993. Etude du ruissellement et de l'érosion au niveau de la parcelle, INIDA, 16 p.

LAL (R), 1994. Soil erosion research methods, Soil and water conservation society, Lal (Ed), Ankeney, Iowa, U.S.A.

LAMACHERE (J.M), 1991. Aptitude au ruissellement et à l'infiltration d'un sol sableux fin après sarclage, In Soil water balance in the Sudano-sahelian zone, proceedings of the Niamey Workshop, Février 1991, IAHS publ. n° 199, pp 109-119.

LANGDALE (G.W), WEST (L.T), BRUCE (R.F), MILLER (W.D), THOMAS (A.W), 1992. restoration of eroded soil with conservation tillage, Soil technology 5, pp 81-90.

LE BISSONNAIS (Y), SINGER (M.J), 1993. Seal formation, runoff, and interrill erosion from seventeen California soils, Soil sci.Soc. Am. J., n°57, pp 224-229.

LE FLOC'H (E) et al, 1992. L'aridité : une contrainte au développement. Caractérisation, réponses biologiques, stratégie des sociétés, Paris, Orstom, didactiques, 598 p.

LEROUX (J.S), ROSS (Z), 1986. Wash erosion on a debris covered slope in semi-arid climate, Zetschrift Geom., Berlin, 30-4, pp 478-483.

LEWIS (L.A), 1987. Predicting soil loss in Rwanda, In Quantified land evaluation procedures, K.J Beek and al Eds, ITC publication 6, Enschede, Netherlands: ITC, pp 137-139.

LEYNAUD (G), 1992. Cohérence générale de la gestion de l'eau à l'échelle du bassin versant, C.R Acad. Agric. Fr. 78, N°6, pp 79-90.

LILIN (C), KOOHAFKAN (A.P), 1987. Techniques biologiques de conservation des sols en Haïti, F.A.O, projet de formation en aménagement intégré des mornes, 36 p.

LIM KIM HUAN, (in press). A study on soil erosion control under mature oil palms in Malaysia, papier présenté à la 5ème conférence internationale sur la conservation des sols, Bangkok, Thaïlande, 1988.

LINDSKOD (P), MANDO (A), 1992. Les rapports entre les instituts de recherche et les ONG dans le domaine de la conservation des eaux et des sols au Burkina Faso, IIED/CIEH, 30 p.

LOPEZ-BERMUDEZ (F), ROMERO-DIAZ (A), MARTINEZ-FERNANDEZ (J), 1991. Soil erosion in a semi-arid mediterranean environment, El ardal experimental field (Murcia Spain), In : M. Sala, J.L Rubio, J. Garcia-Ruiz (Eds), Soil erosion studies in Spain, Geofoma ediciones, Logrono, pp 137-152.

LUK (S.H), CAI (Q.C), 1990. Laboratory experiments on crust development and rainsplash erosion of loess soils, Chine, catena 17, pp 261-276.

M'BAKAYA (D.S), BLACKBURN (W.H), SKOULIM (J.M), CHILD (R.D), 1988. Infiltration and sediment production of a bushed grass land as influenced by livestock grazing systems, Buchuma, Kenya, Trop. Agric (Trinidad) n°65, pp 99-105.

MAGAGNOSC (J.S), 1988. Erosion et mise en valeur agricole dans les hautes plaines stifo-constantinoises, études méditerranéennes, Poitiers, Fasc. 12, pp 367-382.

MAINGUET (M), 1994. Desertification, natural background and human mismanagement, Université de Champagne Ardenne, France, 306 p.

MALCOLM (C.V), 1990. Rehabilitation agronomy-guidelines for revegetating degraded land, proceedings of the ecological society of Australia 16, pp 551-556.

MALINDA (D.K), 1994. Rainfall-runoff relationships as affected by land management practices, In compte-rendu de la 8ème conférence de l'ISCO, 4-8 Décembre 1994, New Delhi, Inde.

MANNAERTS (C), 1986. Contribution à l'évaluation de l'érosion des sols au Cap Vert, FAO GCP/CVI/015/BEL.

MARIOTTI (A), 1993. Le carbone 13 en abondance naturelle, traceur de la dynamique de la matière organique des sols des paléoenvironnements continentaux, Cah. ORSTOM, série pédol., Vol. XXVI, n°4, 1991, Paris, France, pp 299-313.

MASS (J.M), JORDAN (C.F), SARAKHAN (J), 1988. Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agrosystems under various management techniques, Journal of Applied Ecology, n°25, pp 595-607.

MERZOUK (A), BLAKE (G.R), 1991. Indices for the estimation of interrill erodibility of moroccan soils, Catena 18, pp 537-550.

MICHEL (P), LOUEMBE (D), 1992. Conséquences de l'extension des villes sur la morpho-dynamique en Afrique: les exemples de Dakar, Nouackchott et Brazzaville, Z.F.G.N.E suppl. bd. 91, pp 161-173.

MIETTON (M), 1986. Les données de l'érosion sur les bassins versants au Burkina-Faso, *Revue de Géographie Alpine*, Grenoble, 1986 (74), n°1/2, pp 119-127.

MIETTON (M), 1988. Dynamique de l'interface lithosphère - atmosphère au Burkina-Faso. L'érosion en zone de savane, Université de Grenoble, thèse de Doctorat d'Etat, Grenoble, 511 p.

MOEYERSON (J), 1989. La nature de l'érosion des versants au Rwanda, Thèse d'état, Musée Royal de l'Afrique Centrale, Tervuren, Belgique, 379 p.

MOONMUANG (S), VANECKERT (M), 1992. Mesures in the highlands of Northern Thailand, Recommendations for sloping land agriculture in Northern Thailand, Conférence nationale organisée par DLD, Chiang Rai, 14-18 Décembre 1992.

MOORE (D.C), SINGER (M.J), 1990. Crust formation effects on soil erosion processes, *Soil Sciences Soc. Am. J.*, n°54, pp1117-1123.

MORANT (P), 1991. Caractérisation de la fragilité écologique et des potentialités agronomiques de la région de Houndé au Burkina Faso: utilisation de différentes techniques de diagnostic, Thèse de docteur de l'INPL, 169 p.

MORGAN (C), 1986. The relative significance of splash rain wash and wash as processus of soil erosion, *Zeitschrift für geomorphologie*, Berlin, 1986 (30), n°3, pp 329-337.

MORGAN (R), QUINTON (J.N), RICKSON (R.J), 1990. Structure of the soil erosion prediction model for the European Community, In les comptes-rendus du symposium international sur l'érosion hydrique, la sédimentation et la conservation des ressources naturelles, octobre 1990, Central soil water conservation institute, Dehradun, Indes, pp 49-59.

MOEYERSONS (J), 1991. Ravine formation on steep slopes forward versus regressive erosion. Some case studies from Rwanda, *Catena*, Vol 18, pp 309-324.

MUSTIN (M), 1987. Le compost. Gestion de la matière organique, Paris, dubusc, 950 p.

MWAKALAGHO (R), 1986. A CB study of conservation in Malawi, In Cost-benefit analysis of soil and water conservation projects, land utilization programme report 4, Maseru, Lesotho: SADCC, pp 35-42.

NAIR (P), 1989. Agroforestry systems in the tropics, Dordrecht, The Netherlands, Kluwer, 664 p.

NANEMA (F), 1990. Etude des effets des techniques culturales sur la composition de la solution du sol et les pertes minérales par lixiviation, Mém. ISN/IDR, Université de Ouagadougou, 78 p.

NAPIER (T.L), CAMBONI (S.M), EL-SWAIFY (S.A), 1994. Adopting conservation on the farm: an international perspective of the socio-economics of soil and water conservation society, Ankeney, Iowa, U.S.A.

NARAIN (P) et al., 1992. Tehnological needs vegetative land protection measures, proc. 7 th ISCO conference, Sydney, Australia, pp 638-643.

NASR (N), 1993. Systèmes agraires et organisations spatiales en milieu aride: cas d'El-Ferch et du Dahar de Chenini-Guermessa (Sud-Est tunisien), Thèse de doctorat, Université Montpellier, Octobre 1993.

NDAHIMANA (A), 1989. Erosion et urbanisation en milieu tropical: la circonscription administrative de Kigali au Rwanda, U.N.R, 216 p.

NDAYIZIGIYE (F), 1993. La gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols au Rwanda. Analyse des techniques antiérosives et leurs effets sur la productivité des terres, Strasbourg, Thèse de doctorat.

NEBOIT (R), 1991. L'homme et l'érosion: l'érosion des sols dans le monde, A.P.E.L.C, 2ème édition, 262 p.

NGOUNIO-GABIA (E), 1991. Stratégies antirisques en agriculture. Exemple du modèle Target-Motad, In Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale. Vers une gestion des flux hydriques par le système de culture, John Libbey Eurotext, Paris, France, pp 387-398.

NICOU (R), OUATTARA (B), SOME (L), 1990. Effet des techniques d'économie de l'eau à la parcelle sur les cultures

céréalières (sorgho, maïs, mil) au Burkina Faso, *l'Agro. Trop.* 1990, 45-1, pp 43-57.

NIJENAHAGERA (J), 1992. Contribution à la cartographie agro-pédologique au 1/10 000ème de deux secteurs de référence dans le bassin versant de la Ntakangwa, Facagro et Isabu, Bujumbura.

NOUVELOT (J.F), 1992. Erosion mécanique, transport solide, sédimentation dans le cycle de l'eau, Cahiers ORSTOM, Montpellier, 126 p.

NZAMWITA (D), 1989. Etude comparée des phénomènes d'érosion hydrique sur les bassins versants de la Kinoni, la Runoga, la Nyabutaka, U.N.R., 243 p.

NZILA (J.D), 1992. Etude des transformations structurales et physico-chimiques d'un sol ferrallitique de la vallée du Niari (Congo) soumis à la pratique de l'écobuage, Univers. de Paris XII, Val de Marne, 190 p.

NZILA (J.D), 1992. La pratique de l'écobuage dans la vallée du Niari (Congo). Ses conséquences sur l'évolution d'un sol ferrallitique acide, Doc. ORSTOM, Montpellier, Paris, n°7, 190 p.

OOSTWOUD (D), 1992. The dynamics of gully-head erosion on a semi-arid piedmont plain, Baringo District, Kenya, unpublished PhD thesis, Université de Toronto.

OOSTWOUD (D.J), BRYAN (R.B), 1991. Gully development on the Njemps Flats, Baringo, Kenya, *Catena supplement* 19, pp 71-90.

PACARDO (E.P), 1985. Soil erosion and ecological stability, In *Soil erosion management*, E.T Crasswell, J.V Remenyi and LG Nallana Eds, ACIAR proceedings series 6, Canberra: ACIAR, pp 82-85.

PALIS (R.G), OKWACH (G), et al., 1990. Soil erosion processes and nutrient loss. II. The effect of surface contact cover and soil erosion process on enrichment ratio and nitrogen loss in eroded sediments, *Aust. J. Soil Res.*, n°38, pp 641-658.

PAPY (F), 1992. Effets de structures agraires sur l'érosion hydrique et le ruissellement, In *Influence des modifications des structures agraires sur l'érosion des terres*, S. Wicherech Bull. Ed, Assoc. géo. Fr., Vol. 2, pp 115-125.

PAPY (F), POUJADE (C), SOUCHERE (V), 1991. Maîtrise du ruissellement et de l'érosion sur un territoire agricole, INRA, In Gestion de l'espace rural et systèmes d'information géographique, P. Bush Ed, pp 167-176.

PARSONS (A.J), 1987. The role of slope and sediment characteristics in the initiation and development of rills, In Processus et mesure de l'érosion, Ed CNRS, pp 211-220.

PARSONS (A.J), ABRAHAMS (A.D), LUK (S.H), 1990. Hydraulics of interhill overland flow on a semi-arid hillslope, Southern Arizona, J. Hydrol., n°117, pp 255-273.

PEAKE (L), 1986. Erosion, crop yields and time: a reassessment of quantitative relationships, Discussion paper 191, Norwich, U.K: University of East Anglia, school of development studies, 40 p.

PEREZ (P), 1994. Genèse du ruissellement sur les sols cultivés du Sud Saloum (Sénégal). Du diagnostic à l'aménagement de parcelle, Thèse de doctorat en sciences agronomiques, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, 250 p.

PEREZ (P), FOREST (F), MONIMEAU (A), 1993. La gestion agricole de la ressource en eau pour la protection du milieu, la restauration de la fertilité des sols et l'amélioration de la productivité agricole. Cas du Siné-Saloum, Sénégal, Séminaire franco-iranien sur la gestion des ressources en eau et l'aménagement des bassins versants, 1993/10/24-28, Téhéran (IRN), Montpellier, France: CIRAD-CA, 11 p.

PETIT (F), COSANDEY (C), MUXART (T), 1987. Défrichement des terres agricoles et risque érosif. Un exemple dans le Sud du Massif Central, Alès, ronéo, Paris VII.

PEYRE (Y), MICHELIN J), 1990. Remembrement et lutte contre l'érosion dans le département de l'Oise, ronéo, Adeprina, Paris, 47 p.

PIERI (C), 1990. Maintien ou amélioration des systèmes de culture dans les savanes au Sud du Sahara, In Actes des journées de la DRN, Montpellier 12-15 Sept. 1989, pp 171-202.

POESEN (J), INGELMO-SANCHEZ (F), 1992. Runoff and sediment yield from topsoils with different porosity as affected by rock fragment cover and position, Catena 19, 451-474.

POESEN (J), INGELMO-SANCHEZ, MUCHER (H), 1990. The hydrological response of soil surfaces to rainfall as affected by cover and position of rock fragments in the top layer, *Earth surface processes and landforms* 15, pp 653-671.

POESEN (J), LAVEE (H), 1991. Effects of size and incorporation of synthetic mulch on runoff and sediment yield from interhills in a laboratory study with simulated rainfall, *Soil tillage Res.* 21, pp 209-223.

POSS (R), 1991. Transferts de l'eau et des éléments minéraux dans les terres de Barre du Togo, conséquences agronomiques, Thèse de doctorat, Université de Paris VI, 335 p.

PRASAD (S.N), et al., 1993. Effect of conservation measures on erosion, soil fertility and yield of castor (*Ricinus Communis*), *Indian j. Agri. Sci.* 63 (1), Indes, pp 47-49.

PROBST (J.L), 1990. Géochimie et hydrologie de l'érosion continentale. Mécanismes, bilan global actuel et fluctuations au cours des 500 millions d'années, Vol. I et II, Thèse d'Etat, Strasbourg, 578 p.

PRODAP/FIDA, 1992. Programme d'aménagement des versants, équipement des ravines et maîtrise des ressources en eau, Doc. interne, 43 p.

PROFITT (A), ROSE (C), HAIRSINE (P), 1991. Rainfall detachment and deposition: experiments with low slopes and significant water depths, *Soil Sci. Soc. of Am. Journal* 55, Ankeny, Iowa, U.S.A, pp 325-332.

QUENCEZ (P), 1986. Utilisation des palmes pour lutter contre l'érosion en plantation de palmiers à huile, oléagineux, n°41, pp 315-320.

RABEZANDRINA (R), 1986. Recyclage de la matière organique à Madagascar, F.A.O/A.C.C.R.A, Juin 1986, 50 p.

RABEZANDRINA (R), 1989. Pratiques agricoles à Madagascar axées sur la conservation, F.A.O, Tananarive, Décembre 1989, 30 p.

RAIMBAULT (B.A), VYN (T.J), 1991. Crop rotation and tillage effects on corn growth and soil structural stability, *Agro. J.*, n° 83, pp 979-985.

REETU SHARMA (A), DAKSHINI (M.M), 1991. A comparative assesment of the ecological effects of prosopis cineraria and P. juliflora on the soil of revegetated spaces, vegetatio 96, pp 87-96.

REICHERT (J.M), 1993. Surface sealing and erosion on some high clay surface soils, ph. D. diss. purdue Univ., West Lafayette, In (Diss. Abstr. 94-03777).

RENPEI (Y), 1992. Improvement and utilisation of salt affected soils in the Huang-Huai-Hai Plain, In Proceedings of the international symposium on strategies for utilizing salt affected lands, DLD, Bangkok, Thaïlande, pp 220-225.

ROCHETTE (R.M), 1989. Le Sahel en lutte contre la désertification, GTZ, 592 p.

RODIER (J.A), 1992. Du simulateur de pluie aux bassins représentatifs sahéliens, Ed de l'ORSTOM, Coll. Etudes et Thèses, 76 p.

ROGNERUD (B), 1989. soil erosion and nutrient loss-development of land use from grain to pasture and animals, geografisk tidssksift, Norvège, n°89, pp 7-10.

ROOSE (E), 1986. Terrasses de diversion ou microbarrages perméables, Cahiers de l'ORSTOM, série pédologie, 22, 2, pp 187-208.

ROOSE (E), 1987. Water efficiency and soil fertility conservation on steep slopes of some tropical countries, Com. Workshop WASWC, Puerto Rico, du 22 au 27 Mars 1987, W.C Moldenhauer and N.W Hudson Eds, S.W.C Soc. Am., Ankeny, U.S.A, 296 p.

ROOSE (E), CAVALIE (J), 1988. New strategy of water management and soil conservation, application in developed and developing countries, In Land conservation for future generations, compte-rendu de la 5ème conférence de l'ISCO, Bangkok, S. Rimwanich Ed, pp 913-924.

ROOSE (E), NDAYIZIGIYE (F), NYAMULINDA (V), BYIRINGIRO (E), 1988. La G.C.E.S, une nouvelle stratégie de lutte anti-érosive pour le Rwanda, Bull. Agri. Rwanda, n°21-4, pp 264-277.

ROOSE (E), 1990. Diversité des stratégies traditionnelles et modernes de conservation de l'eau et des sols. Influence du milieu physique et humain en région soudano-sahélienne d'Afrique

occidentale, In L'aridité, une contrainte au développement, ORSTOM, série didactique, pp 481-506.

ROOSE (E), RODRIGUEZ (L), 1990. Aménagement de terroirs au yatenga (N.O Burkina Faso), quatre années de G.C.E.S: bilan et perspective, CRPA Ouahigouya, ORSTOM, Montpellier, France, 188 p.

ROOSE (E), 1991. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols (GCES): une nouvelle stratégie de lutte antiérosive, cours CNEARC, ENGREF, Montpellier, France, 188 p.

ROOSE (E), 1993. Capacité des jachères à restaurer la fertilité des sols pauvres en zone soudano-sahélienne d'Afrique Occidentale, In C. Floret et G. Serpantié (Eds), La jachère en Afrique de l'Ouest, Coll. Colloques et séminaires, ORSTOM, Paris, pp 233-244.

ROOSE (E), 1993. Water and soil fertility management. A new approach to fight erosion and improve land productivity, In Topics in applied resource management in the tropics, Vol 3: Acceptance of soil and water conservation: strategies and technologies, DISTL, Editor Witzenhauzen, FRG, p 129-164.

ROOSE (E), KAHORE (V), GEVENAT (C.L), 1994. Le zaï, une technique traditionnelle africaine de réhabilitation de terres dégradées de la zone soudano-sahélienne (Burkina Faso), In L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait?, Pontanier et al Eds, Aupelf-unef/John Libbey, sous presse.

ROOSE (E), 1994. Introduction à la GCES, nouvelle stratégie de lutte antiérosive, bulletin pédologique FAO, n° 70, Rome, 420 p.

ROSE (C.W), 1988. Research progress on soil erosion processes and a basis for soil conservation practices, In Soil erosion research methods, R. Lal Eds, Ankeny, Iowa, U.S.A: soil and water conservation society, pp 119-139.

ROSSI (G), 1991. Croissance de la population, mise en valeur et équilibre des versants: quel avenir pour le Rwanda? In: Les cahiers d'outre-mer, Bordeaux, France, n° 173, 44 °année, Janvier-Mars 1991, pp 29-4.

ROUW (A), 1993. Influence du raccourcissement de la jachère sur l'enherbement et la conduite des systèmes de culture en zone forestière, In C. Floret et G. Serpantié (Eds), la jachère en Afrique de l'ouest, Coll. Colloques et séminaires, ORSTOM, PARIS, pp 257-266.

RUBIO (J.L), ANDREU (V), CERNI (R), 1990. Degradacion del suelo por erosion hidrica: diseno experimental y resultados preliminares, In J. Albaladejo, M.A Stocking and E. DIAZ (Eds), Soil degradation and rehabilitation in mediterranean environmental conditions, consejo superior de investigaciones cientificas, Madrid, pp 215-235.

RUELLE (P), SENE (M), JUNCKER (E), DIATTA (M), PEREZ (P), 1990. Défense et restauration des sols. Collection fiches techniques, Dakar, Sénégal: ISRA, 1990, Vol. 1, n°1, 50 p.

RULLAN (A), 1988. Agriculture collectivisée et érosion mécanique dans les bassins intra-telliens de l'Est algérien, études méditerranéennes, Poitiers, fasc. 12, pp 355-365.

RUPIYA (P), 1993. Essai de divers systèmes de protection d'exutoire et d'aménagement d'une ravine dans le Mumirwa (Cas de la ravine de Sagara), ISABU et Facagro, Bujumbura, Burundi.

RZA, 1994. Aménagement et gestion du territoire ou l'apport des images-satellite, de la géo-infographique et du terrain: applications en Algérie (Régions de Tiaret et d'Alger), Bull. n° 28, Janvier 1994.

SABIR (M) et al, 1992. Effets de la charge animale sur le développement de la végétation dans un milieu steppique: Aarid, Haute Moulouya, Ann. rech. for. Maroc, n°26: 59-67.

SASTRY (G), DHUVANARAYANA (V.V), PRASAD (R), 1994. Watershed resources and conservation measures and degree of land slope, papier présenté au colloque de "Earth Surface Process and Landform", U.K.

SCHERR (S.J), HAZELL (B.R), 1994. Sustainable agricultural development strategies in fragile lands, EDP, Discussion paper n°1, Washington: IFPRI.

SCHMIDT (J), 1991. The impact of rainfall on sediment transport by sheetflow, In H.R Bork, J. de Ploey and A.P Shick Eds Erosion, transport and deposition processes-Theories and models, Catena Supplement 19, pp 9-17.

SCHOONMAKER (M et K), 1993. Champs, jachère et flexibilité: la gestion des ressources naturelles à Ndâme Mor Fademba, Sénégal, Programme des zones arides, Doc. 5, IIED, Londres, Royaume-uni.

SEINY-BOUKAR (L), 1990. Régime hydrique et dégradation des sols dans le Nord-Cameroun, Thèse de doctorat, Université de Yaoundé, 225 p.

SEINY-BOUKAR (L), FLORET (C), PONTANIER (R), 1992. Degradation of savanna soils and the reduction of water use efficiency: the case of northern cameroon vertisols, Canadian Journal of Soil Science, in press.

SERPANTIE (G), FLORET (C), 1993. La jachère en Afrique de l'ouest, Paris, Orstom, Coll. et sémin., 494 p.

SHARDA (V.N) SINGH (P.N), JUYAL (G.P), 1992. Studies on the performance of conservation bench terraces vis-à-vis conventional cultivation practices in Doon Valley, annual report, CSWCRTI, Dehradun, Indes, pp 23-24.

SHAXSON (I.F), HUDSON (D.W), SANDERS (D.W), ROOSE (E), MOLDENHAUER (W.C), 1989. Land husbandry: a framework for soil and water conservation, S.W.C Soc., WASWC, Ankeny, Iowa, U.S.A, 64 p.

SHENG (T.C), 1986. Watershed conservation: a collection of papers for developing countries, Fort Collins, Colorado, U.S.A: Colorado State University, 92 p.

SIDERIUS (W), 1986. Land evaluation for land-use planning and conservation in sloping areas, ILRI publication 40, Wageningen, Netherlands: ILRI, 331 p.

SIGHA-NKAMDJOU, 1993. Le bassin fluvial de la Ngoko: hydrochimie d'un écosystème forestier équatorial humide, Com. PIREN Lyon, 14 p.

SIMBERLOFF (D), 1990. Reconstituting the ambiguous-Can islands be restored?, In Ecological restoration of New Zealand islands, Towns D et al Eds, New Zealand department of conservation, Wellington, New Zealand.

SIMONART (T), 1992. La conservation des sols en milieu paysan burundais: étude et hiérarchisation des stratégies antiérosives, Université de Louvain (Belgique) et ISABU, Bujumbura.

SINGH (A) et al., 1992. Soil and water conservation research, 1956-1971, ICAR, New Delhi, Indes, 358 p.

SINGH (G), SAMAJ (P), 1992. Package of practices for soil and water conservation in the Deccan Nilgiri Region, Bull. n° T-27/0-4-CSWCRTI, R.C, Udhagamandalam, Nilgiris, Inde.

SKUJINS (J), 1991. Semiarid lands and deserts: soil resources and reclamation , J. Skujins Ed, Marcel Dekker, New York, U.S.A.

SNELDER (D), 1993. Methods of rangeland improvement and revegetation for denuded, semi-arid savanna areas in the Baringo District, Kenya, University of Toronto, Unpublished PhD thesis.

SOMBATPANIT (S), THREEAWONG (S), 1992. The use of contour trash lines for erosion control on the highland, The second international conference on headwater control, Prague, Czechoslovakia, 1-7 Novembre 1992.

SOME (L), 1989. Diagnostic agroclimatique de risque de sécheresse au Burkina Faso: étude de quelques techniques agronomiques améliorant la résistance pour les cultures de sorgho, de mil et de maïs, Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, Sciences et techniques du Languedoc, France, 312 p.

STOCKING (M), 1986. The cost of soil erosion in Zimbabwe, in terms of the loss of three major nutrients, F.A.O AGLS, Rome, Italie, 164 p.

STOCKING (M.A), 1988. Assessing vegetative cover and management effects, In soil erosion research methods, R. Lal Ed, Ankeny, Iowa, U.S.A, pp 163-185.

STROOSNIJDER (L), HOOGMOED W.B), BERKHOUT (J.A.A), 1994. Modélisation des effets de la conservation des eaux dans le labour en zones tropicales semi-arides, In Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale. Vers une gestion des flux hydriques par le système de culture, John Libbey Eurotext, Paris, France, pp 235-251.

TCHOTSOUA (M), 1989. L'érosion des versants dans un centre urbain tropical de moyenne montagne: le cas des bassins de deux affluents du Mfoundi(ABIERGUE Nord et Ntem) à Yaoundé, Université de Yaoundé, Mém. de maîtrise, 176 p.

TCHOTSOUA (M), 1993. Risque d'éboulement de blocs rocheux sur les versants des Monts orientaux du massif de Yaoundé: cas des

Monts Oyomabang et Mvog-Bétsi, rev. de géogra. du Cameroun, (sous presse).

TCHOTSOUA (M), TANGUENTA (J), BROCHU (M), 1993. Indices probables de solifluxion sur les pentes du Mont Mbankolo à Yaoundé, Bull. de l'Assoc; des géographes français, pp 109-114.

THOMSON (E.F), JAUBERT (R), OGLAH (M), 1992. Using on-farm trials to study the benefits of feed legumes in Barley-based rotations of North-West Syria, Expl. agric., Vol. 28, Grande Bretagne, pp 143-154.

TOCOMA HAMADY (S.Y), 1993. Suivi des écosystèmes sahéliens. Exemple du centre de suivi écologique, CSE, Sénégal. Université de Paris XII, Val de Marne.

TOCOMA HAMADY (S.Y), 1993. Gestion des systèmes agro-sylvo-pastoraux en zones tropicales, université Paris XII, DESS, Septembre 1993.

TORRANCE (J.K), 1993. Erosion at the Asialand sloping lands site in Thailand, IBSRAM newsletter, n° 27, Mars 1993.

TREVISAN (D), LELONG (F), 1992. Influence de la dégradation structurale superficielle sur le ruissellement enregistré sous pluies simulées, Sci. Sol., 30, 4, pp 249-261.

USDA, 1994. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE), USDA Agri. Hdbk n°703, in press.

VAKSMANN (M), TRAORE (S), 1990. Etude du ruissellement sur une toposéquence sahélienne. Adaptation d'un modèle de bilan hydrique, In Agronomie et ressources naturelles en régions tropicales, Bertrand R (Ed), CIRAD-IRAT, Montpellier, France, pp 203-211.

VAN D. CAILLIE (X), 1989. Erodibilité des terrains sableux du Zaïre et contrôle de l'érosion, Cah. ORSTOM, série pédologie, Vol. XXV, n°1-2, pp 197-208.

VAN DEN DRIEL (J), SCHUTHOF (P), TOPPER (E), 1994. L'aménagement des terroirs villageois: une contribution à la gestion durable des ressources naturelles, une étude de cas du projet reboisement rive droite Téra au Niger, n°5, Université agronomique de Wageningen, Pays-Bas.

VAN DER HOEK (P) et al, 1993. Perspectives pour le développement soutenu des systèmes de production agro-sylvo-pastorale au Sammatenga au Burkina Faso, N° 3, Université agronomique de Wageningen, Pays-Bas.

VAN DRIEL (W.F), 1992. Pour une conservation de l'eau et du sol durable: réflexion critique sur les projets de conservation de l'eau et du sol au Sahel, Bull. de liaison du CIEH (BFA), 1992/04, n°88, pp 37-42.

VIRAMONTES (D), 1990. Cuantificación del escurrimiento y la erosión hídrica en el desierto Chihuahuense (reserva de la biosfera de Mapimi); tesis de biólogo de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Gomez Palacio, Nov. 1990, 90 p.

VLAAR (J.C.J), 1992. Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel, Vlaar Ed, Wageningen, Pays-Bas, 111 p.

VOGEL (H), 1992. Effects of tillage on sheet erosion from sandy soils at two experimental sites in Zimbabwe, In Applied geography, n°12, pp 229-242.

VOGEL (H), 1993. Tillage effects on maize yield, rooting depth and soil water content on sandy soils in Zimbabwe, In Field crops research, N° 33, Harare, Zimbabwe, pp 367-384.

VON CARLOWITZ (P.G), 1986. Recommendations for the design and establishment of demonstration trials at the Ethiopian centre for community forestry and soil conservation, ICRAF working paper 41, Nairobi, ICRAF, 89 p.

WAJANANAWAT (W), 1993. Effects of phosphate sources on a soil yields, In Better crops international, n°9(1), Chiang Mai, Thaïlande, pp 20-21.

WALCH et al, 1986. Maîtrise du ruissellement et de l'érosion en vignoble de coteau, CEMAGREF, ronéo.

WATSON (D.A), LAFLEN (J.M), 1986. Soil strength, slope and rainfall intensity effect on interrill erosion, trans. ASAE n°29, pp 98-102.

WICHEREK (S), 1986. Ruissellement, érosion sur les versants de la France des plaines et des collines, Ex. Cessieres (Ozaisne), Hommes et terres du Nord, Lille, n°4, pp 254-261.

WICHEREK (S), 1990. Paysages agraires, couverts végétaux et problèmes d'érosion en milieu tempéré de plaine de l'Europe de l'Ouest, Soil technology, n°3, pp 199-208.

WILLAT (S.T), SULISTYANINGSIH (N), 1990. Effect of plant roots on soil strength, Soil tillage Res., n°16, 329-336.

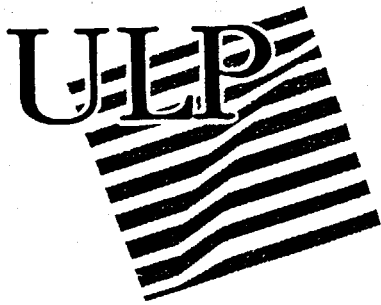
XU (Z.H), MYERS (R.J.K), SAFFINA (P.G), CHAPMAN (A.L), 1993. Nitrogen cycling in leucaena alley cropping in semi-arid tropics: II. Response of maize growth to addition of nitrogen fertilizer and plant residues, In plant and soil, n°148, Université de Griffith, Division of environmental sciences, Queensland 4111, Australia, pp 73-82.

YADAV (J.S.P), 1986. Dégradation and crop production problems of soil and water resources in India, J. Indian Soc. Soil Sci. 34, Inde, pp 660-674.

YOUNG (A), 1987. The potential of agroforestry for soil conservation, with special reference to vertisols, Management of vertisols under semi-arid conditions, IBSRAM proceedings n°6, M. Latham, P. Ahn, C.R Elliott Eds, Bangkok, Thaïlande: IBSRAM, pp 187-199.

ZAINOL (E), MOKHTARUDDIN (A.M), 1993. Effects of intercropping systems on surface processes in a acid ultisol: 1. short-term changes in soil physical properties, In Journal of natural rubber research, n°8(1), Kuala Lumpur, Malaisie, pp 57-67.

ZIMMERMAN (T), 1986. Agroforestry-a last hope for conservation in Haïti? Agroforestry Systems, n°4, pp 255-268.



INSTITUT
D E
G E O L O G I E

Strasbourg, le 8 novembre 1994

Madame, Monsieur,

J'ai le plaisir de vous inviter à la soutenance de la thèse de DOCTORAT ES SCIENCES de

Monsieur Christian FELLER
Directeur de Recherche à l'ORSTOM

qui aura lieu à l'Université Louis Pasteur, dans l'amphithéâtre de l'Institut de Géologie

le vendredi 2 décembre 1994, à 14^h30

La présentation du mémoire intitulé

"La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1:1 : recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique"

sera discutée par un jury composé de P. ALBRECHT, directeur de recherche au CNRS, F. ANDREUX, professeur, Y. DOMMERGUES, professeur, G. GUIRAUD, ingénieur au CEA, J. LUCAS, professeur, G. PEDRO, directeur de recherche à l'INRA, correspondant de l'Académie des Sciences.

A l'issue de la soutenance, Monsieur Christian Feller vous convie à un vin d'honneur.

Dans l'agréable attente de vous rencontrer à cette occasion, je vous prie d'agréer, Madame, Monsieur, mes plus cordiales salutations.

UNIVERSITE
LOUIS PASTEUR
STRASBOURG

Jacques LUCAS

1, rue Blessig
67084 Strasbourg Cedex
(France)

Tél. (33) 88 35 85 00

Ligne directe : (33) 88 35 85 8 5

Fax : (33) 88 36 72 35

549

Cette étude concerne essentiellement les sols ferrugineux et ferrallitiques, profonds et bien drainés, des régions intertropicales chaudes. Ces sols occupent des superficies importantes et représentent environ 70 % des terres cultivées. Pour ces sols, l'importance du rôle joué par la matière organique (MO) dans les propriétés physiques, chimiques et biologiques des horizons de surface a été maintes fois signalée dans la littérature. Elle est confirmée ici pour diverses situations très représentatives de ces sols à argile 1:1 ; sols d'Afrique de l'Ouest, à kaolinite et aux horizons de surface à texture grossière, sols argileux à halloysite des Petites Antilles, d'origine volcanique et encore riches en minéraux primaires, sols argileux du Brésil, à oxyhydroxydes de fer et d'aluminium et très pauvres en minéraux primaires. Toutefois, au-delà de ces approches globales et statistiques relativement classiques, on ne disposait, il y a encore une dizaine d'années, que de peu de données sur la nature et la dynamique des différentes formes de MO du sol exerçant une fonction particulière vis-à-vis des grands cycles biogéochimiques. Ce problème est pourtant d'une importance majeure, aussi bien dans les recherches actuelles sur la "durabilité" des agricultures tropicales que dans celles concernant le rôle du sol en tant que puits ou source de carbone aux échelles globales ("effet de serre").

Aussi, l'objectif principal de ce travail a-t-il été de chercher à identifier des compartiments organiques du sol qui soient nettement différenciés par leur nature et leur dynamique, et qui soient explicatifs par rapport à quelques fonctions biogéochimiques majeures exercées par le sol.

Différentes raisons d'ordre historique et scientifique nous ont amené à privilégier, *a priori*, une approche granulométrique en vue d'identifier des "compartiments organiques fonctionnels" dans ces sols. Les MO associées à diverses fractions sableuses, limoneuses et argileuses ont donc été caractérisées aux plans morphologique, chimique et biologique, et leur "caractère fonctionnel" a été évalué, *a posteriori*, pour trois types de fonctions biogéochimiques : des fonctions de "réserve" d'éléments nutritifs (C, N, P, bases), des fonctions "biologiques" (cycles internes de minéralisation-immobilisation) et des fonctions de "sorption et d'échange" (échanges cationiques et anioniques, sorption de molécules organiques).

L'ensemble de ces données conduit à regrouper les différentes fractions en trois compartiments organiques et organo-minéraux principaux dont le caractère fonctionnel s'avère être fortement dépendant de la texture, celle-ci jouant un rôle considérable dans le niveau des stocks organiques de ces sols. On identifie ainsi :

- un "compartiment débris végétaux" ($> 20 \mu\text{m}$), associé mais peu lié aux sables minéraux. Les rapports C/N (15 à 25) et xylose/mannose (5 à 10) élevés sont en accord avec le caractère figuré végétal de ces MO. Le taux de renouvellement des MO est moyen à élevé (40 à 100 % en 10 ans). Ce compartiment est considéré comme fonctionnel essentiellement dans les sols sableux où il assure alors, de manière importante, des fonctions "biologiques" relatives aux processus de minéralisation à court terme du carbone, de l'azote et du phosphore ;

- un "complexe organo-limoneux" (2-20 μm), constitué d'un mélange de MO à caractères végétal et fongique figurés, de limons minéraux et de microagrégats organo-minéraux très stables. Les rapports C/N (10 à 15) et xylose/mannose (1 à 3) sont plus faibles que pour le "compartiment débris végétaux" en accord avec le caractère plus humifié des MO. Le taux de renouvellement des MO est moyen à faible (20 à 40 % en 10 ans). La dénomination de "complexe" révèle la difficulté d'une définition précise de ce compartiment. Le caractère fonctionnel de ce compartiment est relativement faible. Il s'exprime essentiellement dans les sols sableux pour des fonctions de "sorption et d'échange" relatives aux propriétés de surface des constituants organiques (CEC et sorption des molécules organiques neutres) ;

- un "compartiment organo-argileux" ($< 2 \mu\text{m}$), riche en MO amorphe, humifiée et fortement liée aux particules minérales. Les rapports C/N (8 à 11) et xylose/mannose (0,5 à 2) sont faibles, en accord avec une origine partiellement microbienne de la MO. Globalement, le taux de renouvellement des MO est moyen à faible (20 à 40 % en 10 ans). Toutefois, au sein de ce compartiment, une fraction soluble à l'eau chaude (nommée EC 0-2), enrichie en métabolites microbiens et très active en terme de minéralisation et d'immobilisation microbiennes constitue 5 à 15 % de la MO. Le "compartiment organo-argileux" peut être considéré comme fonctionnel, vis-à-vis des trois types de fonctions étudiées, pour les sols sablo-argileux à argileux dès lors que leur teneur en argile est supérieure à 10 %. Il remplit alors des fonctions de "réserve" (N et P), des fonctions d'"échange" (CEC) et des fonctions "biologiques" (immobilisation-minéralisation de C et N). Dans ce dernier cas, la fraction EC 0-2 joue un rôle primordial.

En conclusion, même si l'approche granulométrique pour caractériser des "compartiments organiques fonctionnels" dans les sols tropicaux à argile 1:1 montre un certain nombre de limites, dues, en particulier, à l'existence d'un continuum des propriétés et des fonctions quand on passe des fractions grossières aux fractions les plus fines du sol, cette approche apparaît toutefois prometteuse pour aborder de nombreuses thématiques de recherche dans les domaines de l'agronomie et de l'environnement.

Mots-clés. Sols tropicaux, Argile 1:1, Matière organique, Fractionnement granulométrique, Compartiments fonctionnels, Gestion organique des sols.

THESE

Présentée à

L'UNIVERSITÉ DE NICE SOPHIA-ANTIPOLIS

Laboratoire d'Analyse Spatiale

U.R.A 1476 du C.N.R.S.

Pour obtenir le Diplôme National de

DOCTORAT

Spécialité : Hydrologie

Par

Yadh ZAHAR

ingénieur-chercheur

Sujet :

**MODÉLISATION SPATIALE ET TEMPORELLE
DES PRÉCIPITATIONS EXTRÊMES ET ÉROSIVES**

EN TUNISIE CENTRALE

EN VUE DE

L'AMÉNAGEMENT DES PETITS BASSINS HYDROLOGIQUES

- Commission d'examen -

| | |
|--------------|--------------------|
| M. JULIAN | Président |
| N. ENNABLI | Rapporteur |
| L. LE BARBE | Rapporteur |
| J.M. MASSON | Examineur |
| P. CARREGA | Examineur |
| J.P. LABORDE | Directeur de thèse |

- Juin 1994 -

551 |

RÉSUMÉ

Cette recherche porte sur deux points méthodologiques essentiels : l'étude des pluies extrêmes et l'analyse de l'érosivité des pluies en Tunisie centrale.

* La première partie concerne l'analyse statistique des séries pluviographiques et met en évidence : la bonne adéquation des lois de Gumbel et Montana aux séries de maxima saisonniers et annuels, pour différents pas de temps compris entre la demi-heure et 24 heures, la liaison entre le paramètre b de la loi de Montana, et le rapport des gradex des pluies journalières d'automne et annuels, ainsi que l'indépendance de ce paramètre avec les périodes de retour. Ainsi, la statistique des pluies extrêmes se caractérise assez bien à partir des trois paramètres : la pluie journalière décennale, le gradex journalier, et le paramètre b de la loi de Montana. Ces trois paramètres sont estimés sur les séries pluviométriques, et font l'objet d'une cartographie. L'application pratique de ce volet consistait enfin à fournir aux projecteurs une méthodologie régionale de prédétermination des pluies extrêmes horaires en tout lieu géographique et pour différentes durées comprises entre 30 minutes et 24 heures.

* La seconde partie aborde l'analyse de l'érosivité des pluies. Cette analyse s'est faite à l'aide d'un générateur stochastique des pluies, et du modèle pluie-érosivité de Wischmeier. On observe que la liaison de l'index R d'érosivité des pluies par rapport aux paramètres de pluie est particulièrement forte avec les intensités en 30 minutes. L'événement érosif maximal de l'année est souvent très fortement érosif, si bien que l'ensemble de ces événements extrêmes sur de longues périodes sont responsables de plus de 50% de l'érosion. Leur apparition est fréquente au printemps et surtout à l'automne. L'index des pluies se cumulant dans le temps comme l'érosion ou le dépôt de sédiments, nous avons simulé l'envasement progressif des retenues d'eau, afin de rechercher une méthode probabiliste de prédiction de leur durée de service. Nous avons notamment analysé les probabilités d'écart par rapport à une durée de service moyenne préalablement estimée. L'application pratique de ce volet consiste également à fournir aux projecteurs une approche régionale de prédiction des durées de service des retenues d'eau, capables d'améliorer leur potentiel de décision en matière d'aménagement des petits bassins versants.

Les enseignements qui se dégagent donc de cette recherche sont d'ordre méthodologiques (valorisation des données hydrologiques restreintes, analyse statistique des pluies extrêmes, traitement des paramètres de ces pluies à partir des données de pluies journalières, génération stochastique des pluies, modélisation de l'érosivité de la pluie), et d'ordre pratiques (carte des paramètres des pluies extrêmes et des index d'érosivité des pluies, méthode régionale de prédétermination des pluies extrêmes, abaque de prédiction des durées de service des retenues d'eau).

MOTS CLÉS : Tunisie centrale - Pluies extrêmes - Gradex - Génération stochastique - Érosion - Index de Wischmeier - Modélisation - Cartographie.

A. DECARREAU, *Professeur*
Université de Poitiers - U.F.R. Sciences
U.R.A. 721 du C.N.R.S. "Argiles, Sols et Altérations"
40, Avenue du Recteur Pineau - 86022 POITIERS Cédex
tél. 49.45.33.89 - Fax. 49.45.40.17

Poitiers, le 8 février 1995

Madame, Monsieur,

Nous avons l'honneur de vous inviter à la soutenance de la thèse de
Doctorat de l'Université de Poitiers présentée par

Monsieur Serge VALET

*"APPROCHE STATISTIQUE ET PRÉDICTION DU COMPORTEMENT ET DU
FONCTIONNEMENT HYDRIQUES DES SOLS :
Application aux sols hétérogènes de la vallée du Niger".*

le **lundi 20 février 1995, à 14 h 30**

Bâtiment α , Salle 5

Faculté des Sciences, 40, Avenue du Recteur Pineau à Poitiers,

devant le Jury composé de :

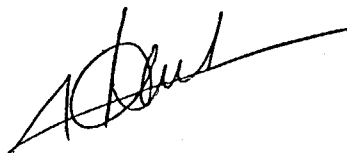
| | | |
|--|--|-------------|
| A.B. DELMAS, Directeur de Recherche, INRA, Rennes | | Rapporteurs |
| C. VALENTIN, Directeur de Recherche, ORSTOM, Montpellier | | |

| | | |
|---|--|------------|
| P. BAVEYE, Professeur, Université de Cornell, USA | | Examineurs |
| A. DECARREAU, Professeur, Université de Poitiers | | |
| J. DUCLOUX, Maître de Conférences, Université de Poitiers | | |
| C. GASCUEL-ODOUX, Chargée de recherche, INRA, Rennes | | |
| M. RAZACK, Professeur, Université de Poitiers | | |

*Vous êtes cordialement invité(e) à la réunion amicale qui suivra cette
soutenance.*



A. DECARREAU,
Directeur de l'URA CNRS 721



J. DUCLOUX,
Directeur de thèse

Résumé

Au Niger, le climat sahélien se caractérise par un déficit d'alimentation en eau des plantes aggravé depuis 1968 par une sécheresse persistante. Aussi la création de périmètres irrigués devraient assurer l'augmentation, la stabilité et la diversité de la production agricole. Or, on a constaté comme dans d'autres pays sahéliens, leur abandon par les paysans en partie ou en totalité.

Parmi les multiples raisons invoquées, le dysfonctionnement hydrique apparaît l'hypothèse la plus vraisemblable. Aussi, une étude fondamentale sur le comportement et le fonctionnement hydriques des sols hétérogènes de la vallée du Niger a-t-elle été réalisée. Cette étude a été conduite *in situ* sur un degré de latitude (entre 13 et 14°N) afin d'inclure une forte variabilité pédologique, pétrographique et géomorphologique.

Différentes analyses statistiques ont été appliquées aux résultats afin d'abord de déterminer les propriétés physiques et hydrologiques discriminantes du milieu et ensuite pour prédire le comportement et le fonctionnement hydriques des sols hétérogènes.

L'analyse en composantes principales, portant sur les horizons, a permis d'élaborer un classement des sols en 8 groupes, à partir de 5 variables physico-chimiques discriminantes. L'introduction des propriétés hydriques et hydrodynamiques renforce ce classement.

L'analyse statistique élémentaire, traitant de la variabilité verticale de ces groupes, a mis en évidence un «pic de condensation» du matériau. Cet horizon de profondeur variable, selon la texture, limite toujours le stock hydrique à 100 mm. Cette constance accredit l'hypothèse d'une origine pédoclimatique régionale de ce pic, lors d'une période plus humide que l'actuelle, qui pourrait coïncider avec le dernier Pluvial.

La variabilité verticale de la microporosité par rapport à la macroporosité des groupes de sols permet de les regrouper en 3 classes contrôlées principalement par la texture.

L'analyse stochastique a décelé l'existence d'une variabilité spatiale horizontale d'une unité pédologique cartographiée homogène au 1/25 000^{ème}. Elle a mis en évidence une distance d'autocorrélation bornée (Portée= 110 à 160m), anisotrope dans le sens de la pente pour la texture de profondeur, non bornée pour la texture de surface, les humidités minimum et à la capacité au champ, enfin le front d'humectation. Cette structure des éléments fins peut s'expliquer, en surface, par le ruissellement en nappe observé et, en profondeur, par le ruissellement en ravine provoquant soit un épaissement du profil avec enrichissement du taux d'argile, soit une altération plus poussée ou les deux phénomènes associés. La structure des humidités et celle du front d'humectation apparaissent nettement influencées par la répartition géospatiale de la texture soit superficielle, soit à 50 cm.

L'approche déterministe a montré le rôle important du Na⁺, du pH et de la densité apparente sur la variabilité des humidités remarquables (hormis l'humidité maximum) et des porosités. Ce rôle a pu être quantifié par l'introduction de ces variables dans les équations. Dans l'explication de l'infiltration, si ces variables, correspondant à l'horizon limitant, interviennent encore, c'est surtout sa macroporosité qui domine avec des R² de 40% pour la vitesse d'infiltration et de 80% pour celle de progression du front d'humectation.

Cette étude confirme et illustre que ces différentes approches sont complémentaires et qu'aucune n'est à privilégier car elle répondent chacune à des problèmes spécifiques.

Les résultats ont montré qu'il est possible de classer les sols hétérogènes en un nombre minimum d'*hydrosystèmes* dont le comportement et le fonctionnement peuvent être prédits avec une fiabilité suffisante. Leur connaissance et leur prédiction dépassent de loin le seul problème d'aménagement (hydro)agricole et serviraient à expliquer, -et à corriger ou à modifier-, les (dys)fonctionnements des écosystèmes soumis à une forte dégradation consécutive aux actions anthropiques amplifiées par la sécheresse.

Mots-clés

Niger, zone soudano-sahélienne, analyse en CP, variabilité verticale et stochastique, densité apparente, pic de condensation, microporosité, macroporosité, RFU, humidités remarquables, infiltration, front d'humectation.

L'ÉROSION ACTUELLE DANS LA PARTIE OCCIDENTALE DES ALPES DU SUD

Thèse de Géographie présentée par Luc DESCROIX, chargé de recherches en hydrologie à l'ORSTOM (Département Eaux Continentales)
19 septembre 1994

ORSTOM-DEC, Université Lumière Lyon II, Laboratoire Rhôdanien de Géomorphologie (URA 260 CNRS-Lyon II)

300 pages + annexes

Devant le jury composé de:

- M. Jean-Paul BRAVARD, Professeur à l'Université Paris IV, président du jury;
- M. Pierre GABERT, Professeur à l'Université Aix-Marseille III, rapporteur;
- M. Pierre MANDIER, Professeur à l'Université Lumière-Lyon II;
- M. Jean-Claude OLIVRY, Directeur de Recherches à l'ORSTOM, rapporteur, co-directeur de thèse;
- M. Pierre CLEMENT, Professeur à l'Université Lumière Lyon II, directeur de thèse;

MOTS CLES:

ÉROSION ACTUELLE, SOLIFLUXION, MARNES, PRÉALPES DU SUD, TRANSPORTS SOLIDES, MESURE DE L'ÉROSION.

I) LE CONTEXTE PREALPIN

Les Préalpes du Sud-Ouest (Baronnies, Diois, Pays du Buëch et bassin de Laragne) sont caractérisées par l'épaisse série des "Terres Noires" (du Bajocien, Bathonien et Oxfordo-Callovien), puissante de plus de 2000 mètres, et dont les ravinements sont très nombreux dans les combes anticlinales (Die, Laragne, Aspres...). D'autres affleurements rocheux tendres, ainsi qu'un climat où les contrastes de temps et d'exposition sont violents (une centaine d'alternances gel/dégel, et de nombreuses alternances humectation/dessiccation par an), font que cette région connaît une très forte érosion linéaire. Celle-ci a été accentuée au moment des maximums démographiques connus ou supposés: Néolithique, époque romaine, Réforme, XIXème siècle, ont connu une forte réduction de la couverture forestière, et, à en croire les héritages morphologiques et les Archives, une forte progression parallèle des ravages du ravinement et de la torrentialité.

Depuis la fin du XIXème siècle, le dépeuplement et la politique forestière de l'Etat (avec l'oeuvre de la RTM, Restauration des Terrains en Montagne), ont fait énormément progresser en surface l'étendue forestière, qui a, globalement, doublé en un siècle, et continue aujourd'hui, à gagner de la surface.

Mais le dépeuplement a aussi entraîné un défaut d'entretien du paysage, et surtout des systèmes traditionnels de drainage et d'irrigation, qui, cumulé parfois à l'envahissement par les broussailles, à la destruction progressive des chemins, des murets et des terrasses, a pu favoriser les phénomènes de solifluxion: coulées boueuses, glissements de terrain, mouvements lents liés à la fluo-reptation, amènent souvent à des coupures de voies de communication, voire la destruction de bâtiments. Les sapements de berge et les déséquilibres de versants liés aux ravinements sont également fréquents.

II) RAVINEMENT ET SOLIFLUXION

Une série de protocoles de mesure a été utilisée pour mesurer:

- la solifluxion: plaquettes-repères, piquets-repères, étude de l'évolution de certains glissements et coulées;
- le ravinement et l'érosion linéaire: parcelles à cheneaux, parcelles à règle topographique;
- les transports solides: pièges à sédiments, "nids de tiges", batteries de bouteilles-siphons;

Les résultats obtenus des mesures effectuées, couplés à une étude du ruissellement et de l'écoulement, permettent de situer la partie occidentale des Alpes du Sud comme une région de forte érosion actuelle; mais cette érosion est aujourd'hui surtout le fait des secteurs déjà érodés: bad-lands, surtout dans les "Terres Noires", mais aussi dans les marnes du Crétacé, du Jurassique Inférieur, les mollasses, et les terrains glaciaires, où les ravinements constituent les célèbres "demoiselles coiffées".

Dans les bad-lands des marnes, la tranche annuelle érodée est de l'ordre de 0,4 cm sur les adrets et de 1,2 cm sur les ubacs, où les phénomènes de solifluxion sont plus intenses; cette ablation est encore plus forte dans les terrains de colmatage glaciaire, où la forte pente des versants (la pente d'équilibre est de 50-55 degrés, contre 35-40 dans les marnes) est liée à la rapidité du creusement et à la cohésion de la roche due à la présence de l'argile, bien plus qu'à la dureté de celle-ci.

III) PARAMETRES PRINCIPAUX

Les paramètres pris en compte ici pour connaître les causes de l'érosion sont variés, liés au climat et à l'état du sol au moment de la précipitation. En effet, si le manteau d'altération des marnes est en grande partie constitué par l'action des alternances gel/dégel et humectation/ dessiccation, l'arrachement des

particules (splash) et leur transport, sous forme de laves torrentielles ou de coulées boueuses, se fait par l'action de l'eau: comme cela a déjà été observé en maints endroits, il apparaît que, plus que la quantité d'eau précipitée, c'est surtout l'intensité de la pluie, traduite ici sous forme d'énergie cinétique des gouttes d'eau, qui est cause de l'érosion linéaire. Le nombre d'évènements pluvieux intervient logiquement, puisque plus ou moins proportionnel à la quantité d'eau précipitée.

Les autres paramètres, tenant compte de l'état initial du sol avant la précipitation, sont, en fin de compte, très peu corrélés avec l'érosion: les facteurs suivants: nombre de jours secs avant la pluie, indice thermique, l'indice de Kolher (ou Indice des précipitations antérieures, ou Indice d'Humidité préalable du sol), ailleurs très influents sur l'action érosive des pluies, sont ici, apparemment, peu importants. Seul le nombre de jours de gel semble avoir une certaine influence sur l'action érosive des précipitations hivernales.

Le principal problème posé aujourd'hui par cette érosion est le colmatage des retenues hydrauliques, qui est rapide et raccourcit leur durée de vie. De plus, l'occurrence d'évènements paroxysmaux (comme l'a rappelé la crue de l'Ouvèze du 22 septembre 1992) est très productrice d'érosion et de transports solides; les phénomènes de solifluxion dépendent plus, eux, des périodes humides de plusieurs semaines au cours desquelles s'infiltrèrent de grandes quantités d'eau. Si cette configuration météorologique se produit au moment du dégel, la teneur en eau du sol et le risque d'apparition de phénomènes de solifluxion sera encore plus grand.

Les mesures d'ablation moyenne annuelle ont permis de tenter une datation des différents types de ravinement que l'on peut rencontrer en particulier en bordure des grandes combes anticlinales (axe Drôme-Buëch), c'est-à-dire surtout là où affleurent les marnes noires: même en tenant compte des très probables fluctuations climatiques depuis l'Holocène (on les connaît mais on ne sait pas toujours ce qu'elles ont été au point de vue érosif), il a été possible de tenter une datation des différents types de ravinements, qui permet de situer à peu près les grandes phases érosives de l'histoire des Alpes du Sud.

CONTACT:

**Luc DESCROIX
ORSTOM
AP 225-3
35071 GOMEZ PALACIO ZI
(DGO) MEXIQUE
FAX ET TEL: (52) 17 15 28 18**



FACTEURS ET RISQUES D'EROSION HYDRIQUE AU RWANDA A DIFFERENTES ECHELLES SPATIALES

THESE DE DOCTORAT D'UNIVERSITE
Mention : GEOGRAPHIE PHYSIQUE

Présentée par

Esdras NGENZI



Membres du Jury

M. Michel MIETTON - *Professeur à l'ULP de Strasbourg*

M. Jean Claude FLAGEOLLET - *Professeur à l'ULP de Strasbourg*

M. Jan MOEYERSONS - *Directeur de Recherches au Musée Royal de l'Afrique
Centrale de Tervuren - Belgique*

M. Eric ROOSE - *Directeur de Recherches à l'ORSTOM*

M. Patrick WASSMER - *Maître de Conférences à l'ULP de Strasbourg*

M. Dieter KÖNIG - *Assistant Scientifique à l'Université de Mayence-Allemagne*

Directeur

Rapporteur interne

Rapporteur externe

Rapporteur externe

Examineur

Invité

Mars 1995

RESUME

Au Rwanda, les densités de population particulièrement élevées (la moyenne de 285 habitants/km² atteint localement 600 à 800 habitants/km²) et leurs conséquences d'une part, un contexte de fortes à très fortes pentes d'autre part, doivent être d'emblée soulignées en tant que facteurs de risques de dégradation du milieu. L'étude à différentes échelles spatiales des principaux facteurs, directs et indirects, permet de connaître la variabilité des risques d'érosion.

L'analyse fréquentielle des pluies journalières exceptionnelles, faite à l'échelle du pays fournit de précieux renseignements sur la distribution spatiale et temporelle des risques d'érosion occasionnés par le facteur premier de l'érosion hydrique : la pluie.

Les pluies maximales sur un épisode pluvieux court, de 1 à 5 jours, ne suivent pas la régionalisation climatique habituelle, calquée sur l'orographie. Les basses régions de l'est du pays peuvent recevoir de fortes quantités d'eau. Les quantiles centennaux pour 24 heures y sont estimés à 110 - 130 mm de pluies. En revanche, la région de Ruhengeri située à haute altitude reçoit les pluies journalières centennales les plus faibles de tout le pays (70 à 80 mm). Les régions les plus exposées sont la crête Zaïre-Nil, les hauteurs de la chaîne des Birunga et la région sud-ouest au bord du lac Kivu (autour de 150 mm). Les récurrences des épisodes pluvieux maximums sur 15 à 30 jours consécutifs présentent une distribution spatiale différente. La cartographie de ces quantiles ressemble davantage à celle des pluies annuelles moyennes, variant globalement selon l'altitude.

L'agressivité climatique élevée sur la crête Zaïre-Nil est confirmée par les indices R de Wischmeier : l'indice R annuel moyen (Ram) est estimé à 750 à Gisovu-Gakuta. Il est de 528 sur 11 ans à Kigali (région climatique orientale) contre 454 à Butare (plateau central) sur 13 ans. Cette agressivité est marquée par une irrégularité interannuelle et intermensuelle, particulièrement grande dans l'est du pays. Dans cette région, l'effet des averses exceptionnelles se fait particulièrement sentir.

Les facteurs conditionnels de résistance du milieu accentuent ou, au contraire, diminuent les risques.

La pente et de l'occupation du sol, étudiés à trois niveaux d'analyse spatiale (grand bassin versant de l'ordre du millier de km², zone-test de quelques dizaines de km² et versant), sont à considérer en premier lieu. Dans les régions d'occupation ancienne (plateau central et nord-ouest), tous les versants sont mis en culture et occasionnellement sur de fortes pentes supérieures à 60%. Les risques d'érosion sont d'autant plus forts que les cultures saisonnières prédominent. Seuls les champs de bananiers peuvent échapper à ces contraintes. Les régions récemment colonisées (Bugesera ou crête Zaïre-Nil) suivent la même évolution.

Néanmoins, les paysans développent des pratiques culturelles qui, tout en ayant d'abord des objectifs purement agricoles, permettent d'enrayer l'érosion. Dans la région de Ruhengeri par exemple, il apparaît que les agriculteurs adaptent leurs méthodes culturales aux pentes : exclusivité des billons dans la tranche de pentes inférieures à 10 % et des terrassettes au-dessus de 50%.

La nature du sol appréciée à travers différents paramètres physico-chimiques, hydriques ou mécaniques permet d'estimer la résistance des sols à l'agressivité des pluies.

Les sols limono-argileux caractérisés par une mauvaise perméabilité sont les plus érodibles (Nyarutovu : $k = 0,18$). Sur fortes pentes ils seraient les plus exposés aux foirages comme on le voit sur les versants de Nyarutovu et sur la crête de Nyakinama. Tandis que les sols argilo-sableux ou limono-argilo-sableux (Rubona) présentent un indice d'érodibilité faible ($k < 0,10$), mais risquent d'être sensibles aux effets d'un drainage profond.

Les aménagements antiérosifs devraient tenir compte de ces caractéristiques. Le suivi des profils hydriques réalisés grâce aux mesures tensiométriques à Rubona et à Gisovu révèlent que l'humidité du sol varie en fonction des pluies journalières dans les horizons de surface. En profondeur, les variations du stock d'eau ne sont conditionnées par la durée de la saison sèche. Sur les parcelles aménagées sur des sols argilo-sableux (Rubona), la parcelle à haies vives et le témoin régional conservent l'eau plus longtemps que la parcelle nue. En revanche la parcelle en terrasses radicales, qui par ailleurs supprime l'érosion et le ruissellement, draine rapidement l'eau et est plus exposée au risque d'assèchement et de lixiviation des nutriments.

Mots-clés : RWANDA, érosion, ruissellement, risques, pluies, analyse fréquentielle, nature du sol, pente, drainage, variabilité spatiale, lutte antiérosive, occupation du sol.



Département : DERN

Spécialisation : Environnement option sols et aménagement

Enseignant responsable : Christian Walter

Cadre réservé à la Bibliothèque Centrale

Auteur(s) : Annie LE FUR

Organisme d'accueil : ORSTOM (laboratoires MOST et LCSC)
Adresse :

Nbr. de pages : 48 annexe(s) :

MOST : ORSTOM - BP 8006 - 97259 Fort-de-France - Martinique

Année de soutenance : 1994

LCSC : ORSTOM - BP 5045 - 34032 Montpellier cedex.

Responsable scientifique : Alain Albrecht et Christian Feller

Titre :

Erodibilité et dispersabilité de vertisols de la Martinique

Résumé : L'érodibilité et la dispersabilité de deux vertisols de la Martinique, distincts par leur garniture ionique et que nous avons nommés vertisol magnésio-sodique (V MgNa) et vertisol calcique (V Ca) ont été étudiées par l'intermédiaire de deux tests : un test de simulation de pluie au champ et un test de cinétique de désagrégation dans l'eau, en laboratoire. Cette étude a porté sur des sols sous forêt (F), prairie (P) et maraîchage (M) pour chaque vertisol. Les résultats montrent que : 1) Les teneurs en carbone du sol (horizon 0-5 cm) diminuent lors d'une mise en culture maraîchère, mais cette diminution est moins forte pour les vertisols calciques que pour les vertisols magnésio-sodiques ; 2) Les vertisols sous forêt et prairie, quelle que soit leur garniture ionique, ont une érodibilité et une dispersabilité nettement inférieures à celles des vertisols sous maraîchage : la matière organique a une influence positive sur la stabilité structurale des sols ; 3) L'effet de la garniture ionique s'exprime pour les situations où les teneurs en carbone sont faibles (cultures maraîchères) et se traduit par la formation dans les vertisols calciques d'agrégats stables de taille $>200 \mu\text{m}$. Ces agrégats persistent après 18 h d'agitation dans l'eau en laboratoire (la dispersabilité des vertisols calciques est moins élevée que celle des vertisols magnésio-sodiques) et sont massivement exportés (sur 1 m^2) par l'eau ruisselée pour des pluies très violentes. On suppose cependant que ces agrégats sont transportés sur une distance beaucoup plus courte que les éléments fins exportés majoritairement sur vertisol magnésio-sodique et que l'érodibilité des V Ca sous maraîchage est moins grande que celle des V MgNa à l'échelle du champ. Cela se traduit par des stocks organiques plus élevés pour les vertisols calciques, sur 0-5 cm. Ces différences de comportement physique sont mises en évidence pour deux vertisols sous maraîchage dont les écarts de teneurs en Ca^{2+} (7 cmole/kg) et Na^+ (3 cmole/kg) sont relativement faibles.

Abstract : the effects of organic matter and exchangeable cations on stability of 2 vertisols of Martinique, called in this study "vertisols magnésio-sodiques" (V MgNa) and "vertisols calciques" (V Ca), were investigated. An outside experiment and a laboratory test were applied on these soils under forest, artificial meadows and long-term cropping. The results are : 1) OM contents decrease under long-term cropping, but this decrease is less important in V Ca than in V MgNa. 2) All vertisols under forest or artificial meadows show less erodibility and dispersability than the ones under long-term cropping : high OM levels contribute to high stability of soils. 3) Effects of exchangeable cations appear when C levels are the weaker (long-term cropping) and lead to the formation in V Ca of stable aggregates, $>200 \mu\text{m}$, which prevents from dispersion and erosion (excepting very strong rainfall : 150 mm/h). We can suppose that erodibility of V Ca calculated for a 1 m^2 area is less important than the real erodibility of this soil at the field scale (aggregates are probably rapidly stopped). V MgNa, which shows higher erodibility, has higher lost of OM and so less carbone in the soil. This discrepancy in the comportment of the 2 vertisols appears even when differences in Ca^{2+} and Na^+ contents are quite small.

Mots clés :

vertisols, érodibilité, matière organique, cations échangeable, agrégation

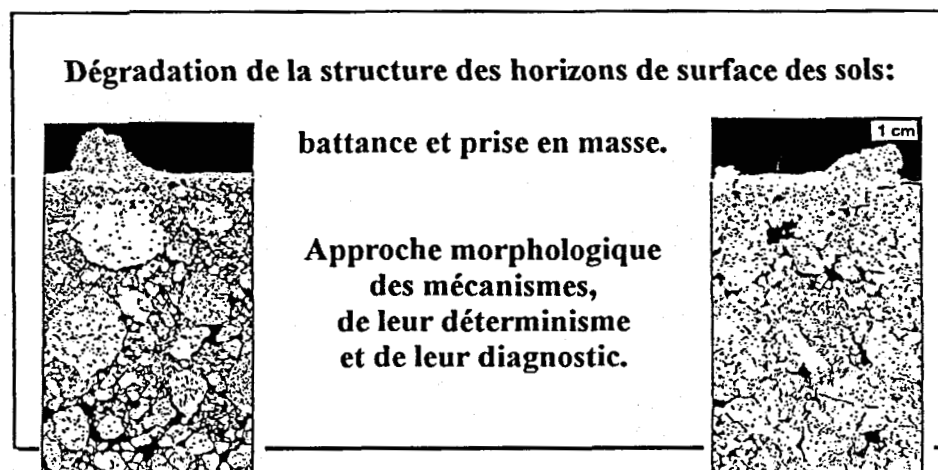
Diffusion

non limitée

limitée (préciser au verso)

La soutenance
de l'Habilitation à Diriger les Recherches

de Louis-Marie BRESSON



aura lieu le Lundi 17 Juillet 1995 à 14 heures

devant le jury composé de

Pr A. Mariotti,
Dr J. Boiffin, Pr R. Calvet, Pr A. Herbillon, Pr G. de Marsily, Pr J.C. Védý

au Laboratoire de Biogéochimie Isotopique
Université Pierre et Marie Curie
4, place Jussieu
Tour 26, 4ème étage, couloir 26-25.
(Salle des Conférences, pièce 05)

"DEGRADATION DE LA STRUCTURE DE SURFACE: MECANISMES, DETERMINISME ET DIAGNOSTIC"

La dégradation de la structure de surface des sols (et plus particulièrement la formation des croûtes de surface et la prise en masse des lits de semences), en diminuant l'infiltrabilité et en augmentant la cohésion, a des conséquences considérables tant sur le plan agronomique (mauvaise levée des cultures, diminution du stockage de l'eau dans le sol, difficultés de travail du sol), que sur le plan de l'environnement (ruissellement et son cortège de conséquences: érosion, pollution, inondation). Le choix d'une technique appropriée pour prévenir ou contrôler la dégradation nécessite une bonne connaissance des processus en cause. Or ceux-ci sont de nature différente selon le type de sol, les conditions climatiques et les pratiques culturales. C'est donc sur les mécanismes, leur déterminisme et leur diagnostic, qu'ont été centrées les recherches.

Dans l'approche qui a été suivie, l'analyse de la microstructure a joué un rôle important. En effet, les organisations microscopiques des croûtes de surface avaient toutes les chances d'être révélatrices des mécanismes de formation de ces dernières, et donc de fournir de bons critères de diagnostic. Par ailleurs, la microstructure contrôle largement les comportements physiques essentiels des croûtes, tels que l'infiltrabilité ou la résistance à la pénétration: par conséquent, sans pouvoir être substituée à des mesures physiques de ces comportements, sa caractérisation morphologique devait permettre d'en prédire les grands traits. Cela étant, un effort de quantification de la structure a été entrepris (scrutation gamma, analyse d'image), surtout pour l'étude de la prise en masse qui concerne l'ensemble du lit de semences et/ou de la couche labourée et non plus seulement les quelques millimètres superficiels. Grâce à cette quantification, les déformations peuvent être mises en relation avec la contrainte effective, ce qui permet de préciser le rôle des différents types de contraintes dans l'effondrement structural.

Les mécanismes de formation de croûtes structurales

Grâce à l'observation microscopique détaillée et systématique de la formation de croûtes de surface, tant au champ qu'au laboratoire, on a pu mettre en évidence l'existence d'un certain nombre de mécanismes de formation des croûtes de surface qui s'ajoutent à l'éclatement étudié depuis longtemps et à la *microfissuration* analysée plus récemment par Le Bissonnais (1988, 1990) et Dexter (1988): la *coalescence des agrégats*, l'*illuviation des limons* et l'*agglomération*. L'analyse de ces différents mécanismes montre que le rôle de la dispersion physico-chimique dans la formation des croûtes de surface a été surévalué, y compris en milieu sodique.

Un modèle général de formation des croûtes

Entreprise avec C. Valentin (ORSTOM), la comparaison de près de 500 croûtes de surface développées dans des milieux très différents (tempérés, arides et intertropicaux) a permis d'élaborer une première synthèse de la morphologie, la genèse et la classification des croûtes de surface: (1) croûtes structurales de désagrégation, de coalescence, d'illuviation, d'agglomération, de tamisage, (2) croûtes de dépôt: de ruissellement, de sédimentation et (3) croûtes d'érosion. Pour chaque type sont précisés le mécanisme principal, son déterminisme ainsi que des critères diagnostics macroscopiques et microscopiques. Enfin, chaque type est replacé dans une séquence spatio-temporelle.

Cette typologie, qui a été testée par l'analyse de quelque 70 références de la littérature, permet d'identifier le type de croûte observé et de diagnostiquer les mécanismes de sa genèse: il fournit donc par là-même des lignes directrices pour le choix de méthodes pertinentes de contrôle de la dégradation de surface. Le modèle permet aussi d'améliorer la prédiction de l'infiltrabilité et donc l'estimation des risques de déclenchement de l'érosion.

Les différentes phases de la prise en masse

L'humectation apparaît comme la phase déterminante de la prise en masse ("hardsetting"). Même si elle ne se traduit pas toujours par un effondrement du lit de semences, elle produit d'importantes modifications structurales. La microstructure acquise lors de l'humectation, qui se caractérise par une grande continuité de la phase solide (absence de structure pédique) et une forte microporosité (vides de 20-50 µm), contrôle en effet le retrait à la dessiccation. Malgré la différence des mécanismes mis en jeu selon la structure initiale du lit de semences (coalescence ou agglomération), la similitude des microstructures acquises à l'issue de la prise en masse peut être reliée à la similitude des propriétés mécaniques (résistance en traction, cohésion, angle de frottement interne). Enfin, comme ces modifications structurales se traduisent par d'importants transferts de porosité, le suivi d'une caractéristique globale telle que la densité est insuffisant pour l'étude du phénomène, et une analyse microscopique fine est nécessaire.

Les facteurs de l'effondrement

Une humectation modérément rapide (remontée capillaire) entraîne une microfissuration qui, en réduisant la cohésion, augmente la coalescence. La dispersion physique, en revanche, se produit en cas de submersion rapide: elle induit le gonflement par création de microporosité, mais dans le cas d'un lit de semences bien structuré, les particules libérées colmatent les vides d'entassement et une forte densité en résulte donc. Sous pluie, il se forme une croûte de surface qui ralentit l'humectation et donc l'effondrement du lit de semences.

En plus de la redistribution éventuelle, sous l'action de la pesanteur, des particules et/ou fragments libérés par la désagrégation, trois types de contraintes tendent à accroître la densité du matériau lors de l'humectation: les forces capillaires, la pression de confinement qui se développe en profondeur, l'énergie cinétique de la pluie qui affecte la surface. L'analyse des relations entre effondrement et contrainte effective dans les différents traitements montre que le rôle de la contrainte effective (qui reste pourtant faible, <2 kPa) est plus important que celui de la réorganisation stérique par éclatement.

Deux thèmes prospectifs se dégagent de mes travaux:

(1) rhéologie des matériaux et (2) détachabilité des croûtes. Quatre programmes peuvent être proposés:

- Rôle des propriétés rhéologiques des matériaux sur la dégradation structurale. Il devra impliquer des spécialistes en rhéologie.

- Rôles respectifs des croûtes de surface et de la prise en masse dans les écoulements superficiels (Pays de Caux).

- Rôle de la matière organique exogène sur l'entraînement des pesticides par érosion.

- Etude de la détachabilité des croûtes et de son déterminisme. Il s'agit de contribuer aux modèles hydrologiques d'érosion diffuse sur les aspects relatifs à la nécessaire distinction entre détachement et transport.

DES NOUVELLES DE

Réseau d'information avant tout, *PARCOURS* est un réseau scientifique et technique centré sur un champ pluridisciplinaire : le pastoralisme.

Il a pour objectif de renforcer les relations entre tous les pastoralistes (chercheurs et acteurs du développement) travaillant dans les zones climatiques méditerranéennes et tropicales sèches. Il s'est doté d'un outil de communication périodique, *PARCOURS demain*, grâce auquel sont répercutées diverses informations (rencontres, présentations de projets, dossier thématiques, articles originaux ou inédits, connexions avec les autres réseaux,...) souvent peu accessibles sur le terrain. *PARCOURS* organise annuellement des rencontres à thèmes pour resserrer les liens entre pastoralistes de pays, régions, champs de compétences différents. Les actes de ces rencontres sont publiés quelques mois plus tard.

PARCOURS correspond pour plus des deux tiers de ses membres aux pays méditerranéens membres du CIHEAM, et notamment aux pays du Maghreb (45% de ses membres). Il accueille par ailleurs de nombreux collègues issus de la région du programme *Observatoire du Sahara et du Sahel* (OSS) : Afrique de l'Ouest, de l'Est et du Nord (65% des inscrits). Il est ouvert aux ressortissants de tous les pays où le pastoralisme constitue un enjeu important, ainsi qu'à leurs partenaires des pays occidentaux. Il regroupe des acteurs dans les domaines de la recherche et de l'enseignement (75%), du développement (61%), de la formation et de la vulgarisation (41%).

La structure du réseau :

- ✓ un groupe d'animation et de coordination : le secrétariat scientifique
- ✓ un groupe de collecte d'information
- ✓ un groupe de réflexion (rencontres thématiques)
- ✓ 850 membres, dont 170 institutions, dans plus de 60 pays

Le réseau *PARCOURS*, mis en place avec l'aide de l'OSS, constitue l'un des deux volets du programme pastoral de l'*Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier* (CIHEAM).

L'inscription au réseau est gratuite. Chaque membre reçoit, dès retour de sa fiche d'inscription, l'annuaire du réseau ainsi que toute publication, dont le bulletin périodique.

Sylvopastoralisme, agroforesterie, agroligniculture, voici quelques termes qui font partie d'un lexique d'anciens concepts remis au goût du jour, et dont la composante principale se nomme aménagement intégré. Action délicate certes, puisque, dans le cas du sylvopastoralisme qui nous préoccupe aujourd'hui, il s'agit d'intégrer au moins deux "ennemis" héréditaires, l'arbre et le ruminant domestique, la foresterie et le pastoralisme.

D'un point de vue technique, l'évaluation des ressources sylvopastorales et l'acquisition de connaissances biotechniques, aux différents niveaux d'échelle spatio-temporelle, sont essentielles. Par ailleurs, en voulant concilier les différents acteurs du système sylvopastoral, on se heurte à des problèmes de durabilité du système, de pérennisation de ses ressources, qu'il est urgent de résoudre.

Le pâturage des formations boisées est parfois utilisé comme un outil de gestion, voire simplement d'entretien des forêts ; en aménagement sylvopastoral, il devient un outil de production incontournable, qui ne pose pas que des problèmes techniques, mais renvoie aussi et surtout à des difficultés plus complexes d'équilibre socio-écologique. Ainsi, l'aménagement intégré doit passer par l'acquisition de connaissances sur les pratiques et les modes de gestion dits traditionnels. Sans cette phase d'enquête, le risque est grand de passer à côté de solutions évidentes, ou au contraire de "réinventer la poudre", et dans tous les cas, de rater une action de développement.

L'ensemble de ces étapes (évaluation des ressources, acquisition de connaissances biotechniques, pérennisation du système, connaissance des pratiques) mène au développement participatif. Mais quel est-il réellement, ce fameux développement participatif ? comment y définit-on les relations, les rapports de force et de pouvoir, entre l'administratif, le technicien de terrain, le forestier et l'éleveur ? à quoi ressemble l'information qui circule entre le planificateur et la population concernée ? les objectifs et les contraintes d'un éleveur peuvent-ils être compatibles avec ceux dictés par les impératifs économiques d'un état ? A la lumière des communications exposées au cours de ces journées, les débats et discussions doivent apporter à ces questions quelques éléments de réponse.



PARCOURS
DEMAIN

Numéro spécial juin 1995

Editeurs scientifiques : Alain Bourbouze, Bruno Msika








Réalisation : ASTER 215 rue Auguste Cardon 84140 Montfavet

Impression : CSR Domaine du Rouquet BP 13, 34981 St Gély du Fesc Cedex

Tirage 800 exemplaires
ISSN 1164-4052 Dépôt légal à parution

CIHEAM / IAM-M / Réseau PARCOURS
3191 route de Mende BP 5056, 34033 Montpellier Cedex 1 (France)
tél.33/67 04 60 00 Fax.33/67 54 25 27

L'ANAE intervient dans cinq régions prioritaires définies par le PAE qui sont caractérisées par une forte densité de population, un haut potentiel agricole et un impact important de l'érosion. Il s'agit des régions suivantes :

| | | | |
|---|-----------|---|--------------|
|  | Toliara |  | Lac Alaotra |
|  | Antalaha |  | Antananarivo |
|  | Manakara |  | Fianarantsoa |
|  | Mahajanga | | |

Nos adresses :

Association Nationale d'Actions
Environnementales
A.N.A.E.

Siège:

Lot IVS 45, Antanimena. BP 5092
Tél 322 89 - Fax : 227-20
101 - Antananarivo

Antenne Régionale de Mahajanga :

15, angle protestant
Avenue de Mahabibo
401 Mahajanga

Antenne Régionale de Manakara :

Ambalafary
Manakarabe
BP 74 - Tél. : 210 66
316 - Manakara

Antenne Régionale de Fianarantsoa :

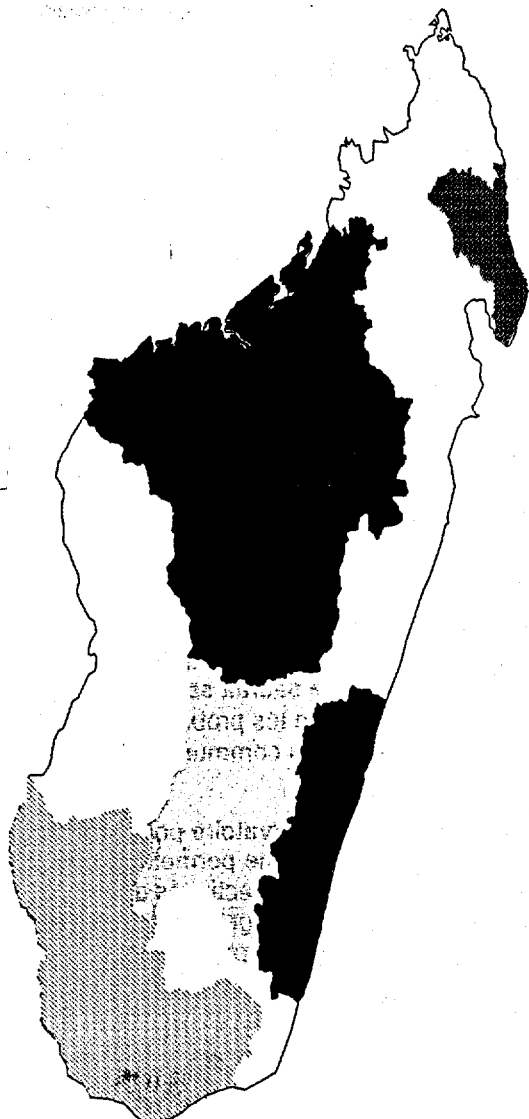
Villa 'NTSOA'
Mahamanina
B.P : 1106
301 - Fianarantsoa

Association Nationale d'Actions Environnementales



ANAE

Madagascar



L'ANAE en bref

L'Association Nationale d'Actions Environnementales (ANAE) a été créée en 1990. Elle est une association de droit privé malgache à but non lucratif. Son Conseil d'Administration est composé des membres fondateurs, dont des personnes physiques, des représentants d'Organismes Non-Gouvernementaux, de l'Administration et du secteur privé.

La mission de l'ANAE

L'ANAE veut contribuer à un processus de prise de conscience et au développement et transfert de connaissances techniques et organisationnelles qui permettront aux populations rurales de maintenir et améliorer leur capacité productive tout en protégeant leur environnement et en sauvegardant leur facteur de production le plus menacé,

Le Plan d'Action Environnementale (PAE)

L'Action de l'ANAE s'insère dans ce vaste programme national étalé sur 15 ans auquel participent plusieurs services gouvernementaux et organismes privés. Ce programme est en grande partie financé par un consortium de bailleurs de fonds internationaux sous l'égide de la Banque Mondiale.

Dans ce cadre, l'ANAE est chargée de gérer des fonds destinés à financer la préparation, la réalisation et l'évaluation des mini-projets de conservation des sols et de développement rural dans des zones définies comme prioritaires par le PAE.

Les mini-projets

Les mini-projets sont des actions portées qui répondent à des propositions de groupements ruraux qui se sont organisés pour résoudre un problème commun ou des problèmes individuels ensemble.

Ces groupements paysans participent activement dans la recherche des solutions; ils ont la responsabilité de la réalisation de l'action et y contribuent d'une façon effective avec leurs ressources propres.

Selon les définitions du PAE, les mini-projets doivent, par ordre de priorité, concerner les types d'actions suivantes :

- La gestion des bassins versants
- Les infrastructures productives
- Les appuis à la production
- Les programmes sociaux

Il est donc entendu que toute action de développement susceptible d'être appuyée par l'ANAE doit directement ou indirectement contribuer à l'objectif de protection de l'environnement rural ou bien se situer dans le cadre d'un programme qui débouchera sur des actions précises dans ce sens.

La stratégie

L'ANAE estime que la protection de l'environnement rural passe par le changement des pratiques culturelles à grande échelle. Cet objectif ne peut être atteint, et à un coût justifiable, que si ce changement est pris en charge par les paysans eux-mêmes.

Pour cette raison, l'ANAE veut contribuer à promouvoir des approches ascendantes, reposant sur la dynamique et l'initiative propre des paysans. Elle favorise des démarches participatives et des solutions à faibles apports extérieurs qui pourront être facilement adoptées une fois qu'elles ont démontré leur validité sur le terrain. Elle met l'accent sur l'association des 2 concepts de la production et de conservation.

Le mode de travail

L'ANAE, de par ses attributions, ne mène que des activités de gestion de financement et de passation de contrat de prestations de service. La réalisation des activités concrètes sur terrain est confiée à des ONGs, services techniques, PME... régionaux et locaux ('opérateurs') qui, à leur tour,

appuyent techniquement les groupements paysans.

L'ANAE ne soutient que des mini-projets compatibles avec les objectifs du PAE et réserve sa collaboration à des opérateurs qui adhèrent aux éléments d'approche énoncés ci-dessus. Elle soumet les prestations des opérateurs et l'impact de leur travail sur terrain à un suivi/évaluation technique et financier rigoureux. Pour ce faire, elle dispose de services correspondants propres qui sont décentralisés dans les différentes régions d'intervention.

Dans le cadre de la collaboration avec ses partenaires opérationnels sur le terrain, l'ANAE veut contribuer à l'émergence et à la consolidation d'un réseau local d'ONG de développement rural techniquement et institutionnellement performantes.

Le défi à relever

La propension ancestrale du paysan Malgache pour la riziculture ainsi que la démographie galopante ont entraîné une exploitation irrationnelle des versants.

Jadis espaces marginaux, les versants des plateaux centraux et de la falaise orientale sont actuellement soumis à une perte intense en terre végétale, faute de techniques culturelles anti-érosives adéquates.

La mise en oeuvre d'un programme de conservation des sols et diffusant des solutions techniques valables ne saurait se faire avec succès sans prendre en compte les problèmes et besoins prioritaires de survie des communautés rurales ou forestières concernées.

Ainsi toute mesure conservatoire pour être pérenne doit privilégier une approche permettant une prise en charge progressive des activités de développement local et de gestion durable des ressources naturelles par la population

ANNONCES DIVERSES

Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)

ISSN 1020-0619

BULLETIN
PÉDOLOGIQUE
DE LA FAO

70

par
Eric Roose
Directeur de recherche en pédologie
Centre ORSTOM
Montpellier, France

Service des sols — ressources, aménagement et conservation
Division de la mise en valeur des terres et des eaux, FAO



566

Organisation
des
Nations
Unies
pour
l'alimentation
et
l'agriculture



Table des matières

| | |
|--|-----|
| INTRODUCTION | 1 |
| PREMIERE PARTIE : LES STRATEGIES DE LUTTE ANTIEROSIVE ET LE CONCEPT DE LA GCS | 11 |
| 1. DEFINITIONS : LES MOTS CACHENT UNE PHILOSOPHIE | 13 |
| 2. EVOLUTION HISTORIQUE DES STRATEGIES DE LUTTE ANTIEROSIVE | 23 |
| 3. QUELQUES ASPECTS SOCIO-ECONOMIQUES DE L'EROSION | 45 |
| DEUXIEME PARTIE : LA LUTTE ANTIEROSIVE EN FONCTION DES DIFFERENTS PROCESSUS D'EROSION | 83 |
| 4. L'EROSION MECANIQUE SECHE | 85 |
| 5. L'EROSION EN NAPPE OU LE STADE INITIAL DE L'EROSION HYDRIQUE | 89 |
| 6. L'EROSION LINEAIRE | 219 |
| 7. L'EROSION EN MASSE | 237 |
| 8. L'EROSION EOLIENNE | 245 |
| TROISIEME PARTIE : ETUDES DE CAS | 271 |
| 9. DIVERSITE DES STRATEGIES DE LUTTE ANTIEROSIVE EN AFRIQUE OCCIDENTALE ; DE LA FORET SUBEQUATORIALE AUX SAVANES SOUDANO-SAHELIENNES (E.Roose) | 275 |
| 10. EVOLUTION DU BOCAGE BAMILEKE (J.M. Fotsing) | 293 |
| 11. L'AGROFORESTERIE, LA FERTILISATION MINERALE ET LA GCS AU RWANDA (E.Roose et Ndayizigiye Fr.) | 309 |
| 12. UNE NOUVELLE APPROCHE DE LUTTE ANTIEROSIVE EN HAITI (B. Smolikowski) | 327 |
| 13. L'EROSION AGRICOLE DANS LES ANDES DE L'EQUATEUR (G. De Noni, M. Viennot, G. Trujillo) | 353 |
| 14. MONTAGNE MEDITERRANEENNE EN ALGERIE (E.Roose et Arabi M.) | 363 |
| 15. LE PAYS DE CAUX; REGION TEMPEREE DE GRANDE CULTURE DU NORD-OUEST DE LA FRANCE (J.F. Ouvry) | 371 |

PERSPECTIVES

Publication à demander à la FAO, département AGLS, viale delle Terme di Caracalla,
00100 Rome, Italie.

NOUVEAUTÉ

L'homme
et la sécheresse

Monique Mainguet

MASSON géographie

L'HOMME ET LA SÉCHERESSE

Monique MAINGUET

Collection Géographie
1995, 352 pages, 39 illustrations, 160 F*
ISBN 2-225-84762-2

Les milieux secs, dont les déserts sont les aires les plus arides, occupent un tiers des terres émergées — 35 à 37 % de la planète (45 millions de km²) — et sont habités par 15 à 20 % de la population mondiale. Azonaux, ils se trouvent aux latitudes polaires, tempérées, subtropicales, tropicales et même équatoriales; par leurs ressources limitées, ils sont victimes d'un handicap fondamental et d'une vulnérabilité spécifique, notamment au regard du développement durable.

L'aridité reflète un déficit pluviométrique permanent, les sécheresses un déficit temporaire par rapport à des précipitations normales et des besoins humains croissants. Les contraintes imposées par ces données climatiques sont autant de défis à relever. Maîtriser l'aridité a historiquement conduit l'homme à faire preuve d'une féconde capacité d'adaptation par l'invention des techniques de gestion de l'eau: il n'a survécu dans les déserts que par son aptitude, selon ses besoins, à augmenter la quantité d'eau disponible. Faute de savoir combattre les sécheresses, il s'efforce de lutter contre leurs effets mais cette lutte, si coûteuse, est-elle réaliste à l'échelle de la planète?

Les écosystèmes secs ont vu naître le nomadisme — mode de vie millénaire le plus souple en réponse à l'irrégularité et à la pauvreté des précipitations —, les premiers aménagements liés à l'eau ont été les foyers des grandes «sociétés hydrauliques», de l'irrigation, des grands barrages. C'est autour ou en fonction de l'eau qu'émergent les concepts de stratification sociale, de hiérarchie politique, d'État; l'épanouissement puis l'effondrement des civilisations, les vagues migratoires, les conquêtes sont si bien synchronisés avec les changements climatiques qu'il ne peut y avoir simple coïncidence.

Toutes les tentatives de vie de l'homme dans les milieux secs ont contribué à l'élever: n'est-ce pas dans ces milieux qu'ont pris forme le monothéisme et la philosophie d'un progrès continu, chaque génération dépassant la précédente? Mais le XX^e siècle n'est-il pas celui d'une moindre certitude, n'a-t-il pas connu l'apogée d'une phase de développement et l'amorce d'un déclin? Des réalisations, par leur gigantisme et l'ampleur de leurs conséquences parfois désastreuses, ne témoignent-elles pas d'une sorte de dérapage du génie humain et ne sont-elles pas le prélude d'une inquiétante décadence?

Cohabiter avec l'aridité est possible mais un autre écueil, celui d'une natalité dépassante, parfois submergeante, ne menace-t-il pas?

* prix public TTC au 01.05.95

MASSON 

568

Collection géographie

L'homme et la sécheresse

par

Monique MAINGUET

MASSON

Paris Milan Barcelone

1995

Conclusion générale

Définition et insertion géographique des milieux secs, aridité, sécheresse, sols et végétation ont été l'objet de la première partie. La seconde a été consacrée à l'eau, sa rareté et son pouvoir érosif conduisant à constater que cette ressource fondamentale est la contrainte numéro un, et au vent, contrainte numéro deux. A été précisé, en outre, le haut degré de sensibilité des milieux secs, instables, à plus grands risques écologiques et à potentialités agricoles inférieures à celles de la plupart des autres zones climatiques; ils apparaissent plus exigeants que les milieux tempérés et peut-être tropicaux humides et, face au développement durable, plus vulnérables. Or, paradoxe, les régions sèches sont attirantes et ont de ce fait des densités élevées de population. L'équilibre entre ces potentialités basses et l'accroissement des populations s'avère difficile à préserver : une série d'années sèches suffit pour que se produise une rupture d'équilibre entre la survie des sociétés, l'exploitation des ressources naturelles et la conservation du milieu.

Une incomparable créativité a donc été nécessaire pour permettre à l'homme d'humaniser le désert et d'y vivre avec un minimum de bien-être. Ses différentes réponses à l'aridité et aux sécheresses, l'ingéniosité qu'il a déployée pour s'en accommoder et cohabiter plus efficacement avec elles, ont été l'objet de la troisième partie.

Cette analyse a suggéré que le climat et les deux paramètres-clefs retenus, l'aridité et la sécheresse, ont pu commander à la fois l'évolution de l'homme archaïque à l'homme moderne — homme des steppes — et l'histoire des civilisations, l'invention de l'agriculture, c'est-à-dire l'éclosion de la révolution néolithique et de ses deux innovations les plus importantes de l'histoire de l'humanité : le mode de vie pastoral d'Abel, le mode de vie agricole de Caïn, déjà antagonistes. De ce second mode de vie ont éclos les nouveautés agraires de gestion de l'eau, l'irrigation et, après des millénaires d'éparpillement tribal, une civilisation urbaine avec l'écriture et surtout la mesure du temps par la prise de conscience des rythmes saisonniers : la crue porteuse d'eau et l'étiage privé d'eau.

Le bilan de cette coexistence historique de l'homme avec l'aridité conduit, dans la quatrième partie, au constat de déclin et à de nécessaires perspectives nouvelles d'équilibre entre l'homme et son environnement climatique des milieux secs. L'homme ne peut empêcher les sécheresses, qui sont des événements survenant à des échelles de temps différentes plusieurs fois par siècle ou par millénaire car il n'en connaît ni les causes ni les rythmes mais sait lutter contre leurs effets, c'est-à-dire prévoir leurs conséquences et s'y adapter par une approche améliorée des mécanismes et du fonctionnement des systèmes écologiques.

Soumis à des contraintes naturelles liées au climat, conjuguées avec des contraintes humaines, les milieux secs possèdent cependant des capacités de réhabilitation, après les crises de sécheresses, qui apparaissent étonnantes et que les scientifiques découvrent à présent.

Cohabiter avec l'aridité est techniquement possible de nos jours, mais le handicap majeur est une « natalité dépassante, parfois submergeante [...] ». Le fond des Nations unies pour la population (*United Nations Population Fund*) dans son rapport sur l'état de la population mondiale (*State of the World Population*, 1992) estime en effet que :

- la population mondiale doit atteindre 6 milliards en 1998;
- la croissance est de 3 naissances par seconde, plus de 250 000 chaque jour;
- au début de la décennie 1990 l'augmentation annuelle était de 93 millions; à la fin de la décennie elle sera de 100 millions;
- 95 % de cette croissance reviennent aux pays en voie de développement, dont font partie les milieux secs, à l'exclusion de ceux de l'Australie et des États-Unis;
- presque la moitié de la population des pays en voie de développement aura moins de 25 ans en l'an 2000;
- le temps pris pour une croissance d'un milliard de personnes a décrû :
 - un siècle (de 1830 à 1930) pour passer de 1 à 2 milliards de personnes,
 - 30 ans (entre 1930 et 1960) pour passer de 2 à 3 milliards,
 - 15 ans (1960 à 1975) pour passer de 4 à 5 milliards,
 - 12 ans (1975 à 1987) pour passer de 5 à 6 milliards.

- la population des pays en développement a plus que doublé depuis 55 ans; augmentant de 1,7 milliard en 1930 à 4,1 milliards en 1990, elle atteindra 5 milliards sur un total mondial de 6,21 milliards en 2001, alors que la population des pays dits développés (Europe dont l'ex-URSS, l'Amérique du Nord, le Japon, l'Australie, la Nouvelle-Zélande) passait de 832 millions en 1950 à 1,5 milliard en 1992, avec un pronostic de 1,26 milliard pour 2001;

- entre 2020 et 2025, l'augmentation de la population de ces derniers pays ne s'élèvera que de 3 % par rapport à celle de la population mondiale et sera de moins de 5 % de la population mondiale. Cette croissance pèse sur les ressources et constitue une menace pour l'environnement (fig. 37);

- corollaire de cette croissance : la migration vers les villes, les Nations unies estimant que, vers l'an 2000, 40 % de la population d'Afrique et d'Asie (hormis le Japon), 76 % d'Amérique latine seront urbains. Mais, dans les pays secs, où ce glissement vers les aires urbaines s'est traduit par une extension anarchique des métropoles, un sous-équipement en infrastructures et une augmentation des besoins en eau — donc moins d'eau disponible par habitant, avec les conséquences sanitaires et d'hygiène —, les aires rurales soulagées par cette désertion au profit des villes verront-elles diminuer leur dégradation?

La lutte contre les effets du binôme aridité-sécheresse et la surexploitation du milieu sont les deux faces d'une même question vis-à-vis de laquelle Hillel (1991) différencie deux positions, l'une pessimiste, l'autre optimiste.

Pessimiste est de faire croire que :

- la tendance est à une aridification du climat;
- l'agriculture dans les écosystèmes secs a atteint un seuil de production au-delà duquel il n'y a pas de développement durable possible;

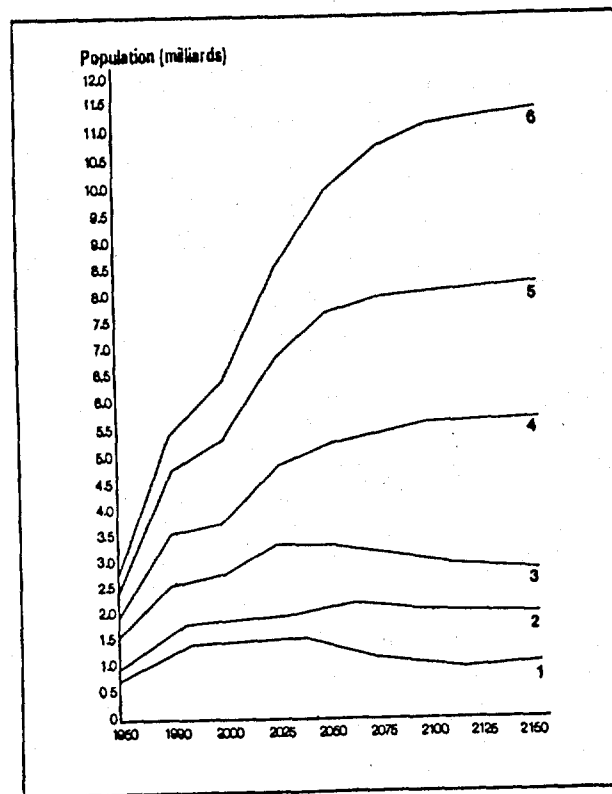


FIG. 37. — Projections démographiques par région (variante moyenne) (d'après la Lettre de l'Unicef n° 37, 1994).

1 : pays développés; 2 : Amérique latine; 3 : Chine; 4 : Inde; 5 : autres pays d'Asie; 6 : Afrique.

- la production alimentaire ne peut que décroître en liaison avec la dégradation des sols;
- les programmes majeurs de développement ont échoué — ils sont grands consommateurs de terres, d'eau et de biomasse dans des aires qui en sont pauvres;
- la pollution et la dégradation environnementale sont les conséquences inévitables du développement et de l'augmentation démographique;
- la lutte contre l'augmentation démographique ne peut être jugulée, car il s'agit d'une composante inhérente à l'humanité;
- la rareté de l'énergie et son coût vont mettre hors de la portée des petits agriculteurs les pesticides, les engrais, l'eau souterraine, le transport mécanique;
- que l'humanité, enfin, est condamnée à vivre à un niveau de qualité moindre et de moindre sécurité.

Par opposition, la vision optimiste (utopiste pour les pessimistes) considère que :

- l'augmentation rapide de la population est créatrice de ressources humaines et de forces productives; elle serait, selon un récent courant de pensée, facteur nécessaire de l'intensification de l'agriculture mais une autre condition s'impose : la bonne gestion des terres, elle-même indissolublement liée au degré de participation des paysans et des éleveurs aux processus de décision;

- l'augmentation de la population et celle de l'exploitation des ressources naturelles ont conduit à la prise de conscience des limites de ces ressources naturelles, et des limites des civilisations dans leur utilisation;

- l'association de préoccupations écologiques à la définition des politiques de coopération et de développement;

- ces nouvelles prises de conscience — progrès majeur du XX^e siècle — ont conduit à de nouveaux concepts d'aménagement où l'interdépendance entre le développement et la conservation de l'environnement est prioritaire : nous savons à présent que nous devons préserver les ressources de nos descendants;

- les milieux secs sont soumis à des contraintes conjuguées, naturelles liées au climat, et humaines mais possèdent aussi d'encourageantes capacités de réhabilitation après les sécheresses;

- la fécondité dans le monde baisse depuis les années 1960, tendance qu'amélioreront l'éducation et les progrès économiques;

- même si le potentiel de production n'est pas illimité, des progrès dans les pratiques pourront encore l'augmenter, la pénurie résultant plus du mauvais emploi des ressources et d'un mauvais comportement vis-à-vis d'elles que du manque de ressources proprement dit;

- la valeur des pratiques paysannes et leur capacité d'adaptation aux nouvelles conditions écologiques et économiques seront décisives.

La plupart des pays secs en voie de développement d'Asie et du Moyen-Orient ont déjà des structures de recherche et d'assistance technique; leur problème majeur est l'intégration des résultats de leurs activités dans le système de production, essentiellement de la petite exploitation, de relier la recherche aux petits producteurs. En Afrique la situation exige «de valoriser au mieux les initiatives paysannes dans le sens d'une sécurisation reproductible» (Marty, 1989) et d'organiser, dès la conception des projets, une concertation plus permanente entre l'utilisateur des terres et les aménagés.

Avons-nous réussi dans cet ouvrage, qui se situe à l'intersection de la géographie-science de l'environnement et de la géographie-science humaine, à montrer l'existence d'une géographie à dimension culturelle commandée par des données climatiques tyranniques, l'aridité et la sécheresse et à accrédi-ter l'idée que l'histoire est, dans ce cadre, un des outils de l'analyse géographique?

Jan de Graaff

Soil conservation and sustainable land use

An economic approach

DEVELOPMENT ORIENTED RESEARCH IN AGRICULTURE

ROYAL TROPICAL INSTITUTE - THE NETHERLANDS

572

| | | | |
|--|-----------|--|------------|
| Preface | 9 | 5 Quantifying natural resource utilization | 96 |
| Acknowledgements | 11 | Natural resources and economics | 96 |
| Introduction | 13 | Assessing land degradation | 100 |
| Land degradation and soil erosion | 14 | Monitoring at watershed, project and farm level | 107 |
| 1 Land degradation | 19 | Assessing sustainability | 114 |
| Extent of land degradation | 22 | 6 Economic evaluation of conservation | 117 |
| Origins of land degradation | 25 | Cost-benefit analysis: potential and limitations | 120 |
| Consequences | 28 | Valuation techniques for conservation projects | 128 |
| Development and degradation in 20 developing countries | 30 | Economic evaluation methods other than CBA | 130 |
| 2 Actors in sustainable land use | 41 | 7 Examples of the evaluation of soil conservation measures | 137 |
| Other actors | 47 | Practical applications with on-site benefits | 138 |
| Social and economic factors | 52 | Practical applications with downstream benefits | 143 |
| Land user perceptions about erosion | 58 | Practical applications of multicriteria analysis | 147 |
| 3 Soil and water conservation | 61 | 8 The farmer and conservation | 153 |
| Conservation strategies and policies | 62 | Farm households and decision making | 156 |
| Conservation in humid steep zones | 67 | Farm household patterns | 161 |
| Conservation in dry zones | 72 | Incentives for conservation | 167 |
| The cost of conservation measures for farmers | 76 | Farm household pattern analysis as an integral part of watershed project planning | 172 |
| 4 The watershed development approach | 81 | Definitions | 177 |
| Land degradation and water resources infrastructure | 81 | References | 179 |
| Watershed management or watershed development? | 87 | About the author | 191 |
| The watershed approach in context | 91 | | |



PAYSANS D'AFRIQUE NOIRE - H. Dupriez

2ème édition, 1982, 256 p., ISBN 2-87105-002-3, **FB 490** (FF 82 - £ 9,7 - DM 25 - \$ US 16).

Les vues d'un agronome-économiste sur les pratiques du "développement rural" en Afrique noire.

AGRICULTURE TROPICALE EN MILIEU PAYSAN AFRICAIN - H. Dupriez et Ph. De Leener

2ème édition, 1986, 282 p., ISBN 2-87105-000-7, **FB 770** (FF 129 - £ 15,3 - DM 39 - \$ US 24).

Un livre abondamment illustré, consacré à l'agriculture paysanne, destiné aux agriculteurs, aux élèves, aux cadres ruraux et à tous ceux qui s'intéressent au milieu agricole.

EAU ET TERRES EN FUITE, métiers de l'eau du Sahel - J.-L. Chleq et H. Dupriez

1984, 128 p., ISBN 2-87105-001-5, **FB 530** (FF 89 - £ 10,5 - DM 27 - \$ US 17).

Divers métiers de l'eau pratiqués dans le cadre villageois : lutte contre l'érosion, micro-barrages, puits, forages, pompes, retenues de surface (texte illustré).

LANGUE FRANCAISE ET AGRICULTURE TROPICALE - F. Tsoungui

1985, 193 p., ISBN 2-85319-145-1, ISBN 2-87105-003-1, **FB 650** (FF 109 - £ 12,9 - DM 33 - \$ US 21).

Un outil d'apprentissage de la langue française se basant sur les textes du livre "Agriculture tropicale en milieu paysan africain". Coédité avec le CILF (Conseil International de la Langue Française).

ECOCULTURES D'AFRIQUE (Shifting Cultivation in Africa) - P. de Schlippé

1986, 201 p., ISBN 2-87105-004-X, **FB 790** (FF 132 - £ 15,6 - DM 40 - \$ US 25). Traduction et adaptation.

Un peuple, un milieu, une agriculture. L'auteur fait une analyse fouillée de la relation qui lie les Azande à leur terroir (aux confins du Zaïre, du Soudan et de la République Centrafricaine).

JARDINS ET VERGERS D'AFRIQUE - H. Dupriez et Ph. De Leener

1987, 354 p., ISBN 2-87105-005-8, **FB 770** (FF 129 - £ 15,3 - DM 39 - \$ US 24).

Un manuel pratique consacré aux cultures maraîchères, fruitières et condimentaires propres à l'Afrique tropicale.

LES CHEMINS DE L'EAU : ruissellement, irrigation, drainage (manuel tropical) - H. Dupriez et Ph. De Leener

1990, 380 p., ISBN 2-87105-009-X, **FB 950** (FF 159 - £ 18,8 - DM 48 - \$ US 30).

Ce manuel, découpé en 62 leçons, traite dans un langage simple de tous les problèmes liés à l'eau agricole en régions tropicales. Il contient plus de 600 illustrations sous forme de figures, de tableaux et de photos, ainsi qu'un lexique général.

DIOBASS : LES PAYSANS ET LEURS TERROIRS - P. Jacolin, H. Dupriez, Pape Maïssa Fall, J. Ndione et M. Sow

1991, 161 p., ISBN 2-87105-010-4. Coédition ENDA, FONGS, Terres et Vie et CTA, **FB 465** (FF 78 - £ 9,2 - DM 24 - \$ US 15).

Un guide destiné aux organisations rurales et aux agents de développement. Une démarche paysanne en vue de cerner les problèmes de terroirs et leur évolution. Des exemples pratiques.

ARBRES ET AGRICULTURES MULTIETAGEES D'AFRIQUE - H. Dupriez et Ph. De Leener

1993, 280 p., 386 illustr., couleurs, ISBN 2-87105-012-0 et 92-90811-005. Coédition CTA et Terres et Vie, **FB 670** (FF 112 - £ 13,3 - DM 33 - \$ US 21).

Une approche "intégrée" du rôle des arbres sur les plans de l'écologie, de la production, de la fertilisation, de l'économie. Les différents étages d'un champ multiétagé doivent être gérés au bénéfice des économies domestiques ou commerciales, féminines ou masculines, individuelles ou collectives.

English-Language Editions in association with Macmillan Publishers and CTA

AGRICULTURE IN AFRICAN RURAL COMMUNITIES - H. Dupriez and Ph. De Leener

1988, 294 pp, ISBN 0-333-44595-3, ISBN 2-87105-006-6, **FB 700** (FF 117 - £ 13,9 - DM 35 - \$ US 22).

An illustrated book on agriculture in African rural communities, designed for use by small farmers, students, rural cadres and, in general, those interested in crop husbandry.

VANISHING LAND AND WATER. Soil and water conservation in dry lands - J.-L. Chleq and H. Dupriez

1988, 117 pp, ISBN 0-333-44597-X, ISBN 2-87105-007-4, **FB 430** (FF 72 - £ 8,5 - DM 22 - \$ US 14).

An illustrated book on water management techniques and crafts at village level : fight against erosion, small dams, wells, bore holes, pumps, surface water storage.

AFRICAN GARDENS AND ORCHARDS, growing vegetables and fruits - H. Dupriez and Ph. De Leener

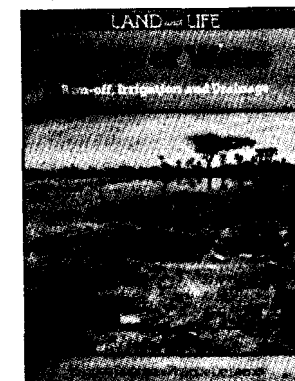
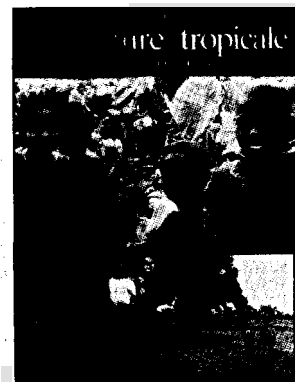
1989, 333 pp, ISBN 0-333-49076-2, ISBN 2-87105-008-2, **FB 770** (FF 129 - £ 15,3 - DM 39 - \$ US 24).

A manual on growing fruits, vegetables and condiment plants in tropical Africa.

WAYS OF WATER : run-off, irrigation and drainage (tropical handbook) - H. Dupriez and Ph. De Leener

1992, 382 pp, ISBN 0-333-57078-2, ISBN 2-87105-011-2, **FB 890** (FF 149 - £ 17,6 - DM 45 - \$ US 28).

Divided into 62 lessons and written in a clear style, this handbook covers all aspects of agricultural water in tropical regions. It contains more than 600 illustrations in the form of photographs, drawings and tables, as well as a general index.



SÉCHERESSE

VOLUME 6
NUMÉRO 1
P. 3 à 158
MARS 1995

Les sécheresses de par le monde

ÉDITORIAUX

Émile Derlin Zinsou et André Kergreis

MONDE

Le monde manquera-t-il bientôt d'eau ?
Des déserts sur les océans ?

AMÉRIQUE DU SUD ET CENTRALE

Les sécheresses de la région nordeste du Brésil
La diagonale aride argentine
L'aridité sur l'Altiplano bolivien
Les sécheresses au Mexique

MOYEN-ORIENT

Bilan d'eau d'Israël
Le Yémen aride

AFRIQUE

La sécheresse vue par les enfants de Mauritanie
Les sécheresses en Éthiopie et dans l'est de l'Afrique
La sécheresse en Afrique de l'Ouest non sahélienne
Fluctuations pluviométriques au Niger depuis 1905
Précipitations et écoulements en Afrique de l'Ouest et centrale
Sécheresse et eaux potables à Madagascar
Sécheresse et mangroves au Sénégal et en Gambie

ASIE-AUSTRALIE

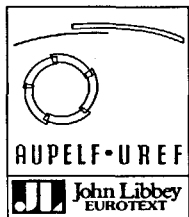
La sécheresse en Australie et le pastoralisme
Aridité et sécheresses dans la région aralo-caspienne
Sécheresse, aridité et désertification en Inde

**Numéro
exceptionnel
5^e anniversaire**

ISSN-1147-7806



Prix au numéro :
140 FF pays du Nord
70 FF pays du Sud



A PARAÎTRE

L'HOMME PEUT-IL REFAIRE CE QU'IL A DÉFAIT ?

R. PONTANIER, N. AKRIMI,
J. ARONSON, E. LE FLOC'H, A. M'HIRI

*Série Colloques et Congrès
Science et changements planétaires/Sécheresse*

Un volume broché
180 F pays du Nord, 90 F pays du Sud

Du 14 au 19 novembre 1994

s'est tenu en Tunisie
un congrès international sur le thème

**« Restauration-réhabilitation
des terres dégradées
des zones arides et semi-arides »**



Intitulée « **L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ?** », cette manifestation a rassemblé, pendant cinq jours, cent quatre-vingts participants (universitaires, chercheurs,

décideurs, techniciens...), originaires de vingt-six pays, de quatre continents.

L'essentiel des thèmes débattus au cours de ce congrès est présenté dans cet ouvrage sous la forme d'une trentaine de présentations, concernant la reconstruction des systèmes écologiques dégradés par anthropisation et des paysages ruraux désorganisés. Celles-ci traitent des concepts, des contraintes imposées par la spécificité des biomes arides lors des actions de reconstruction. Au travers d'expériences heureuses ou malheureuses, ces contributions démontrent la nécessité d'asseoir l'action sur des bases scientifiques (restauration des attributs de l'écosystème), de pouvoir intégrer les systèmes écologiques réhabilités (souvent simplifiés), restaurés ou réaffectés dans les systèmes agraires et les paysages et surtout de pouvoir les faire durer grâce à une approche participative.

BON DE COMMANDE

Nom Fonction

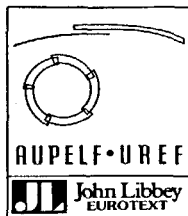
Adresse

Ville..... Pays..... Code postal

désire recevoir « L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ? » au prix de 180 F + 30 F de port, soit 210 F ou au prix de 90 F + 30 F, soit 120 F.

Ci-joint mon règlement par chèque à l'ordre des éditions John Libbey Eurotext.

Adresser ce bulletin à : John Libbey Eurotext, 127, avenue de la République, 92120 Montrouge, France



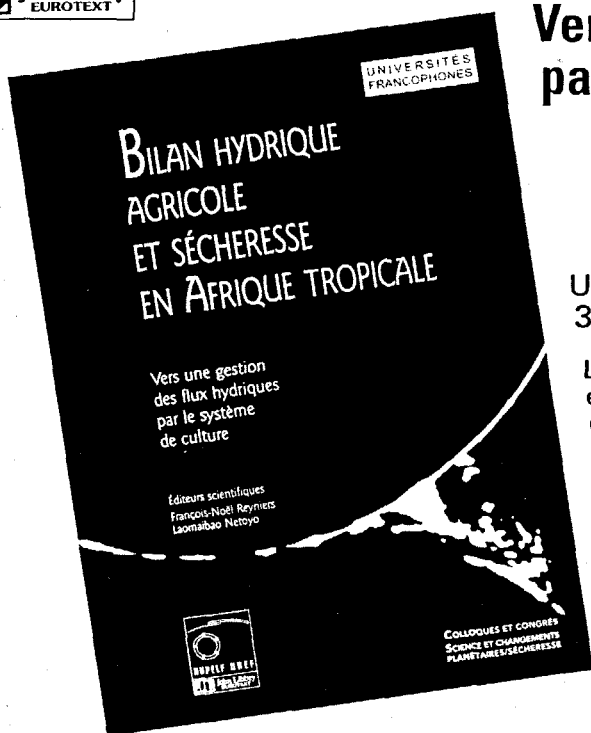
BILAN HYDRIQUE AGRICOLE ET SÉCHERESSE EN AFRIQUE TROPICALE

Vers une gestion des flux hydriques par les systèmes de culture

FRANÇOIS-NOËL REYNIERS,
LAOMAIBAO NETOYO

*Série Colloques et Congrès
Science et changements planétaires/Sécheresse*

Un volume broché, 432 pages
320 F pays du Nord, 160 F pays du Sud



Les productions agricoles en Afrique sont conditionnées en grande partie par l'usage de l'eau. La crise économique actuelle contraint les partenaires du développement agricole et de la recherche agronomique à mettre en œuvre des projets innovants et adaptés aux réalités.

Le colloque « Résistance à la sécheresse en milieu intertropical : quelles recherches pour le moyen terme ? » organisé par le CIRAD et l'ISRA en 1984 à Dakar (Sénégal) avait fait le constat de la relation forte entre la production agricole en zone soudano-sahélienne et l'approvisionnement en eau. Les recommandations orientaient alors les recherches vers l'identification et la quantification des ressources en eau, notamment les pluies, et l'amélioration de leur utilisation par les cultures.

En continuité avec ces objectifs, le séminaire sur « La gestion agroclimatique des précipitations » s'est tenu à Bamako (Mali) en décembre 1991. Il était organisé à l'initiative du CIRAD et de l'INSAH avec la collaboration du réseau R3S de la CORAF, du CTA et de la CEE. Agronomes et économistes d'Afrique et d'Europe se sont réunis pour évaluer les progrès réalisés. Ils ont cherché à identifier des techniques pouvant réduire l'écart entre la productivité potentielle et les rendements obtenus par les agriculteurs. Ces techniques doivent être adaptées aux diverses conditions économiques et aux contraintes des exploitations agricoles. Les disciplines représentées à ce séminaire étaient nombreuses : agrométéorologie, modélisation, écophysiologie, système de culture, amélioration des plantes, aménagement. Chaque contribution, en analysant une étape du cycle de l'eau, explique les interactions entre la gestion de l'eau, les itinéraires techniques pratiqués et l'écosystème tropical. Les conclusions sont un message d'espoir, puisqu'elles permettent d'envisager, pour les agriculteurs africains, de nouveaux modes d'exploitation et de protection de leurs terroirs.

BON DE COMMANDE

Nom Fonction

Adresse

Ville..... Pays..... Code postal

désire recevoir « Bilan hydrique agricole » au prix de 320 F + 30 F de port, soit 350 F
ou au prix de 160 F + 30 F, soit 190 F.

Ci-joint mon règlement par chèque à l'ordre des éditions John Libbey Eurotext.

Adresser ce bulletin à : John Libbey Eurotext, 127, avenue de la République, 92120 Montrouge, France

Farm Land Erosion

in Temperate Plains Environments and Hills

Proceedings of the International Symposium, Paris, Saint-Cloud, France, 25-29 May 1992

edited by S. Wicherek, *Centre National de la Recherche Scientifique, Saint-Cloud, France*

©1993 xiv + 584 pages Hardbound

Price: US \$ 242.75 / Dfl. 425.00

ISBN 0-444-81466-3

During the last twenty years, mutations within agricultural systems in France and Europe have brought on a spectacular worsening of soil erosion and degradation. This volume, contributed to by scientists from 25 countries, discusses how this risk can be evaluated, and which solutions should be adopted without radically disturbing the socio-economic orientation of major agricultural regions. It is an excellent starting point for the development of new research themes, and will be of great value to soil and environmental scientists, and to all those involved in land irrigation and drainage.

Contents: Editorial. Introduction. The soil asset: preservation of a natural resource (S. Wicherek). 1. From

the Parcel to the Watershed. Role of Station Studies. Processes Analysis and Establishing Partial Balances. Simple methods of characterizing erosive rainfall with reference to the South Downs (Southern England) (J. Boardman, D.T. Favis-Mortlock). Onsite and offsite damages by erosion in landscapes of East Germany (M. Frielinghaus, R. Schmidt). Assessment of soil erodibility: the relationship between soil properties, erosion processes and erosion susceptibility (Y. Le Bissonais, M.J. Singer, J.M. Bradford). The effects of tillage system and annual crop residue on rill morphology (G.F. Mclsaac, J.K. Mitchell). The role of test plot measurements in a long-term soil erosion research project in Switzerland (D. Schaub, V. Prasuhn). Impact of agriculture on soil degradation: modelisation at the watershed scale for a spatial management and development (S. Wicherek). 2. From the Geosystem Level to the Region: Essay on Typology to Define Erosion Sensitiveness and Potential. Extent, frequency and rates of rilling of arable land in localities in England and Wales (R. Evans). Gully typology and gully control measures in the European loess belt (J. Poesen). 3. Methods and Tools: Evaluation of the Respective Contributions of Field



ELSEVIER

Amsterdam

Studies, Remote Sensing, GIS, Modelisation and Caesium-137. Assessment of soil erosion in Quebec (Canada) with Caesium-137 (Cl. Bernard, M. Laverdiere). Combination of single storm erosion and hydrological models into a geographic information system (H. Chakroun, F. Bonn, J.P. Fortin). The use of Caesium-137 to investigate soil erosion and sediment delivery from cultivated slopes in the Polish Carpathians (W. Froehlich, D.L. Higgitt, D.E. Walling). The effect of water erosion and tillage movement on hillslope profile development: a comparison of field-observations and model results (G. Govers, T.A. Quine, D.E. Walling). Rainfall simulation tests for parameter determination of a soil erosion model (M. Shramm, D. Prinz). 4. Other Examples of Intensified Erosion. Soil erosion on badlands areas (P. Ballerini, M. Brunori, S. Moretti, G. Rodolfi). 5. Recent and Past Changes in Agricultural Structures: Incidence on Erosion. Traditional Strategies for Water Management. Proposals for Better and More Efficient Soil Conservation. Possibilities for an environmentally sound restructuring of the agriculture in the new Bundeslaender (C. Ahl). Analysis of catastrophic erosion in Czechoslovakia: the reflections of the structure of agricultural land and the physical conditions of soils (M. Kundrata, J. Ungerma). A specific strategy set up with farmers to succeed erosion control (the experience of a French region "Pays de Caux") (J.F. Ouvry, L. Ligneau). Effect of hog manure and fertilizer application on runoff and drainage water quality (A.R. Pesant *et al.*). Tillage and crop residue management practices for soil erosion control (J.F. Power *et al.*). Soil degradation in Hungary (P. Szabo). Erosion! a current environmental problem? The GCES, a new strategy for fighting erosion to resolve this dilemma of a growing society (E. Roose). Limitation of space allows only a selection of papers to be mentioned.

Send this Order Form to your Usual Supplier or to:

ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS

P.O. Box 211, 1000 AE Amsterdam, The Netherlands

RUSH ORDERS: FAX (Amsterdam) (0) 20 5803-705

Telephone (Amsterdam) (0) 20 5803-753 Telex 18582 espa nl

In the USA & Canada:

ELSEVIER SCIENCE PUBLISHING CO., INC.

P.O. Box 945, Madison Square Station, New York, NY 10160-0757

RUSH ORDERS: FAX (New York) 212-633-3880

Telephone (New York) 212-989-5800 Telex 420643 aeppui

Please send me _____ copy(ies) of

Farm Land Erosion

ISBN 0-444-81466-3 Hardbound

Price: US \$ 242.75 / Dfl. 425.00

Orders from individuals must be pre-paid (publisher pays postage).

PAYMENT ENCLOSED:

Bank draft Eurocheque International money order

Official purchase order form Personal cheque Postal cheque

UNESCO coupons

PLEASE SEND INVOICE (and add postage)

PLEASE CHARGE MY CREDIT CARD:

Access American Express EuroCard MasterCard VISA

Card No. _____ Expiry Date _____

Name _____

Address _____

Country _____

Postal Code _____

VAT registration number _____

Signature _____

Date _____

Non VAT registered customers in the European Community should add the appropriate VAT rate applicable in their country to the price(s).

US \$ prices are valid only in the USA and Canada: for the rest of the world the Dutch Guilder (Dfl.) price is definitive. Prices are subject to change without prior notice.

NUMÉRO SPÉCIAL

PARCOURS

DEMAIN

Bulletin d'information sur les systèmes pastoraux du Nord de l'Afrique et du Sahel

juin 1995

Sylvopastoralisme et développement

De la gestion traditionnelle à l'aménagement

3^e séminaire International du réseau PARCOURS
13-15 octobre 1994 Tabarka - Tunisie -



Les Actes

Bulletin publié au
Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes
avec l'appui de l'Association Française de Pastoralisme

3191 route de Mende, BP 5056, 34033 MONTPELLIER Cx 1 (France)



579

SOMMAIRE

| | |
|--|------------|
| Chronique | 1 |
| Rapports des sessions | 2 |
| Pratiques et modes de gestion traditionnels | 5 |
| Les parcours collectifs : gestion locale et mutations en cours (M. Mahdi) | 7 |
| Du « miaad » aux conseils pour la gestion des terres collectives. Une transition manquée (N. Nasr) | 13 |
| L'appropriation communautaire des forêts dans le Haut Atlas marocain. Intérêt pour le développement durable (L. Auclair) | 19 |
| Exploitation traditionnelle des parcours sahéliens dans le sud-ouest de la Mauritanie. Etat, blocages, améliorations (B. Peyre de Fabrègues) | 29 |
| Mode d'utilisation et gestion traditionnelle des points d'eau et des pâturages en saison sèche. Impact du PRO.DE.SO. dans la zone pastorale du Ouagadou (Sahel Occidental du Mali) (A. Maïga, B. Kone) | 37 |
| Travaux de développement en milieu forestier de Turquie (U. Geray) | 43 |
| Les agdals dans la région d'Imilchil. Importance et mode d'exploitation (L. Boulberj et L. Ait Hroch) | 47 |
| Pratiques traditionnelles et normes modernes de la gestion de l'élevage pastoral au Maroc (Jeanne CHICHE) | 51 |
| Les mutations récentes de la région steppique d'El Aricha. Nouvelles formes d'appropriation et de gestion de l'espace et des ressources pastorales (A. Khaldoun) | 59 |
| Méthodologies et techniques d'exploitation sylvopastorales | 65 |
| Organisation du suivi de la production végétale dans les pâturages. Exemples du Mali et de l'Ethiopie (P. Daget) | 67 |
| Influence des traitements sylvopastoraux sur le fonctionnement et la protection de la suberaie (P. Masson) | 73 |
| Essai de définition d'âge et de période optimale d'exploitabilité d' <i>Acacia saligna</i> en régions aride et désertique tunisiennes (M.S. Zaafour) | 79 |
| Sur la notion de la valeur pastorale (Aziz Hirche) | 85 |
| Contribution à l'étude des parcours en zone aride. Cas de 3 unités pastorales de Chellala Dahrana (wilaya El Bayadh) (A. Bouzenoune, K. Bendjebbas, N. Bendali, R. Mebarki) | 87 |
| Recherches en agroforesterie et en sylvopastoralisme | 91 |
| Un programme européen de recherches coopératives en agroforesterie (always) : Utilisation alternative des terres agricoles avec des arbres à croissance rapide (D. Auclair) | 93 |
| Valorisation des arbustes fourragers dans l'alimentation animale : ensilage d' <i>Acacia cyanophylla</i> Lindl. (N. Nacef, T. Najar, H. Nasr) | 101 |
| Place d' <i>Anthyllis barba-jovis</i> dans les phytocénoses de Tunisie et son importance pastorale (A. Chaabane) | 105 |
| Aménagement sylvopastoral | 109 |
| Effets des traitements sylvicoles sur le développement des potentialités herbagères dans les taillis de chêne vert (<i>Quercus ilex</i>). Cas de la forêt de Bab Boudir, Taza (M. Qarro) | 111 |
| L'aménagement sylvo-pastoral : un outil à la recherche d'organisation des éleveurs et de régénération des forêts marocaines. Cas de la suberaie de la Mamora (M. Naggar) | 115 |
| Le pâturage en forêt : cas de la forêt de pin d'Alep des Aurès (Algérie) (S. Bensaid et N. Berrahmouni) | 121 |
| Historique et évolution des systèmes agrosylvopastoraux dans les zones montagneuses du Nord-Ouest (Jemai A., Saadani Y.) | 123 |
| Utilisation de fourrages ligneux dans l'alimentation des petits ruminants (A. Ben Boubaker, H. Khemiri, C. Kayouli, et D. Nyarko-Badohu) | 127 |
| Une ONG de développement face à l'aménagement sylvopastoral dans les régions montagneuses du Nord-Ouest tunisien (C. Gaudray, A. Sleimi) | 135 |
| Concilier production de bois de feu et élevage traditionnel. Exemple du Projet Energie II au Niger (R. Peltier, H.M. El Lawali, P. Montagne) | 145 |
| La terre, un patrimoine à conserver et à utiliser au mieux (M. Souissi) | 159 |
| Liste des participants | 163 |

Soil Conservation is a key text not only for agricultural engineers, but also for students of agriculture, forestry, geography, geology and ecology - indeed all those concerned with soil erosion. This new and fully revised edition of Norman Hudson's standard work

- gives information on recent advances, including the greater emphasis on sound land use and farming methods; the importance of involving the farmer at all stages; the need for low-cost, low-labour methods
- shows how research, theory and practice can be applied in the developing countries
- presents the engineering approach to soil conservation in a simple, common-sense way.

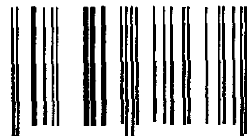
The text reflects the postgraduate course in soil conservation at Silsoe College, as taught to students from over 40 different countries. The result is a teaching text which will be of use in all countries where soil conservation is a major consideration in agricultural development.

After 13 years as a Conservation Officer and Researcher in Africa, Norman Hudson taught for 20 years at Silsoe College (formerly the National College of Agricultural Engineering), a Faculty of Cranfield University, and now practises as a consultant. He has lectured at universities throughout the world, and has studied soil conservation in more than 40 different countries. He has worked as a consultant for FAO, The World Bank, the Asian Development Bank, The International Fund for Agricultural Development, and aid agencies of Britain, the USA and Sweden.

Professor Hudson was the 1983 recipient of the Hugh Hammond Bennett Award, the highest professional honour made by the Soil Conservation Society of America, and the President's Citation in 1989. He is a past President of the World Association of Soil and Water Conservation, founder of the International Centre for Soil Conservation Information, and Founder Chairman of the Association for Better Land Husbandry. In 1993 he was awarded the OBE for services to soil conservation.

For full details of other Batsford books on the agricultural sciences, please write to:

4 Fitzhardinge Street
London W1H 0AH



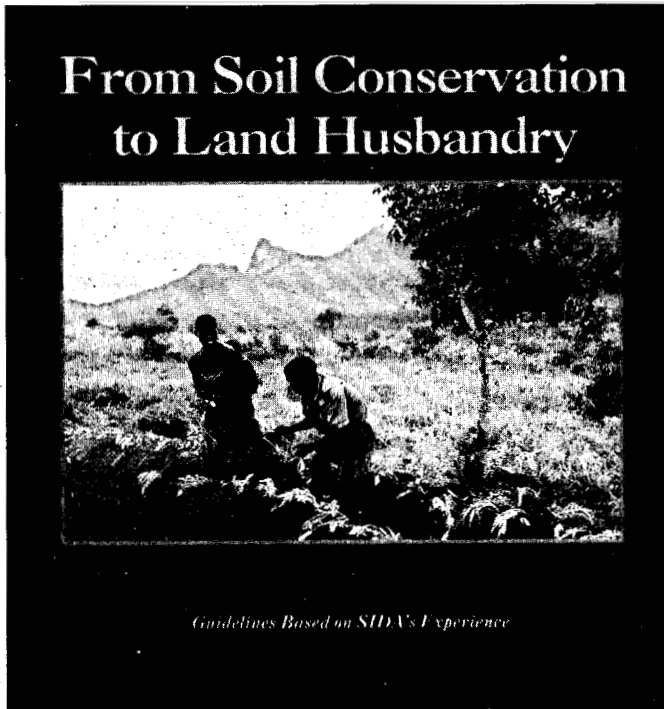
SOIL CONSERVATION

SOIL CONSERVATION

Fully Revised and Updated
Third Edition

Norman Hudson

From Soil Conservation to Land Husbandry



SIDA
Natural Resources Management Division.
60 pages. Illustrated.
Price: £4 (40SEK)

This book is based on SIDA's extensive experience from twenty years of development co-operation in response to land degradation.

It uses a variety of specific local experiences, primarily from Africa, to illustrate how and why the approach to soil conservation has been changing. From soil conservation to land husbandry. From focusing on the land alone to focusing on people, their institutions and the land.

Guidelines are offered for:

- interdisciplinarity,
- participation,
- ecological and institutional sustainability,
- institutional capacity building,
- education and training,
- research and
- techniques and technologies.

The book concludes with general guidelines for the planning of land husbandry programmes.

Order from: Bok-SIDA, S-105 25 Stockholm, Sweden. Tel: +46 8 728 51 12

Yes, please, send me copies of From Soil Conservation to Land Husbandry

Name: Institution:

Address:

Country:



SWEDISH INTERNATIONAL
DEVELOPMENT AUTHORITY
S-105 25 Stockholm
+46 8 728 51 00

582

ROCK FRAGMENTS IN SOIL: SURFACE DYNAMICS
Dedicated to Jan de Ploey

Edited by

J. Poesen and H. Lavee**CONTENTS**

| | |
|--|-----|
| Preface..... | vi |
| Rock fragments in top soils: significance and processes | |
| J. Poesen and H. Lavee..... | 1 |
| Spatial distribution of surface rock fragments along catenas in Semiarid Arizona and Nevada, USA | |
| J.R. Simanton, K.G. Renard, C.M. Christiansen and L.J. Lane..... | 29 |
| Modelling the development of non-periglacial sorted nets | |
| F. Ahnert..... | 43 |
| Rock fragment content and fine soil bulk density | |
| D. Torri, J. Poesen, F. Monaci and E. Busoni..... | 65 |
| Hydric properties of some Spanish soils in relation to their rock fragment content: implications for runoff and vegetation | |
| F. Ingelmo, S. Cuadrado, A. Ibañez and J. Hernandez..... | 73 |
| Surface sealing as affected by various rock fragment covers in West Africa | |
| C. Valentin..... | 87 |
| Soil containing rock fragments: effects on infiltration | |
| D.L. Brakensiek and W.J. Rawls..... | 99 |
| Hydraulics of interrill overland flow on stone-covered desert surfaces | |
| A.D. Abrahams and A.J. Parsons..... | 111 |
| Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: a review | |
| J.W. Poesen, D. Torri and K. Bunte..... | 141 |
| Effect of rock fragments on eolian deposition of atmospheric dust | |
| D. Goossens..... | 167 |
| The effect of rock fragments on wheat biomass production under highly variable moisture conditions in Mediterranean environments | |
| C. Kosmas, N. Moustakas, N.G. Danalatos and N. Yassoglou..... | 191 |



NEW PUBLICATION



TERMS OF EROSION AND CONSERVATION Concepts, definitions and a multilingual list of terms in English, Spanish, French and German

Publication date: December 1994

Principal author: E. Bergsma, Netherlands
 Co-Authors: P. Charman, Australia
 F. Gibbons, Australia
 H. Hurni, Switzerland
 W.C. Moldenhauer, U.S.A.
 S. Panichapong, Thailand
 Foreword: I. Pla-Sentis, Venezuela

The Glossary deals with terms used in the study, prevention and treatment of rain erosion. The terms are described, explained, put into context, and given consideration for practical use by 'descriptive aspects', which are added to the definition. Related terms and synonyms are given.

The publication has a section with 'Central Concepts': terms which form a central part in the study of the erosion processes, hazard, and conservation. These terms are described more extensively.

All terms are included in an alphabetical list, with their Spanish, French, and German equivalents. A Russian addendum will be supplied at a later date.

The book, of about 150 pages, has many photographs and illustrative drawings.

The price will be about USD 25, plus postage.

This is an ISSS publication, printed with financial assistance of CTA, LEB-Fonds and ISRIC.

Please send in the form if you are interested, or hand it over to Eelko Bergsma or Godert van Lynden at this meeting.

FORM

Name: _____
 Full address: _____

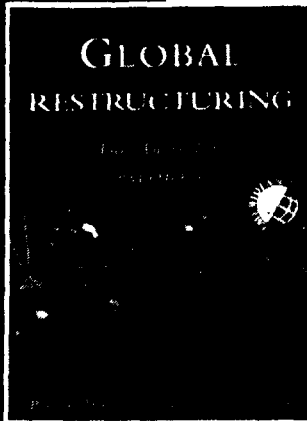
 Fax: _____ E-mail: _____

is interested in copy/copies of Terms of Erosion and Conservation.

Please send me a pro-forma invoice.

Return to: ISSS/ISRIC, P.O. Box 353, 6700 AJ Wageningen, the Netherlands
(fax: +31 8370 24460)

584



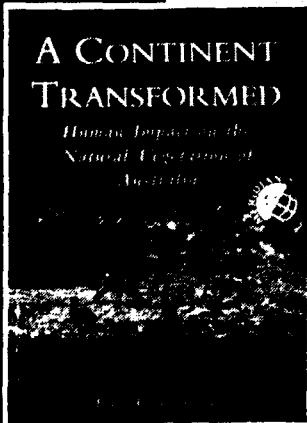
GLOBAL RESTRUCTURING

The Australian Experience

Robert Fagan, Professor of Human Geography, School of Earth Sciences, Macquarie University, and Michael Webber, Professor of Geography, University of Melbourne

Global Restructuring demonstrates the importance of a geographical perspective in understanding 'specific' links between processes of global change and economic transformations within Australia. Recent approaches to explaining global restructuring are used to build a framework for understanding patterns of production, trade and investment. The uneven impacts of economic change within Australia are summarised, and case studies presented of food processing, iron and steel production, motor vehicle manufacturing, and banking. This book contributes to an understanding of Australia's changing position in the world economy and to current debates over appropriate government policy.

July 1994



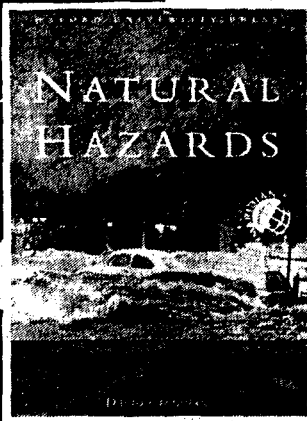
A CONTINENT TRANSFORMED

Human Impact on the Natural Vegetation of Australia

Jamie Kirkpatrick, Professor, Department of Geography and Environmental Studies, University of Tasmania

This thought-provoking book explores the ecology of human-induced vegetation change and the ecological problems of conserving native plants and communities in a continent where multiple land use is an accepted principle. It traces the impact on vegetation from the Aboriginal way of life through to the greatly accelerated change caused by the European invaders. It also provides some tentative solutions to the problems. Based on the latest scientific understanding of ecological issues, it is nevertheless accessible to the non-expert. The book will be of interest to students of biogeography and ecology and those interested in the conservation of our nature heritage.

July 1994

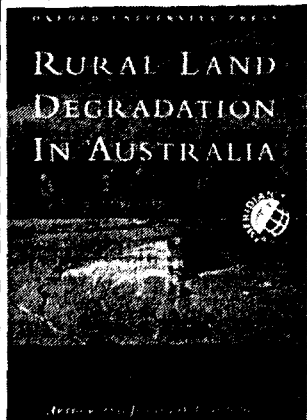


NATURAL HAZARDS

David Chapman, Senior Lecturer, Department of Geography, University of Sydney

What makes a natural hazard? How do natural hazards affect us? Are there rational ways to approach the management of natural hazards? These questions are approached in a rigorous but easily understood way in *Natural Hazards*. The book develops a conceptual model for understanding hazards and describes specific hazards within the framework of the model. The book devotes a chapter to each of the major hazards, such as earthquake, drought, bushfire, flood, explaining its origins, how it affects human beings, and what, if anything, may be done to manage the impacts. The author looks at how, using Risk Analysis and Decision Theory, decisions are made on the choice and implementation of management strategies.

October 1994 (approx)



RURAL LAND DEGRADATION IN AUSTRALIA

Arthur Conacher, Associate Professor, Department of Geography, University of Western Australia, and Jeanette Conacher

Rural Land Degradation in Australia examines the nature, extent and causes of land degradation, arguably Australia's most serious environmental problem. Using the most recent data available, the book surveys the degradation of various ecosystems, and analyses both the direct and the underlying causes. It discusses the role of agricultural chemicals in land degradation, and looks at the broader implications of land degradation, such as the social and economic consequences for both rural and urban communities. The book looks at responses and solutions to the problem, discussing new management practices and reforms.

March 1995 (approx)

URBAN PHYSICAL ENVIRONMENTS

Robin Warner, Associate Professor, Department of Geography, University of Sydney, Howard Bridgman, Associate Professor, Department of Geography, University of Newcastle, & John Dodson, Associate Professor, School of Geography, University of New South Wales

This volume addresses the nature of physical environments in urban areas, and the interactions between people and aspects of their physical environment. It examines the impact of urbanisation on different environmental systems such as climate, water and land systems, biological systems, and then analyses the impact of these modified systems on people. The authors emphasise the inter-relationship between aspects of the physical and urban environments. Looking at Australian cities in a global perspective, they discuss planning policies for city environments.

UN MANUEL SUR L'AMÉNAGEMENT DES ZONES MARNEUSES DANS LES BASSINS-VERSANTS DE L'ATLAS TELLIEU SEMI-ARIDE.

Se fondant sur l'expérience de l'étude du bassin-versant de l'Oued Mina dans l'Oranais, la Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit, qui est l'organisme de la République Fédérale Allemande s'occupant de coopération, publie un ouvrage destiné aux ingénieurs d'exécution sur l'aménagement des zones marneuses en milieu semi-aride. Les propositions se fondent sur les constatations suivantes:

- l'effort de protection des sols et des eaux doit porter prioritairement sur les zones marneuses, de loin les plus gros fournisseurs de sédiments;
- ce n'est pas l'érosion diffuse, mais l'érosion linéaire qui est source de sédiments apportant des nuisances en aval;
- le boisement est illusoire sur marnes épaisses pour une pluviosité moyenne annuelle inférieure à 500 mm;
- le travail du sol constitue la meilleure protection contre l'érosion, car il diminue le ruissellement donc l'alimentation en eau des ravins.

Les mesures de conservation des ressources eau et sol proposées se fondent sur les traditions agro-pastorales.

On préconise le maintien de la population sur place en favorisant la culture sèche des céréales comme base pour l'élevage, ce qui garantit un travail régulier du sol devant respecter certaines contraintes techniques (rayer et non retourner la terre, favoriser une structure grossière, etc.). Cette culture doit se faire à partir des petits centres des vallées, permettant l'accès de la population au progrès social. Les douars des plateaux ont perdu leurs avantages. Cela suppose la mise en place d'un réseau de pistes rurales, le moyen de locomotion normal prévu étant le tracteur.

Pour les surfaces non cultivables parce que trop dégradées, il est proposé un traitement par barrages de retenue implantés à partir des têtes de ravins vers l'aval, de manière à favoriser l'installation d'une végétation stabilisatrice.

La planification repose sur l'utilisation de systèmes d'information géographique intégrant des données de morphométrie et de sols, ces derniers par l'utilisation de la télédétection spatiale, qui permet d'obtenir des cartes des caractères physiques des sols.

Editeurs: — H. VOGT et W.E.H. BLUM.

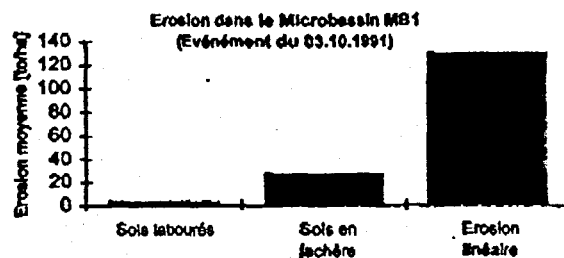
Distribution: TZ-Verlagsgesellschaft mbH
Postfach 1164
D 64373 ROSSDORF
ALLEMAGNE

Publié par: Deutsche Gesellschaft für Technische
Zusammenarbeit (GTZ) GmbH,
Postfach 5180, D-65726 Eschborn,
République Fédérale d'Allemagne

Henri VOGT

Disponible: 3^e trimestre 1995

586



Résumé: La mobilisation des ressources en eau pour le développement et l'aménagement en milieu semi-aride méditerranéen est fondamentale. Elle se fait pour une grande part au moyen de barrages. Trop souvent, ces aménagements ont été conçus au profit exclusif des populations à l'aval des implantations, pour l'alimentation en eau des villes et des industries et pour l'irrigation des plaines d'agriculture intensive. Le bassin-versant en amont est alors considéré uniquement comme fournisseur d'eau et devait être traité de manière à limiter l'apport de sédiments dans le barrage. Dans les montagnes de l'Atlas, ce sont les terrains marneux qui sont les principaux fournisseurs de ces sédiments. C'est la mise en valeur agricole qui est le moyen le plus efficace pour limiter la production de sédiments, ce qui suppose la collaboration avec la population rurale. Le livre propose des méthodes d'aménagement en conséquence.

- Préface. A.DEMMAK
- Introduction. H.VOGT
- Chapitre 1. Conception d'ensemble. ¹
Hartmut PASCHEN avec la collaboration de M.RAMDANE et H.VOGT)
- Chapitre 2. Les traits généraux du milieu physique dans lequel s'insère la zone d'étude.
Henri VOGT et D.GOMER)
- Chapitre 3. Formations affleurantes et sols.
Thea et Henri VOGT
- Chapitre 4. Mécanismes et ampleur de l'érosion: les flux d'eau et de sédiments.
Exemple de la zone-pilote de Telfifit.
Henri VOGT et D.GOMER
- Chapitre 5. La végétation.
Henri VOGT
- Chapitre 6. Cultures et travail du sol.
Hartmut PASCHEN (documents M.BERGMANN, A.BREITENSTEIN-EHLERT, H.EHLERT, Consulting Engineer Salzgitter GmbH.)
- Chapitre 7. Population, caractères socio-économiques, habitats, infrastructures.
Hartmut PASCHEN et Henri VOGT (documents K.TAUBERT, H.HONERMANN, H.EHLERT, M.TAABNI)
- Chapitre 8. Systèmes de planification et de suivi.
Henri VOGT (documents de B.KLINGENBERG, L.KOURI, S.BELZ, D.GOMER et H.HONERMANN)
- Chapitre 9. Normes pour les ouvrages de correction torrentielle et critères de planification pour le réseau de chemins ruraux.
S.BELZ, D.GOMER et B.KLINGENBERG.
- Conclusion. Wilfried BLUM

LES CONGRES FUTURS

1995

23 au 29 juillet /95 : Honolulu, Hawaï

Multiple objective decision support system for agricultural and environmental management.

Contact : El Swaïfy, Université de Hawaï, Dept. Agronomie, Honolulu.

Du 6 au 9 août/95 : Des Moines , IOWA, USA.

Célébrons le 50ème anniversaire de la CES !

Contact SWCS., 7515 NE Ankeny Road, Ankeny, IA 50021-9764.

Les 11 et 12/9/95 à Montpellier : Journées des géographes de l'ORSTOM.

"Les atlas pour le développement en coopération ?"

Contact Ph. Waniez, Maison de la Géographie, 17 rue de l'Abbé de l'Epée, 34000 Montpellier, Fax : (33) 67.72.64.04.

Du 13 au 15 septembre/95. Paris, Centre ORSTOM, France

"Dynamique des états de surface du sol et spatialisation des risques de ruissellement et d'érosion"

Contacts : Roose, De Noni, Lamachère, ORSTOM : FAX : (33) 67.54.78.00.

: Le Bissonnais, INRA, Olivet : FAX : (33) 38.41.78.69.

Du 16 au 20/10/95. : Sofia, Bulgarie

"90 ans de LAE en Bulgarie" : 4 thèmes : Processus, facteurs, méthodes LAE, aspect socio-économiques et politiques de l'érosion

Contact : Dr.Ivan Marinov, Institut de la Forêt, Conference Erosion, 1756 Sofia, Bulgarie, Fax.: 00.359.2.622.965. : Tel : ----- 961

Du 29/11 au 1/12/95 : Montpellier, France.

"Télétection et gestion des ressources en eau"

Contact : C. Puech : CEMAGREF, Lab. Télétection, 500 rue Breton, 34093 Montpellier, France

1996

Du 10 au 14 /6/96, Université de Curukova, Adana, Turquie

"International Conference on Land Degradation"

Contact Prof. Kapur, Univ.of Cukurova, Dept.of Soil Science, 01330 ADANA, Turkey. FAX.(90) 322.338.6643

Du 26 au 30/8/96 : ISCO 9, Bonn, Allemagne

"Améliorer la coopération entre les peuples et les institutions en vue d'une gestion durable des terres"

Contact : Dr E. Fleischhauer, Federal Environmental Agency, FGII.3.2./Soil Quality P.O.33.00.22 : 114191Berlin, Allemagne. Tel. : (49.30) 231.45.746 FAX.(49.30)229.30.96.ou 231.56.38.

Du 1 au 7/9/96, ESCS, Université de Munich

"Développement et mise en oeuvre des stratégies de conservation des sols pour une mise en valeur durable";

Contact : Prof. Schwertmann, Bodenkunde Techn.Universiteit, Weihestephan 1 Univ.of Munchen, D 85350 Freising.

Du 20 au 26/8/98 : 16ème Congrès AISS, Montpellier, France

"Fonctionnement actuel des systèmes pédologiques mondiaux en relation avec divers types d'utilisation"

Contact : CNEARC, BP.5098 34033 Montpellier : FAX. : (33) 67.41.02. 32

“Les Atlas pour le développement en coopération ?”

Appel à communication

Les journées des géographes de l'ORSTOM se dérouleront à Montpellier, les 11 et 12 septembre 1995. Cette année, les membres de la sous-commission scientifique de géographie vous proposent de débattre sur le thème "Les Atlas pour le développement en coopération ?".

La réalisation d'atlas est sans doute l'une des productions parmi les plus "visibles" des géographes. À l'ORSTOM, il s'agit même d'une tradition ; au cours des années 1960, la réalisation de l'Atlas des Structures Agraires au Sud du Sahara, par exemple, a nécessité un effort et une continuité exemplaires. Il existe aussi une tradition des atlas régionaux. Aujourd'hui, les conditions scientifiques, techniques et institutionnelles de la réalisation des atlas ont évolué : les atlas généralistes se transforment souvent en ouvrages thématiques, l'informatique offre de nouvelles possibilités tant sur le plan de la cartographie que sur celui de la diffusion, la demande s'oriente souvent vers la tenue d'atlas "permanents" liés à des observatoires de même nature. Ces nouvelles directions apparaissent clairement dans plusieurs productions récentes de l'ORSTOM : Atlas de Quito, Atlas de Richard-Toll, Atlas du Togo et du Bénin, Atlas de Nouvelle-Calédonie, Atlas de Polynésie Française, etc.

À l'occasion de ces journées, la Commission Scientifique souhaiterait susciter une réflexion collective, notamment sur les points suivants :

- la place des atlas dans la diffusion d'un "savoir géographique" ;
- l'évaluation scientifique des atlas ;
- la demande institutionnelle et l'offre des chercheurs en matière d'atlas ;
- la pluridisciplinarité et la réalisation des atlas ;
- les "nouvelles techniques" d'analyse spatiale appliquées à la réalisation d'atlas :
- les coûts et les délais de réalisation des atlas ;
- les supports de diffusion des atlas : papier, informatique, multimédia ;
- les problèmes liés à la mise à jour des atlas ;
- l'atlas est-il un instrument d'information ou de communication ?

De manière à rendre ce débat le plus fructueux possible tant pour ceux d'entre nous qui ont déjà collaboré à la réalisation d'un atlas que pour ceux qui projettent d'en réaliser un, il est souhaitable que les différents intervenants rédigent une communication qui pourra être publiée ultérieurement dans la collection "Colloques et Séminaires". Ces textes chercheront à rendre compte, non pas de l'ensemble d'un atlas publié ou en cours de publication, mais du franchissement (avec succès ou non) d'un ou deux points critiques dans la liste non-limitative ci-dessus, et pouvant servir d'enseignement pour de futurs projets.

Les propositions de communication (une page au plus) devront être adressées à Philippe WANIEZ, Maison de la Géographie, 17, rue de l'Abbé de l'Épée, 34000 Montpellier, France, tel. : (33) 67 14 58 58 ; Fax : (33) 67 72 64 04, le 15 avril 1995 au plus tard.

Les textes définitifs (une dizaine de pages ; figures en noir et blanc ; fichier type Word si possible sur disquette) devront parvenir à la même adresse au plus tard le 15 juillet 1995, délai de rigueur.

En espérant que vous serez nombreux à faire le voyage de Montpellier à l'automne prochain, l'ensemble des membres de la sous-commission scientifique de géographie vous adressent leurs meilleurs voeux de réussite pour 1995.

Jacques CHAMPAUD
Président de la Commission des
Sciences Sociales de l'ORSTOM

P. S. : Nous souhaitons inviter à notre réunion quelques non géographes intéressés par cette question. Nous apprécierions d'avoir vos suggestions en ce domaine.

COMITE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

**TECHNICAL AND SCIENTIFIC
COMMITTEE**

M. Bied Charreton, Environmental and Information
Management Service, FAO, Rome

J.W. Finch, Institute of Hydrology, Wallingford

J.M. Grésillon, LTHE, Université de Grenoble

J.M. Lamachère, Laboratoire d'hydrologie,
ORSTOM, Montpellier

P. Pallas, Land and Water Development Division,
FAO, Rome

C. Puech, Laboratoire commun de télédétection
CEMAGREF/ENGREF, Montpellier



LABORATOIRE COMMUN DE TELEDETECTION

CEMAGREF / ENGREF

500 Rue J.F. Breton

34093 MONTPELLIER CEDEX 5 - FRANCE

M. Christian Puech



**INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE
SCIENTIFIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT
EN COOPERATION**

911 Avenue d'Agropolis

BP 54045

34032 MONTPELLIER CEDEX 1 - FRANCE



**FOOD AND AGRICULTURE
ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS**

Via delle Terme di Caracalla

00100 ROME - ITALY

ATELIER/WORKSHOP

**TELEDETECTION ET GESTION
DES RESSOURCES EN EAU**

**REMOTE SENSING AND
WATER RESOURCES
MANAGEMENT**

MONTPELLIER, FRANCE

Du / From 29 / 11 / 1995

Au / To 1 / 12 / 1995

**PREMIERE ANNONCE
FIRST ANNOUNCEMENT**

591

**DATE D'INSCRIPTION ET ENVOI DES
RESUMES**

**DEADLINE FOR REGISTRATION AND
ABSTRACTS**

19 / 06 / 1995

**LIMITE D'ENVOI DES
COMMUNICATIONS**

DEADLINE FOR PAPERS

16 / 10 / 1995

SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE du LANGUEDOC ROUSSILLON

500, rue J.F. BRETON
34093 MONTPELLIER Cedex 5
Tél.: 67 54 87 10/11
Fax G3 & G4: 67 54 87 00/55

PREMIERE ANNONCE

actuellement à l'état de projet, en cours d'organisation:

COLLOQUE "IMAGES SPATIALES ET SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE APPLIQUES A LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU ET A LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT"

Nîmes (France), 27-28-29 Novembre 1995

Les organisateurs :

Il s'agit du CNES, de la Région Languedoc-Roussillon, de l'Agence Méditerranéenne de l'Environnement, de SCOT Conseil, de l'association "SIG Languedoc-Roussillon", avec le concours de la société italienne SOGESCA et de l'association espagnole AESIG.

Le public visé :

Responsables techniques et administratifs de services publics et de collectivités locales provenant des régions méditerranéennes françaises, espagnoles, portugaises, italiennes et grecques, ainsi que de pays non européens du pourtour méditerranéen.

Les objectifs poursuivis :

1. Présenter au public des réalisations concrètes issues de différentes régions méditerranéennes illustrant l'intérêt de la télédétection et des SIG pour améliorer la gestion des ressources en eau et la protection de l'environnement.
2. Sensibiliser les décideurs à l'utilisation des nouveaux outils de l'information géographique et notamment des images spatiales.
3. Permettre la mise en place et le renforcement de projets de coopération au niveau européen et international sur les thèmes concernés.

Pour tout renseignement, s'adresser à : Association "SIG Languedoc-Roussillon"
Maison de la Télédétection
500, rue Jean-François Breton
34093 MONTPELLIER Cedex 5

COME AND CELEBRATE 50 YEARS OF SOIL AND WATER CONSERVATION

1-800-THE-SOIL (1-800-843-7645) extension 18

Meet experts in your field,
see innovative conservation
practices, and join the party!

- Poster sessions
- Workshops
- Roundtables
- Plenary sessions
- Networking receptions
- Computer expo
- Trade exhibits
- Conservation tours
- Spouse events
- Children/teen activities
- Seminars and symposia
- Panel discussions
- WEPP/WEPS symposium
- Anniversary celebrations

ANTICIPATE

CELEBRATE

50
YEARS
OF
PARTNERSHIPS

INNOVATE

Be sure not to miss
this opportunity. For
big savings, act before
July 10.

50th
Annual
Meeting
and Expo

Des Moines
Convention
Center
Des Moines, Iowa

August 6-9, 1995



To receive a free meeting registration packet, contact
Soil and Water Conservation Society, 7515 N.E. Ankeny Road,
Ankeny, IA 50021-9764; (515)289-2331, extension 18;
1-800-THE-SOIL (843-7645), extension 18; FAX (515)289-1227

Jean Rodier (1914-1994)

Jean Rodier est décédé le 1er mai 1994. Il avait consacré 52 années de sa vie à l'hydrologie, continuant de rédiger, jusqu'à ce que la maladie l'emporte, « sa mémoire », fruit d'une expérience et d'une connaissance uniques, et servie par une mémoire prodigieuse et des intuitions fulgurantes.

Formé à l'Ecole Centrale de Paris, il avait commencé à travailler sur l'inventaire des ressources en eau et l'étude des régimes des cours d'eau d'Afrique dès 1947. Ingénieur de l'EDF, il a occupé les fonctions de chef du service hydrologique de l'ORSTOM de 1949 jusqu'à sa retraite en 1977.

Jean Rodier a présidé au développement des réseaux hydrologiques de 17 pays et à l'installation de plus de 200 bassins versants de recherche. Formateur de plusieurs générations d'hydrologues, il a été, sans interruption, Président du Comité Technique d'Hydrologie de l'ORSTOM de 1964 à 1982. Jean Rodier a été Président de l'Association Internationale des Sciences Hydrologiques de 1971 à 1975 et Secrétaire Général de 1975 à 1979.

Il avait reçu en 1985 le Grand Prix international d'hydrologie attribué conjointement par l'UNESCO, l'OMM et l'AISH pour couronner l'ensemble de sa carrière.

En signe de remerciement et pour montrer tout ce que l'hydrologie africaine lui doit, une conférence internationale se tiendra au Ministère de l'Environnement à Paris les 3 et 4 mai 1995, juste un an après sa disparition.

S'adresser à

Nadine Muther
Laboratoire d'Hydrologie
BP 5045
34032 Montpellier Cedex 1 - France
Fax : [33] 67 41 18 06
e-mail : thebe@orstom.orstom.fr

La conférence

La conférence s'organisera autour de cinq grands thèmes :

1. La mémoire de l'Hydrologie Tropicale
(Présidents : Lamine Keita et Christian Lévêque)
2. La pluviométrie et le climat en milieu tropical
(Présidents : John Rodda et Georges Vachaud)
3. Les régimes hydrologiques tropicaux
(Présidents : Jean-Claude Olivry et Marcel Roche)
4. Les processus hydrologiques tropicaux
(Présidents : Mamadou Sakho et Michel Rieu)
5. Le traitement des données et la modélisation hydrologique en milieu tropical
(Présidents : Georges Girard et Pierre Hubert)

Un recueil de l'ensemble des résumés des communications présentées sera publié.

Livre de « Mélanges »

Postérieurement à la Conférence, un livre de « mélanges » à la mémoire de Jean Rodier sera édité, rassemblant une sélection des communications proposées. Le comité scientifique se réunira à l'issue de la conférence et effectuera cette sélection sur la base des présentations qui auront été faites.

Deuxième et Dernière Circulaire

Conférence à la mémoire de
JEAN RODIER

L'HYDROLOGIE TROPICALE Géoscience et outil pour le développement

Paris, Ministère de l'Environnement

3 et 4 mai 1995

organisée par

**l'Institut Français de Recherche Scientifique pour
le Développement en Coopération (ORSTOM)**

avec la collaboration du

GIP HydroSystèmes

du

**Comité National Français des Sciences
Hydrologiques**

et du

Ministère de l'Environnement - Paris

CNRS

Université
de Paris 1

Laboratoire
de Géographie Physique
"Pierre Birot"
(Meudon, France)

TROISIEME CIRCULAIRE
THIRD CIRCULAR

COLLOQUE

**CRUES, VERSANTS
ET LITS FLUVIAUX**

*Processus naturels et impacts
des activités humaines.*

**FLOODS, SLOPES
AND RIVER BEDS**

*Natural processes and impacts
of human activities.*

Paris

22 - 24 Mars 1995.
March 22 - 24 ,1995

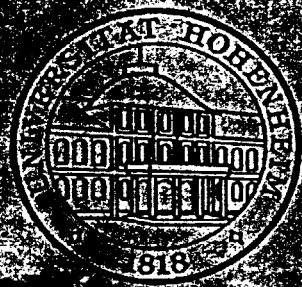
Sous le Patronage scientifique du GERTEC et de la section française de l'AISH

Sous le Haut Patronage du Ministère de l'Environnement, du Ministère de la Culture et de la Francophonie, du Conseil Régional d'Ile de France, de la Direction Scientifique du CNRS, des Universités Paris 1 et Paris 8

INTERNATIONAL SYMPOSIUM

**Wind Erosion in West Africa:
The Problem and its Control**

5-7 December 1994



Call for Registration

The Symposium Secretary
Special Research Programme (793)
University of Hohenheim
D-70593 Stuttgart
GERMANY

ADANA, TURKEY 10-14 JUNE, 1996

The quality, management, and conservation of the world's soils are critical elements to deal with attempts to avoid widespread hunger and malnutrition, and a deterioration of the quality of the environment. Increasing human and animal population, in the context of a finite land resource base, is accelerating land degradation in many countries, specifically the arid and semi-arid parts of the world. Land degradation has emerged as the primary issue linked to poverty and income generation and has repercussions on the environment and biodiversity. Land degradation deals with two interlocking or complex systems: the natural ecosystem and its human social system. Interaction between the two systems determine the success or failure of resource management programs. To avert the catastrophe resulting from land degradation that threatens in many countries, we must address the issue very seriously and urgently.

The conference will be organized along the following themes:

1. Assessment and monitoring of soil and land degradation;
2. Mitigation technologies for reducing degradation;
3. Environmental accounting of soil use and land degradation;
4. Socio-economics of land degradation;
5. Impact of land degradation on global climate change;
6. Indicators of soil and land degradation;
7. Application of GIS and remote sensing technology to evaluate soil care and land degradation;
8. Time and space dimensions of land degradation.

Papers and posters are invited for each of the above themes or related subject matters. Distinguished scientists will also be invited to present key-note papers.

Conference Organizers and Sponsors

- * University of Çukurova
- * International Soil Science Society
- * Turkish Society of Soil Science
- * The British Council
- * The Turkish Foundation for Combating Soil Erosion, Reforestation and Protection of Natural Habitat
- * The Turkish Ministry of Environment
- * Food and Agricultural Organization of the United Nations
- * USDA Natural Resources Conservation Service
- * United Nations Environmental Program
- * Land Degradation and Desertification
- * The World Bank

For more information, contact:

To: Prof. Dr. S. Kapur
University of Çukurova, Dept. of Soil Science
01330 Adana, Turkey
Fax : ++ 90 322 338 66 43

INTERNATIONAL CONFERENCE

Weather

The conference will be held in mid June. The weather is expected to be sunny and dry. The temperature usually ranges from 25-32°C during the day and the average for the night is 20°C.

Travel Arrangements

Adana is the fourth largest city in Turkey and located in the southern part of the country. There are direct domestic Turkish Airlines flights from İstanbul and Ankara at least twice a day to Adana.

SUBMISSION OF ABSTRACTS

(Deadline, March 15, 1996)

The abstracts should be in English and should not exceed 250 words. It is hoped that the full papers will be published in a special issue of an international journal, following review by the editorial committee. The organising committee will inform all contributors for acceptance of the abstract.

We urge the participants to submit also full papers before or, at the latest during the conference. Detailed guide-lines will be given in the 2nd circular.

It would be very beneficial if the abstract is edited by a native English speaker before submission. There will be no opportunity for editing and correction after submission, and there will be no proofs. Therefore, a text typed with an IBM compatible computer (e.g. Microsoft Win Word 2.0, with Times New Roman characters) is preferable. Abstracts should be printed on A4 size pages, preferable together with the 3.5 inch floppy disk.

PRESENTATIONS AT THE CONFERENCE

The presentations at the conference may be in oral form or as posters. With the exception of keynote addresses, oral presentations will be limited to 15 minutes with an additional 5 minutes for discussion. All papers must be presented in English. 35mm slide projectors and overhead projectors will be available.

Poster Presentations

For each poster, dimensions of 70 cm X 100 cm will be available. Lettering of the posters should be readable from 200 cm.

LAND DEGRADATION

| | | |
|-------------------|------------|---|
| 09 JUNE '96 | | Arrival & Registration |
| | Evening | "Ice-breaker" Reception |
| 10 JUNE '96 | All Day | Scientific Sessions |
| | Evening | World-Famous Turkish Cuisine |
| 11 JUNE '96 | All Day | Scientific Sessions |
| | Evening | Turkish Night |
| 12 JUNE '96 | All Day | Scientific Sessions |
| | Evening | The President's Party |
| 13 JUNE '96 | Morning | Scientific Sessions |
| | Afternoon | A half-day trip to inspect the I. class soils on the Adana-Mersin highway now being occupied by industry (free of charge). |
| | Evening | Dean's party |
| 14 JUNE '96 | All Day | Scientific Sessions |
| | Evening | Farewell Party |
| 15 JUNE '96 | Saturday | A day-long trip to Karatepe National Park. One of the best preserved Late Hittite Sites in the world. To be introduced by the eminent archaeologist Prof. H. Çambel (free of charge). |
| 15-16 JUNE '96 | Sat & Sun | A two-day trip to Cappadocia and the erosion conservation site in the Karapınar, (Tour I) Konya area, Central Anatoli |
| 15 or 16 JUNE '96 | Sat or Sun | A day-long trip to the Antakya Mosaic Museum (one of the most important mosaic museums in the world) & St. Peter's Cave Church (Tour II) |

ÇUKUROVA UNIVERSITY
DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE
ADANA, TURKEY

LISTE DES PARTICIPANTS AU RESEAU EROSION AU 15/07/95

ALGERIE; AMIRECHE H. TATAR Hafiza; Maître Assistant; Institut des Sciences de la Terre; Université de Constantine;

ALGERIE; AMOKRANE F.; Station INRF; BP 114; Tenes;

ALGERIE; ARABI Mourad; Centre INRF; BP 16 Ouzera; 26100 Medea;

ALGERIE; BAAZIZ Messaoud; Enseignant-chercheur; Institut des Sciences Naturelles; Route de Constantine; Oum El Bouaghi 04000;

ALGERIE; BELOULOU Laroussi; Inst. Scie. Terre Univ. Annaba; Cité des 500 logts. Bloc 29, n° 285 Sidi Ammer; Annaba 23220;

ALGERIE; BENAZZOU Mohamed; Institut des Sciences de la Terre. Univ. Constantine.; 7, cité Bouali-Laïd; 25000 El-Khroub Constantine;

ALGERIE; BENSILA Benmoussa; Univ. Scie. et Techn. Oran; Cité Usto, 1500 logts. Bat. 501 E1 Appart. 7; 31130 Oran par Bir El Djir;

ALGERIE; BENYAMINA; Inspecteur des forêts; Tlemcen;

ALGERIE; BOUCHENTOUF K.; 2, Rue Saïm Djillali; 14000 Tiaret;

ALGERIE; BOUDJEMLINE Djamel; Enseignant; Inst. Hyd. USTO; BP 1505; El Manouar ORAN;

ALGERIE; BOUGHERARA Ahmed; Institut des sciences de la terre; Cité des 500 logements Bloc 43, Appart n° 425; Sidi amar W. Annaba;

ALGÉRIE; BOUREGHDA Saïd; 4, Cité Belaïd Belkacem (34 logements) Plaine Ouest; 23000 Annaba;

ALGERIE; BOUROUBA M.; Géographie Physique; 36, av. Rahmani Achour; 25000 Constantine;

ALGERIE; BOUROUGA, KOUIDRI, MONJENGUE; INRF; BP 16 Ouzera; 26100 Médéa;

ALGERIE; BURGOS & KRIBAA M.; ITGC; BP 3; 19000 Sétif;

ALGERIE; DEMMAK ABD.; ANRH Clairbois; av. M. Birmourad Rais; Alger;

ALGERIE; DHAMANI Malika; U.R.B.T.; BP 812; Alger Gare;

ALGERIE; DRIOUECHE Moufid ; BNEF; 7, Cité des Oliviers; 09000 Blida;

ALGERIE; ERRIH Mohamed; Univ. Scie. et Techn. Oran; 31, Rue Ramdane Kouider, Es-Senia; Oran ;

ALGERIE; HELIS Louisa; Ingénieur agronome; INRF; BP 37 Cheraga; Alger;

ALGERIE; ITA bibliothèque; Service des Sols; BP 120; Mostaganem;

ALGERIE; KADI-HANIFI Halima; U.R.B.T.; BP 812; Alger Gare;

ALGERIE; KHALDOUN Abderrahim; ANAT; Lotissement Mesli, Boulevard Med J; 13000 Tlemcen;

ALGERIE; KHELFI Y.; Bureau 80 Dept Géographie IST USTHB; BP 09; El Alia;

ALGERIE; KOURI Lakhdar; I.N.F.S.A; BP 72 Bordji Amar; Mostaganem;

ALGERIE; MAACHOU, CHEBBANI et Coll; INRF; BP 88 Imama; 13000 Tlemcen;

ALGERIE; MANSOURI; INA; Dept Génie Rural; El Harrach Alger;

ALGÉRIE; MAZOUZ Mohamed; ; Conservateur des Forêts; 29000 Mascara;

ALGERIE; MEBARKI A.; Inst. Sc. Terre Univ. Constantine; 90, rue Larbi Ben Leid; Didouche Mourad;

ALGERIE; MEDJERAH, ABBAS; Inst. Scien. de la Terre; BP 09; Dar El Beida;

ALGERIE; MEVATI Samia; Maître Assistante; Laboratoire de Géomorphologie; USTHB; Alger;

ALGERIE; MORSLI et Coll.; Centre INRF; Grara par Bou Hanifia; Mascara;

ALGERIE; TAABNI, KOUTI; Inst. Géogr. Univ. Oran; Es-Senia; BP 16 Oran;

ALGERIE; TEMAGOULT *et al.*; INA Dept. Science de la Terre; El Harrach; 16200 Alger;

ALGERIE; TOUAÏBIA Bénina; ; BP 30 B.09100 Oulled Yaïch; Blida ;

ALGERIE; ZOUBIR Amine; ANAT; BP 339; 13000 Tlemcen;

ALLEMAGNE; ELBERS, GELLEN AGRAR et Hydrotecknik; PF 1001 32; D 4300; Essen;

ALLEMAGNE; KÖNIG D.; Inst. Géogr.; PF 3980 D 6500; Mainz;

ALLEMAGNE; KLEMM Walter; Alban-Stolz-Str. 6; D/W-7505 ; Ettlingen-4;

ALLEMAGNE; NEUGEBAUER; Dir. Trees for people; Graf-Durckheim-Weg 7; D 7865-Todtmoos;

ALLEMAGNE; NILL D; Univ. Tech. Munich Dept. pédol.; Friedemann & Johnson Consult
Berliner Str. 2; 64342 Seeheim;
ALLEMAGNE; PRINZ D., KLEMM W.; Inst. Hydraulique et G.R. Univ.; Kaiserstrasse 12;
D 7500 Karlsruhe 1;
ALLEMAGNE; RICHTER Gérold; Prof.; Univ. Trier; Postfach 3825; D-54286 Trier;
ALLEMAGNE; ROTH Christian; TU Sekr. BK - Okologie; Salzufer 11-12; D-1000 Berlin 10;
ALLEMAGNE; SONUMESHALTER T.; Bergstr. 21; D 7846 Mauchen;

ANGLETERRE; BARNES Colin; 5, Cambridge Road; Girton Cambridge; CB3 OPN;
ANGLETERRE; CRITCHLEY W.; 23, Sycamore Terrace; York YO3 7DN;
ANGLETERRE; HAIGH Martin; ; 40, Church View; Freeland Oxon OX7 2HT;
ANGLETERRE; KEECH, MORGAN & LIBRARY; Silsoe College; MK45 4DT;
ANGLETERRE; KERR B.; Commonwealth Secretariat; Marlborough House - Pall Mall;
London - SW1Y 5HX;
ANGLETERRE; PALOREIK A.; TRAX; 10, Copplestone Drive; Duryard - Exeter EX4 4NF;
ANGLETERRE; PATRICK ERIC; Geography Dept. UCL; University of London; 26, Bedford
way. WC1H OAP; London;
ANGLETERRE; PRESTON David; University of Leeds; School of Geography; LEEDS LS2
9JT;
ANGLETERRE; SHAXSON Thomas; Consultant ; 36, Greenhayes
Dorset BH18 8 NA; Broadstone;
ANGLETERRE; STOCKING; School of Development Studies; University of East Anglia;
Norwick - NR4 7 TJ;
ANGLETERRE; SWEETMAN Trevor L.; Consultant agro-économie; 34, Chequers Park,
Wye Ashford ; Kent, TN25 5BB;
ANGLETERRE; TOULMIN Camilla; IIED; 3, Endsleigh Street; London-WC1H ODD;

AUTRICHE; BLUM Winfried E.H.; Secr. Gal AISS; Univ. für Bodenkultur; Gregor Mendel
str. 33; A-1180 Wien;

BELGIQUE; PROF. ALEXANDRE, PETIT; Inst. Géogr. Physique; 7, Place du XX août. B
4000; Liège;
BELGIQUE; DE JAEGHER Christophe; ; Av. Père Agnello, 7. ; B.1150 Bruxelles;
BELGIQUE; DOUXCHAMPS F. (Cota); ; 18, Rue de la sablonnière; Bruxelles;
BELGIQUE; DUDAL et Coll.; ; Vital Decosterstraat 102; 3000 Leuven;
BELGIQUE; DUPRIEZ H.; Terre et Vie; 13, Rue Laurent Delvaux; B. 1400 Nivelles;
BELGIQUE; EMBRECHTS Jef; Pro-inter Soc. Coopérative; Moleneinde 25; B. 9080
Lochristi;
BELGIQUE; GABRIELS et Coll.; Fac. Agronomique; Lab. Phys. des Sols Coupure 533; B
9000 Gent;
BELGIQUE; HENNEBERT P.; Unité des Sciences du Sol; Université catholique; Place
CROIX DU SUD, 2/10; B 1348 Louvain-La-Neuve;
BELGIQUE; LEDERMANN Jacqueline ; Bibliothécaire, Documentaliste; COTA; 18, Rue de la
sablonnière; 1000 Bruxelles;
BELGIQUE; MARCHAL X. ; Délégation Com. Centrafrique; CEE, rue de la Loi n° 200; B
1049 Bruxelles;
BELGIQUE; MATHIEU Léon, BOCK Laurent *et al.*; Dépt. Sc. Sol et Terre. Fac. d'agronomie
de Gembloux; Av. Maréchal Juin, 27; B 5030 Gembloux;
BELGIQUE; MOEYERSONS J; Musée Royal; B 1480 Tervuren;
BELGIQUE ; PETIT F.; Lab. Géog. Phys.; Univ. Place du XX août, 7; B 4000 Liège;
BELGIQUE; POESEN, GOVERS; Labo Géomorphologie, KUL; Redingenstraat 16 bis; B
3000 Leuven;
BELGIQUE; SOYER J., COLL; Labo. Géomorphologie Tropicale; 7, place du XX août; B
4000 Liège;
BELGIQUE; VANCAILLIE Xavier; Dreve de la Marmotte 14; B 1328 - Bohan;

BENIN; AZONTONDE; CENAP; BP 988; Cotonou;
BÉNIN; DJOHOSSOU P. & Tchiwanou B.; P.G.R.N.; B.P. 06-884; Cotonou;
BÉNIN; FAHALA A.; ; BP 1501; Cotonou;
BÉNIN; MAMA GAO Séidou; Proj. Plant. Bois Feu; Dir. Forêt - BP 393; Cotonou;
BENIN; OSTER R.; Mission Coopération Française; BP 476; Cotonou;
BENIN; SABET Joseph; Expert aménag. des bassins versants; PGRN Ministère dévt rural; BP 08- 0644; Cotonou;
BENIN; TOUZOT P.; AFVP; BP 5; Boukombe;
BENIN; VAN ROOJER JARING; Projet PABV
FAO; - BP 74; Natitingou;
BENIN; VERSTEEG Mark; Chef unité transfert technologie; IITA; BP 08-0932; Cotonou;

BOLIVIE; HERVE D. & GUYOT J.L.; ORSTOM; AP 8714; La Paz;

BRESIL; AUDRY P., et Coll. ; Mission ORSTOM; Caixa Postal 4010 Boa Viagem; 50000 Recife PE;
BRESIL; BIOT Yvan; INPA; C. Postal 478; 69011 Manaus AM;
BRESIL; BLANCANEUX Ph.; ORSTOM; Bana Da Tijuca; Caixa Postal 37 108; 22 622-970 Rio de Janeiro;
BRESIL; CASTRO Selma; ; U.S.P Université de São Paulo; Département de Geografia U.S.P CP 8105; São Paulo SP, 05508-900;
BRESIL; DE MARIA ISABELLA; Inst. Agronomico, Conservation des sols; Caixa Postal 28; 13 001-970 CAMPINAS SP;
BRESIL; DENARDIN José-Elois; EMPRADA/CNPT; EMPRADA/CNPT, BR 285, KM 174, CP 569; 99 100 Passo-Fundo-RS;
BRESIL; KERTZMAN F.; I.P.T.; CP. 7141 - CEP; 01000 Sao Paulo;

BULGARIE; ZAKOV Dimitar; Inst. Sup. de Sylvi.; 10, Bd Kliment Ohridski; 1756 Sofia;

BURKINA FASO; BARRO SOMA E. *et al.*; 1; BUNASOL; BP 7142; Ouagadougou;
BURKINA FASO; BASSOLE TOUDIOU; Projet Vivrier Nord Yatenga; BP 25; Ouahigouya;
BURKINA FASO; BAYLE; AFVP; BP 947; Ouagadougou;
BURKINA FASO; BEDU et MECHERI; Projet vivrier; PVNY - BP 25; Ouahigouya;
BURKINA FASO; BORTOLI et JOUY; SATEC-PDRI; BP 80; Diapoga;
BURKINA FASO; CAMPHUIS Nicolas *et al.*; ETSHER; 01. BP 594; Ouagadougou-01;
BURKINA FASO; CILLS; ; BP 4400; Ouagadougou;
BURKINA FASO; DABIRE A.; S/C P. DABIRE; 01 BP 1369; Ouagadougou;
BURKINA-FASO; DELMA DJINGRI Robert; PATECORE; BP 271; Kongoussi;
BURKINA FASO; DENNISON; CARE; BP 10; 4400 Ouagadougou;
BURKINA FASO; DEPOMMIER; C.T.F.T.; BP 1759; Ouagadougou;
BURKINA FASO; DJIRI DAKAR; Projet Bois de Village; BP 2736; Ouagadougou;
BURKINA FASO; FAHO; ; BP 57; Tenkodogo;
BURKINA FASO; FORNAGE; CRPA; BP 39; Ouahigouya;
BURKINA FASO; IBRAHIMA, MURATER, SCHMITT et Bibliothèque.; EIER 03; BP 7023; Ouagadougou;
BURKINA FASO; Iles de Paix; ; BP 5379; Ouagadougou;
BURKINA FASO; JAN VLAAR *et/ou* Bibliothèque; CIEH; BP 369; Ouagadougou;
BURKINA FASO; KABORE Vincent; ; 01 BP 3548; Ouagadougou 01;
BURKINA FASO; KAMBOU N. Frédéric; I.N.E.R.A.; BP 7192; Ouagadougou BF;
BURKINA FASO; KOURA D. SIX "S"/NAAM; ; BP 100; Ouahigouya;
BURKINA-FASO; LEWIS Jeffrey; Banque Mondiale; BP 622; Ouagadougou;
BURKINA FASO; LINDSKOG P.; CIEH/DANIDA; 01 BP 369; Ouagadougou;
BURKINA FASO; MATS *et* Coll.; PAE s/c CRPA; BP 72; Ouahigouya;
BURKINA FASO; OUEDRAOGO Yaya; président ARIDAB; Projet Agro-Forestier/OXFAM/UNSO; BP 296; Dori;

BURKINA FASO; PALLO François et Alexandre; Institut de recherche en biologie et écologie tropicale (IRBET); BP 7047; Ouagadougou 01;
BURKINA FASO; PARE LACINAN; Pr. Sp. CES/AGF; BP 91; Yako;
BURKINA FASO; PLANCHON; ORSTOM; BP 182; Ouagadougou;
BURKINA-FASO; SERPANTIE G.; ORSTOM; BP 171; Bobo-Dioulasso;
BURKINA FASO; SOME Léopold et Coll.; INERA; 03 BP 7192; Ouagadougou;
BURKINA FASO; TIDJAMI Ibrahim; Direction départementale du génie rural; BP 58; Tahoua;
BURKINA FASO; VAN DRIEL et Coll.; Antenne Sahélienne de UAW; BP 5385; Ouagadougou 1;
BURKINA FASO; WRIGHT P.; Projet UNSO/Bois; BP 62; Koudougou;
BURKINA FASO; YAMWEMBA Justin; Projet gestion de l'eau; BP 206; Kongoussi;
BURKINA FASO; ZOUGMORE Robert; I.N.E.R.A; I.N.E.R.A/Kamboinse, 01 BP 476; Ouagadougou 01;

BURUNDI; CORDIER et Coll.; Fac agronomie Dépt aménagt milieu et écologie; BP 2940; Bujumbura;
BURUNDI; GIPOULOUX Stéphane, MIKOKORO, SINDAKIRA; PRPE/ISABU; BP 795; Bujumbura;
BURUNDI; KARIBWAMI Damien; Projet Reboisement BM/FAC; Département des Forêts; BP 1716; Bujumbura;
BURUNDI; MANIRANKUNDA Godefroy; Minist. Amgt, Tourisme; BP 631; Bujumbura;
BURUNDI; MUNJEMBABAZI William; ; PNLAÉ; BP 631; Bujumbura;
BURUNDI; NGARAMBE Vincent ; ; B. P. 795; Bujumbura;
BURUNDI; NSABIMANA Stanislas; Univ. Burundi; Dpt Géogr. B.P. 1550; Bujumbura;
BURUNDI; RISHIRUMUHIRWA; IRAZ; BP 91; Gitega;

CAMEROUN; AMBASSA-KIKI Raphaël; IRA/CRA; BP 2067; Yaoundé;
CAMEROUN; BIANDOUM; Univ.; BP 1616; Yaoundé;
CAMEROUN; BINDZI Joseph; IRA-CNS; BP 5578; Yaoundé;
CAMEROUN; BOLI Zachée; I.R.A.; BP 163; Foubot;
CAMEROUN; MOLINIER; Représentant; Mission ORSTOM; Centre Documentation; BP 1857 Yaoundé;
CAMEROUN; BOUKAR SEYNI; I.R.A.; BP 33; Maroua;
CAMEROUN; BOUKONG Alexis; Univ. Dochang; BP 96; Dochang;
CAMEROUN; GAUDARD, THESEE et Coll.; SODECOTON D.A.R.; BP 302; Garoua;
CAMEROUN; HARMAND J.M.; CRF/IRA; BP 222; Maroua;
CAMEROUN; HIOL-HIOL F. et Coll.; Centre Univ. Dept Forêts; BP 96; Dschang;
CAMEROUN; LAURAS E.; ; BP 645 ; Ngaoundéré;
CAMEROUN; LEMARIE-FAIVET C.; CDD; BP 49; Maroua;
CAMEROUN; MARTIN J.; IRA; BP 22; Maroua;
CAMEROUN; MBIDA Antoine; Délégation Provinciale de l'agriculture; B.P 492; Yaoundé;
CAMEROUN; POULAIN, DUGE *et al.*; ; CIRAD-IRA; BP 1146; Garoua;
CAMEROUN; SIAKEU Jean; Etudiant; Université de Yaoundé; BP 8215; Yaoundé;
CAMEROUN; TANDJEU J.B.; INADES; BP 11; Yaoundé;
CAMEROUN; TCHOTSOUA M.; Maître assistant ; Univ. Ngaoundéré; BP 454; Ngaoundéré;
CAMEROUN; TSAYEM Demale; Département de Géographie, Université de Yaoundé I; S/C BP 8360; Yaoundé;

CANADA GIP 2J7; BARIL P.; Assean Inc.; 4655 Hamelo; Québec;
CANADA, GIP 3W8; BERNARD Claude; Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec; MAPAQ, Service des sols, 2700 Rue Einstein; Sainte-Foy, Quebec ;
CANADA JK 2R1; BONN Ferdinand et; Directeur; CARTEL; Univ. Sherbrooke; Québec J1 2R1;
CANADA; DUBOIS J.M; Univ. Sherbrooke, labo études côtières et marines; JIK 2RI; Sherbrooke Quebec;
CANADA; GWYN Q.H.J.; Cartel F.L.S.H. Université; Dépt. Géog. Télédétection; Sherbrooke QcJ1K 2R1;

CANADA; KABORE Séraphine; CARTEL; Université de Sherbrooke; J1K 2R1 Québec ;
CANADA G1K 7P4; KALALA J.P. Muimana; CC Aménagt Terroirs; Univ. Laval Centre
Sahel; 3380 Pavillon Bon Enfant; Ste Foy (Québec);
CANADA H2G 3C2; LANTAGNE Michel; ; 6805 rue Chambord; Montréal, P.Q.;
CANADA; PESANT A.; CP 90 2000 - Rte 108 Est; Lennoxville; Québec J1M 1Z3;
CANADA; SORIEUL Françoise; Conseillère IST; Centre-Sahel
Univ Laval; Pav. Bon Enfant; Québec G1K 7P4;

CHILI; POUGET ET MATHIEU R.; ORSTOM; Casilla 53390 Correo Central; Santiago1;
CHILI; POURRUT Pierre; ORSTOM; Casilla 34 Correo 2; Antofagasta;

CHINE; YOU Qin Li; Leader; TGRG Ctr Acad. Drama; 39, Dong Mian Hua Hu tong; Beijing
100710;

COSTA RICA; COLLINET Jean; CATIE-ORSTOM; Turrialba, AP. 10177; San-josé - 1000;

COTE D'IVOIRE; CAMARA Mameri; IDEFOR/Dept fruits et légumes; 20 BP 938 ; Abidjean
20;

COTE D'IVOIRE; YAO-KOUAME Albert; ENSA/Dept scie. des sols; 06 BP 688 ; Abidjan 06;
; SOMMERHALTER Th.; IGAAD - GTZ; BP 2653; DJIBOUTI;

EQUATEUR; CADIER Eric et Coll.; Chercheur ORSTOM; ORSTOM; Apartado 17 116 596;
Quito;

EQUATEUR; PORTAIS Michel; Représentant; Mission ORSTOM; Apartado Postal 17-11-
05149; Quito;

EQUATEUR; TRUJILLO G. et Col.; Mission ORSTOM; Apartado Postal 17-11-05149; Quito;

EQUATEUR; ZEBROWSKI Claude; Mission ORSTOM; Apartado Postal 17-11-05149; Quito;

ESPAGNE; BOCHET Ester; IATA-CSIC; Jaime Roig, 11; 46010
Valencia;

ESPAGNE; DIAZ-FERROS F.; Edafologia; Universidad de Santiago; 15706 SANTIAGO de
Compostela;

ESPAGNE; DONEZAR et DEL VALLE; Instituto del Suelo; Monasterio de Urdax; 31011
Pamplona;

ESPAGNE; ECHEVERRIA M.T.; Dept. de Geografia Ordencion; Territorial Universidad de
Zaragoza; Saragoza 50009;

ESPAGNE; GARCIA-RUIZ; Instituto Pirenaico de Ecologia; Apartado 202; 50080 Zaragoza;

ESPAGNE; GUERREA Guerrero M. del Mar; 3° B; Pedro A. de Alarcon, 65; Granada;

ESPAGNE; JIMENEZ MARTI M.A.; Pedro Antonio de Alarcon; n° 74 2° A; 18002

Granada

; ESPAGNE; LOPEZ B.; Universidad Dép. Geografia; Campus La Merced - Santo Cristo 1;
30001

Murcia;

ESPAGNE; MARTIN-PENELA Antonio; Depto Estratigrafia y paleontologia

Univ. Sc.; Univ. de Granada; 18071

Granada;

ESPAGNE; PORTA CASANELLES J.; Professeur; Dpt. Sc. Sol/ETS Epar; Alcalde Rovira
Roure, 177; 25006

Lleida;

ESPAGNE; ROSSEL LUIS GARCIA; ; IAGM; AVENIDA FUENTE NUOVA; 18002

Granada;

ESPAGNE; RUBIO J.L.; Inst. de Agroquimila; CSIC Jaime Roig, II; 46010

Valencia;

ESPAGNE; SALA Maria; Pr. Geografia Fisica; Fac. Geographia; Balmes, 429, 3.er, 2.a;
08022
Barcelona;
ESPAGNE; SANCHEZ GOMEZ Sebastian; Centro de Investigation Agrario; Apartado 2027;
13004
Granada;
ESPAGNE; SOLE-BENET Albert; CSJC; General segura,1; 04001
Almeria;

FRANCE;; CIEPAC; Atrium 45 - 663, av. Pompignane; 34170 Castelnau-le-Lez;
FRANCE; ALBRECHT, BARTHES, SALA et Coll.; ORSTOM, LCSC; 911, Av. Agropolis;
34032 Montpellier;
FRANCE; AGRIDOC; BOPA-CCETAGRI; 27, rue Louis Vicat; 75738 Paris Cedex 15;
FRANCE; ALVERNHE E.; Dépt. Géographie, Univ.; Rue St Charles; 84000 Avignon;
FRANCE; ANDRIEUX P. *et al.*; INRA Science du Sol; 2, place Viala; 34060 Montpellier
Cedex 1;
FRANCE; ARRIVETS J.; CIRAD PA; BP 5065; 34032 Montpellier;
FRANCE; AUBERT G.; ORSTOM; 72, Route d'Aulnay; 93143 Bondy Cedex;
FRANCE; AUMEERUDDY Yildiz; Labo. Bota. Tropicale; 163, rue A. Brousseau; 34000
Montpellier;
FRANCE; AUZET Véronique; Institut Géographie; 3, rue de l'Argonne; 67083 Strasbourg;
FRANCE; AVENARD; Labo. Géogr. Dyn.; 3, rue de l'Argonne; 67083 Strasbourg;
FRANCE; BAGILISHYA Japhet; Hydraulicien; INRA/Sc. Sol; 2, place Viala; 34060
Montpellier Cedex 01;
FRANCE; BAILLON; Direction Espace Rural et Forêts; 19, av. du Maine; 75732 Paris;
FRANCE; BALDY Ch., DUPRAT Ch. *et al.*; INRA-LECSA; 2, Place Viala; 34070 Montpellier
Cedex;
FRANCE; BALLAIS J.L.; Institut de Géographie; 29, av. Robert Schuman; 13621 Aix-en-
Provence;
FRANCE; BALLIF Jean-Louis; Station d'agronomie, INRA ; Route de Montmirail; 51510
Fagnières;
FRANCE; BARTOLI F., DUTARTRE Ph. *et al.*; CNRS BP 5; Centre de Pédologie
Biologique; 54501 Vandoeuvre- les-Nancy;
FRANCE; BAYLE Emmanuel;; 95, Rue Leblanc; 75 015 Paris;
FRANCE; BEDEL, DESHAYES, REDER; ENGREF; BP 5093; 34033 Montpellier Cedex;
FRANCE; BELLEBEAU M.; Labo Géographie phys.; 1, place St Briand; 92190 Meudon;
FRANCE; BELLIER, HUMBEL; ORSTOM; 70-74, route d'Aulnay; 93143 Bondy Cedex;
FRANCE; BELLON F.; CLANSAYES; 26130 ST PAUL-3-CHATEAUX;
FRANCE; BERKE et RUFFIER; SOMDIAA; 39, rue J.J. Rousseau; 75023 PARIS Cedex 1;
FRANCE; BERTON; GRET; 213, rue Lafayette; 75480 PARIS Cedex 10;
FRANCE; BERTRAND Roger; CIRAD-Maison de la télédétection; 500, av. JF Breton ; 34 093
Montpellier Cdx 05;
FRANCE; BONVALLOT JACQUES; SRE; 213, rue la Fayette; 75480 PARIS Cedex 10;
FRANCE; BIGA Abdelatif; ENGREF; BP 5093 FFSRC; 34032 Montpellier;
FRANCE; BORNAN, FAVROT, LEGROS; INRA/ENSAM; Science du Sol 2, place Viala;
34000 Montpellier;
FRANCE; BOULANGER Anne; Cahier Agriculture; 6, rue Blanche; 92120 Montrouge;
FRANCE; BOURGES, LE GOULVEN et Coll.; ORSTOM, Labo d'Hydrogie.; 911, Av.
Agropolis; 34032 Montpellier;
FRANCE; CRETENET, SEMENT; CIRAD - Ca; BP 5035; 34032 Montpellier Cedex 1;
FRANCE; BRAVARD Jean-Paul.; Dépt Géographie ; Univ. Sorbonne, 191, Rue Saint-
Jacques; 75005 Paris;
FRANCE; BROCHET et Biblio; CNEARC; BP 5098; 34033 MONTPELLIER Cedex;
FRANCE; BROUWERS; CIRAD-Agropolis; BP 5065; 34032 Montpellier;
FRANCE; CENTRE DE RECHERCHES DE CLIMATOLOGIE; Univ. Bourgogne; Bât
Sciences Gabriel BP 138; 21004 Dijon Cedex;
FRANCE; CEZNEC A. ; Caisse CCE; 35, rue Boissy d'Anglas; 75 379 Paris Cedex 8;
FRANCE; COMPANY Agnés;; AV. de Concy; 45060 Orléans Cdx 02;

FRANCE; CHAMPAUD J.; Président CS6; ORSTOM; 213, rue La Fayette; 75480 Paris Cedex 10;

FRANCE; CHARLERY et UBCHMANN; Université Toulouse-Mirail; 31058 Toulouse Cedex; 31058 Toulouse Cedex;

FRANCE; CHARRY J.C.; Délégation RTM; 3, Bd Diable bleu; 38000 Grenoble;

FRANCE; CHEVALLIER Pierre; ORSTOM, Labo d'Hydro.; 911, Av. Agropolis; 34032 Montpellier;

FRANCE; CHEVERRY; ENSAR Chaire Sc. Sol; 65, route St Brieuc; 35042 Rennes;

FRANCE; CIDARC-SCIST; MT Allafort
Bibliothèque; BP 5035; 34 032 Montpellier Cedex 1;

FRANCE; CLOUET, PICHOT, BANG, KALMS; et Coll. CIRAD/SAR; BP 5035; 34032 Montpellier Cedex;

FRANCE; COCHARD G.; Serv. Opérations-Développement; AFVP BP 2; 91310 Linas-Monthéry;

FRANCE; COMMEAUX G.; Service Economie Rurale; Chemin de la Brèteque - BP 59; 76232 Bois Guillaume;

FRANCE; CONFAIS Michèle, COUTURE Jean-Louis; ESAT/CNEARC; 1, Allée des Missions, Appartement 103, bât B; 34080 Montpellier;

FRANCE; CORNET A.; ORSTOM-MAA; BP 5045; 34032 Montpellier;

FRANCE; COSANDEY, MUXART et Coll.; Labo Géographie phys.; 1, place St Briand; 92190 Meudon;

FRANCE; COUDE-GAUSSEN G.; Professeur; CREGETE Univ. Caen; Bâtiment du Droit; 14032 Caen Cedex;

FRANCE; COUTURE J.L.; GRDR; 8, rue Albert Bert; 93300 Aubervilliers;

FRANCE; DELAHAYE; CNRS; Rue des Tilleuls; 14000 Caen;

FRANCE; DEUMIER, COOSTE; ITCF Côte de Monte Serre; Bazièges; 31450 Montgiscard;

FRANCE; DIAME; Documentation; 19, avenue du Maine; 75732 Paris 15;

FRANCE; DINGER Françoise; CEMAGREF; BP 76; 38402 St Martin d'hères;

FRANCE; DUCREUX Alain; CIRAD-SAR; BP 5035; 34 032 Montpellier;

FRANCE; DULET Claude; AFVP; BP 2; 91310 Monthéry Cedex;

FRANCE; DUMAY Frédéric; U.E.R de Lettres et Sciences Humaines de Reims; 57, Rue Pierre Taittinger; 51 096 Reims Cedex;

FRANCE; DUROUSSET Eric; 3, rue Pascal; 78470 St Rémy lès Chevreuse;

FRANCE; DUTARTRE Philippe et GRAS; Centre Pédobiologique CNRS; 17, Rue Notre-Dame-des-Pauvres; BP 5; 54 501 Vandoeuvre les Nancy;

FRANCE; FAUCK R.; 1, quai Anatole France; E 514; 27200 Vernon;

FRANCE; FAUGERES Lucien; Dpt Géogr. Univ. Picardie; Rue Salom Mahlangou; 80025 Amiens Cedex;

FRANCE; FAY Gérard; UFR GHSS Univ. Paris 7; 2, place Jussieu; 75251 Paris;

FRANCE; FELLER C.; ORSTOM, LCSC; 911, Av. Agropolis; 34032 Montpellier;

FRANCE; FEUVRIER, MURA *et all.*; CEMAGREF; BP 114; 38402 St Martin d'Heres;

FRANCE; LE FLOCH', FLORET, LE HOUEROU; CNRS/CEPE; Réseau Zones Arides Rte de Mende; 34032 Montpellier;

FRANCE; FOREST et R 3S; CIRAD; BP 5035; 34032 Montpellier;

FRANCE; FOURNIER F.; UNESCO; 1, rue Miolis; 75015 Paris;

FRANCE; FOX Denis; Département de Science du Sol; INRA; 45160 Ardon;

FRANCE; GABERT Purie; Institut Géographie; 29, av. R. Schumann; 13100 Aix en Provence;

FRANCE; GASTON, BOUDET; IEMVT; 10, rue Pierre Curie; 94700 Maisons-Alfort;

FRANCE; GENRE, RULLAN, MAGAGNOSC; CIEM; 99, av. Recteur Pineau; 86022 Poitiers Cedex;

FRANCE; GLASS Bernard; Mediterranean Action Plan; Place S. Lafitte Sophia Antipolis; 06560 Valbonne;

FRANCE; GONDARD P.; ORSTOM - LEA; BP 5045; 34032 Montpellier;

FRANCE; GRIL; CEMAGREF; 3, quai Chauveau; 69336 Lyon 09;

FRANCE; GUILLOBEZ; CIRAD-Maison de la télédétection; 500, av. JF Breton ; 34 093 Montpellier Cdx 05;

FRANCE; GUIZOL Ph.; Forestier; 33, rue Amiral Mouchez; 75013 Paris;

FRANCE; GUYOT, KASSER; IGM Dépt. Télédétection; 2, avenue Pasteur; 94163 Saint Mandé;

FRANCE; HERBILLON G.; Président Com. Hydro-Pédologie; ORSTOM; 213, rue La Fayette; 75480 Paris Cedex 10;

FRANCE; HEUSCH Bernard.;ASSEDIC; Saint-Mury-La-Tour; 38240 Meylan;

FRANCE; JACQ A.;Ministère Environnement; 14 bd Général Leclerc; 92524 Neuilly/Seine;

FRANCE; JAMAGNE, DARTHOUT, EIMBERCK;BRUAND et Coll.; INRA Ardon; 45160 Olivet;

FRANCE; JOLY J.M.;; 33, rue Gambetta; 78120 Rambouillet;

FRANCE; KAISER;; 115, avenue de Paris; 78000 Versailles;

FRANCE; KLEIN Henri-Dominique;CIRAD-EMVT; 10, Rue Pierre Curie; 94 704 Maisons-Alfort Cedex;

FRANCE; LAMBERT R. El Baghlouli L. Bouhamed M.;Univ. Toulouse-Mirail II; Dept. Géographie; 31058 Toulouse Cedex;

FRANCE; LANDON P. ESGM;Agence Seine/Normandie; ESGM 3, rue Indépendance Américaine; 78000 Versailles;

FRANCE; LAVIGNE DELVILLE Philippe;GRET; 213? Rue la Fayette; 75010 Paris;

FRANCE; LE BISSONNAIS Yves et collègues; Ing. Géol. Dr. Sc. C R; INRA SESCPF; Ctre Rech. Orléans; 45160 Ardon;

FRANCE; LE GOUEE Patrick;C.R.E.G.E.P.E Université de Caen; 2, Rue du Chemin Vert; 61 100 Saint Georges des Groseillers;

FRANCE; LE HOUEIROU;CNRS; BP 5051; 34033 Montpellier Cedex;

FRANCE; LE LANDAIS François; Directeur Dept Env. et Dev.; BRL; BP 4001; 30001 Nîmes Cedex;

FRANCE; LECHEVALLIER;Dépt Géogr. Univ. Paris X; 20, avenue République; 92000 Nanterre;

FRANCE; LECOMPTE M. DRISS, H.;Labo. Géog. Phys. Univ. Paris 7; 2, place Jussieu UFR GH55; 75005 Paris;

FRANCE; LEDAIN;Conseil Général de l'Hérault; Sce Tech. Mas d'Alco; 34000 Montpellier;

FRANCE; LELONG F. *et al.*;Centre Science Terre; 6, bd Gabriel; 21000 Dijon;

FRANCE; LEMOINE, Mahé, Hayois;BCEOM; Parc Agropolis; 34980 Montferrier sur Lez;

FRANCE; LEPLAIDEUR;IRAT/CIRAD; BP 5035; 34032 Montpellier Cedex 1;

FRANCE; LETOLLE;Labo. Géol. Dyn. 4, pl. Jussieu; Tour 26 - 4ème étage; 75252 Paris Cedex;

FRANCE; LHOSTE Ph., Lemasson A.;IEMVT/INRA; 9, place Viala; 34060 Montpellier;

FRANCE; LILIN Charles;Min. l'Enviro.DNP; 20, Av. de Ségur; 75 302 Paris SP 07;

FRANCE; MAGAGNOSC J.S.;CIEM; 95, avenue du Recteur Pineau; 86022 Poitiers;

FRANCE; MAINGUET, CHEMIN M.C.;Labo. Géographie Physique; 57, rue Pierre Taittinger; 51100 Reims;

FRANCE; MARTIN Claude; Ch. Recherches CNRS; Les Migraniers A2; Av. Pablo Picasso; 83160 La Valette;

FRANCE; MARTIN Pierre.;CIEPAC; 275, avenue du Triolet; 34090 Montpellier;

FRANCE; MASSON, BILLIONET;SRAE - 19e étage; Cité administrative; 59048 Lille;

FRANCE; MATHIEU C.lément et Coll.; Prof.; ESAP; 75, voie du TOEC; 31076 Toulouse Cedex;

FRANCE; MAUCORPS, BOIFFIN;Station INRA; BP 101; 02004 Laon;

FRANCE; MAURER G.;Dépt. de Géographie; 95, av. Recteur Pineau; 86022 Poitiers Cedex;

FRANCE; MERSMANN Klaus; Conseiller; Fac. Cau de Kiel; 6, Allée des Lilas; F-51390 Gueux;

FRANCE; MESSE et Coll.;CNEARC; BP 5098; 34033 MONTPELLIER Cedex;

FRANCE; MEUNIER M.; Ingénieur en Chef; CEMAGREF; BP 76; 38402 St-Martin-d'Hères cedex;

FRANCE; MIETTON et WASSMER;Univ. L. Pasteur - Ctre Rech. Eco-Géogr.; 3, rue de l'Argonne; 67083 Strasbourg Cedex;

FRANCE; MILLEVILLE P.;ORSTOM - LEA; BP 5045; 34032 Montpellier;

FRANCE; MILLO J.L.;CEFIGRE; BP 113; 06561 Valbonne Cedex;

FRANCE; MOREL Alain; Professeur; Inst. Géographie Alpine.; 17, rue Maurice Gignoux; 38000 Grenoble;

FRANCE; MURA Raymond; Consultant; CEMAGREF; 22,Clos Fleurs et Neige; 38410 Uriage;

FRANCE; NEANT Patrick;AFVP; AFVP BP 207; 91311 Montlhery Cedex;

FRANCE; NEBOIT;CNRS Géographie Physique; 29, bd Gergovie; 63000 Clermont-Ferrand;
FRANCE; NORMAND;CEMAGREF BP 121; 3, quai Chauveau; 69009 Lyon;
FRANCE; OBERLINKELS M. REMOND Y., NIEL J-F;Société SIRAS; 2,Rue André Bonin ;
69004 Lyon;
FRANCE; OCHS, OLIVIN;IRHO; BP 5035; 34032 Montpellier Cedex 1;
FRANCE; OLIVEROS Carlos;BRGM/Géologie; BP 6009; 45060 Orléans Cedex;
FRANCE; OUVRY;; Areas Mairie; 76460 St Valérie en Caux;
FRANCE; PASCHEN H.; Ing.; GTZ; 27, Rue des Cimetières; F- 67240 Bischwiller;
FRANCE; PELLEGRIN;CNRS Centre Géomorphologie; Rue des Tilleuls; 14000 Caen;
FRANCE; PELTIER, GOUDET, SARRAILH;ET GUIZOL; CIRAD-Forêts 45 bis, rue de la
Belle Gabrielle; 94000 Nogent s/Marne;
FRANCE; PEREZ Pascal;CIRAD/URGE; BP 5035; 34032 Montpellier;
FRANCE; PICHOT, DUGUE, KALMS;CIRAD/DSA; BP 5035; 34032 Montpellier Cedex 1;
FRANCE; PONCET Y.;ORSTOM; 70-74, route d'Aulnay; 93143 Bondy Cedex;
FRANCE; POSS R.;INRA Science du Sol; 2, place Viala; 34060 Montpellier Cedex 1;
FRANCE; BRABANT P.;; ORSTOM - 70-74, rte d'Aulnay; 93140 Bondy;
FRANCE; QUANTIN P.; ; ORSTOM - 70-74, rte d'Aulnay; 93140 Bondy;
FRANCE; RENEAUD, SENDOUX;IRAT/CIRAD; BP 5035; 34032 Montpellier Cedex 1;
FRANCE; REVEL;Labo. Physico-Chimie des Sols; ENSAT-INP 145, av. de Muret; 31076
Toulouse Cedex;
FRANCE; RICORDEAU D. Documentation;AFOCEL; Domaine de l'Etançon; 77370 Nangis;
FRANCE; RIEU M.;ORSTOM Dept DEC; 213, rue La Fayette; 75480 PARIS Cedex 10;
FRANCE; RIQUIER Jean;ORSTOM-FAO; Ducal U 14, Marina Baie des Anges; 06270
Villeneuve-Loubet;
FRANCE; ROBAIN H.;; Le Prieuré; 41 310 Gourgon;
FRANCE; ROESH;CIRAD-Formation; BP 5035; 34032 Montpellier Cedex 1;
FRANCE; ROGNON P.; Prof.; Univ. P. & M. Curie Dept Géodyn. Mil. Contin.; 4, Place
Jussieu; 75230 Paris Cedex 05;
FRANCE; ROSSI G., POUYLLAU M. et Coll.;; Institut universitaire Bordeaux 3; 33405
Talence cedex;
FRANCE; ROUCHOUSE C.; Réseau Zone Aride; CEFE/CNRS; ORSTOM RZA - BP 5051;
34033 Montpellier;
FRANCE; RULLAN Françoise et A.;; 3, rue de la Hoguette; 14230 Fontenay-le-Marmion;
FRANCE; SABATIER J.L.;CNEARC; BP 5098; 34032 Montpellier Cedex 1;
FRANCE; SIMONIN;IMAGEO; 191, rue St-Jacques; 75005 Paris;
FRANCE; TACHKER Yves;Service RTM Isère; BP 31; 38 040 Grenoble Cedex 9;
FRANCE; TEZENAS DU MONTCEL HUGUES;CIRAD-FLHOR; BP 5035; 34032
MONTPELLIER;
FRANCE; THOURET J.C.;Dpt. de Géographie; 29, av. de Gergovia; 63037 Clermont-
Ferrand;
FRANCE; TIHAY J.P.;Dept Géogr. Univ. Pau; 1500 rte des Côteaux de Guindalos; 64110
Juranson;
FRANCE; TRAYSSAC J.;Univ. P. Valéry UER Géogr.; BP 147 - Rte de Mende; 34032
Montpellier Cedex;
FRANCE; VALET S.;Labo. Pédologie; 40, av. Recteur Pineau; 86022 Poitiers Cedex;
FRANCE; VAUDOUR J., GABERT P.;Institut de Géographie; 29, avenue Schuman; 13621
Aix-en-Provence;
FRANCE; VENIER Philippe;Villa Baramy;86380 Ouzilly;
FRANCE; VIENNOT M. et Coll.;ORSTOM; BP 5045; 34032 Montpellier;
FRANCE; VEYRET Y. et Coll.; Professeur de Géographie; Univ. Paris VII; 7-2, place
Jussieu; 75251 Paris Cedex 05;
FRANCE; VILLEMINOT Philippe;47, rue Paul Arène; Les Hauts de Lambesc; 13410
Lambesc;
FRANCE; WICHEREK et coll.;Ecole Normale Sup. Labo Biogéogr.; Av. Grille d'Honneur -
Le Parc; 92211
Saint Cloud Cedex;

GHANA; BOZZO Jean;Amb. FRANCE/ser. Coop. Cult; BP 157; Accra;

GUINEE; BEAVOGUI MOUSSA; DNRST; BP 561; Conakry;
GUINEE; BERNARD Jean; Min. Agr. Forêt; BP 1114; Conakry;
GUINEE; DIALLO Sara; ISAV; BP 131; Faranah;
GUINEE; Mamadou Nalal DIALLO ; ISAV; BP 131; Faranah;
GUINEE; FAO; Représentant; BP 633; Conakry;
GUINEE; GBILIMOU Molière; Chef section Am., forêts faune ; ISAV; BP 131; Faranah;
GUINEE; KOÏKOÏ Maoumou; Inst. Sup. Agronomique et Vétérinaire; BP 131; Faranah;
GUINEE; MILLE Gilles; Progerfor Banque Mondiale KFW; MARA DNFC/BP 624; Conakry;
GUINEE; SIMPOGUI Pépé.; Prof.; Agro-/pédologie ISAV/MESRS; BP 131; Faranah;

HAITI; GUITO R.; ; FAO ; FAO Delmas; Port- au -Prince;
HAITI; LUC PIERRE-JEAN; Coordinateur ; ASSODL'O; BP 17 019; Thamassin;

HONGRIE; LAJOS Szabo; Univ. Gödöllő Agri. Scie.; Dept. Agriculture Tropicale; H 2103
Gödöllő PO. BOx 303;

INDE; RENARD CH, ADOLPH B. ET BIBLIOTHEQUE; ICRISAT; PATANCHERU PO;
ANDRA PRADESH, 502324;

INDONÉSIE; BEAUDOU Alain; Soil Scientist; ORSTOM c/o Ambassade France; Jalan M.H.
Thamrin, 20; Jakarta Pusat;
INDONÉSIE; GATOT Irianto; SWC/Agro-climato.; JL. Ir. H. Juanda n°98; Bogor 16123;
INDONÉSIE; GOENADI Sunarto; Fac. Techno.
Univ. Gadjeh Mada; Nologaten CT 14/75 RT 03/RW 01 Carturtunggal, Depok; Yogyakarta
55281;
INDONÉSIE; OTENG Haridjaja; Cupang n° 6 RTZ RW XI; Pondok Ramput; Bajar 16162;
INDONÉSIE; SUWARDJO A.; SWC; JL. Ir. H. Juanda n° 98; Bogor 16123;

ISRAËL; YAIR Aaron ; Inst. of Earth Scie.; The Hebrew University; Jerusalem 91904;

ITALIE; ANGER; FAO - AGLS; Viale delle Terme di Caracalla; 00100 ROME;
ITALIE; CHISCI M.G.; Dep. Agronomy ; Université. Piazzale delle Cascine; 50144 Firenze;
ITALIE; FAO/Bibliothèque; ; Via delle Terme di Caracalla; 00100 Rome;
ITALIE; HOSKINS Marylin; Senior officer; FAO FTP ; Via Delle Terme di Caracalla; 00 100
Rome; ;
ITALIE; KHOUZAMI; FAO Dept forêts; Via Delle Terme di Caracalla; 00100 Rome; ;
ITALIE; KOOHAFKAN Parvis; SENIOR OFFICER; FAO Room D-484; Via Delle Terme de
Caracalla; 00 100 Rome;
ITALIE; MANSURI B., KESSEBA A., POSTE S.; IFAD African Division; Via Del Serafico
n° 107; Rome;
ITALIE; MICHAELSEN Tage; Officer; FAO, Div. Res. Forest.; Via delle Terme di Caracalla;
00 100 Rome ;
ITALIE; SEGELA, SANDERS et GRIESBACH;AGLS/FAO; Viale delle terme de Caracalla;
00100 Rome;
ITALIE; TORRI Dino; CNR-Genesi, cartografia; P. Le delle Cascine, 15; Firenze;
ITALIE; VIANELLO GILMO; CSSAS; Via Berti. Pichat 10; 40127 Bologna;

KENYA; AUFEUVRE M.A.; Représentant ORSTOM; CREDU PO BOX 58480; NAIROBI;
KENYA; CHEATLE Rodney, WASWC; Association for better land husbandry; P.O Box
39042; Nairobi;
KENYA; INDALO PETER; Directeur prog.; Oyani Christian rural services; P.O Box 771;
Suna;

KENYA; LEYMARIE, TORQUEBIAU, YOUNG; KIEPE, BENIEST, BONDOLE et Coll. ;
ICRAF Library PO Box 30677; Nairobi;
KENYA; LINIGER Hans; ; P.O. BOx. 144; Nanyuki;

LA REUNION; COUDRAY J; Doyen; Univ. Scie.; 15, Av. René Cassin; 97 489 Saint Denis;
LA REUNION; GENERE; IRAT-CIRAD; Ligne Paradis; 97410 Saint Pierre;
LA REUNION; GOPAL A.; Labo. Géographie physique; 2 bis, rue Parmentier "Bel Air";
97441 Sainte Suzanne;
LA REUNION; MICHELON, CHABALIER; CIRAD-PA; 97487 Saint Denis Cedex;
LA REUNION; PERRET Sylvain. et DUCREUX; Labo. Physique du Sol; CIRAD
; 97487 Saint Denis Cedex;

MADAGASCAR; BYAMANA A., Projet z-ZAHAMENA; Conservation International; BP
5178; Antananarivo 101;
MADAGASCAR; ILTIS JACQUES; Géographe; ORSTOM; BP 434; Antananarivo 101;
MADAGASCAR; RABEMANANJARA Koto; ANAE; BP 5092; Antananarivo 101;
MADAGASCAR; RANDRIAMBOAVONJY J.CH; Dépt des Eaux et Forêts; Ecole Sup. des
Scien. Agronomiques; BP 3044; Antananarivo 101;
MADAGASCAR; RAZAFINDRAKOTO M. Antoinette; Ecole Supérieure des; Sciences
Agronomiques; Antananarivo 103;
MADAGASCAR; RAKOTOMANANA J.Louis. ; FOFIFA; BP 206; Fianarantsoa;
MADAGASCAR; RAKOTONDRALAMBO Andriantahina; ANAE; BP 5092; 101
Antananarivo;
MADAGASCAR; ROGE MAMY ALAIN; Imerinafouvany, lot 26E; Route d'Ivato-Aéroport;
105 Antananarivo;
MADAGASCAR; ROLLIN D. ; Projet Sud Ouest; BP 561; Tulear;
MADAGASCAR; TASSIN J.; CTFT/PRD; BP 80; 503 Ambatondrazaka;
MADAGASCAR; TEYSSIER André.; CIRAD projet IMAMBA-IVAKAKA; BP 80; 503
Ambatondrazaka;

MALI; COULIBALY-Kouloutan; Projet Bit Kita Ministère devt. rural et env.; Dir. Nat. Eaux
Forêts; Bamako;
MALI; CUNY Pascal; Intercoopération; IC-ARFS, BP 164 ; Sikasso;
MALI; DEMBELE Gabriel; Prof.; IPR Katibougou; BP 6 ; Koulikoro;
MALI; DIALLO D, SAMAKE F et Coll.; Représentant; IPR de Katibougou; BP 6; Koulikoro;
MALI; DIARRA S.; Aménagiste DRSPR V/F; BP 186; Sikasso;
MALI; KEBE D., KAYA et Coll.; DRSPR/VF; BP 186; Sikasso;
MALI; LASSANA BA; Lutte antiérosive; CMDT Koutiaa-BP 01; Koutiala;
MALI; LEFAY Olivier; CMDT; BP 27; Sikasso;
MALI; TRAORE MAMADOU; Directeur général; IPR de Katibougou; BP 6; Koulikoro;
MALI; VLAAR; Projet CMDT; BP 92; Koutiala;

MAROC; ALIFRIQUI Mohamed ; Université Cadi Ayad, Laboratoire d'écol. vég.; Unité 5 n°
19 Daoudiate, BP 881 ; Marrakech;
MAROC; BADRAOUI Mohammed; Ing agronome; I A V Science du sol; BP 6202 Rabat
Instituts; Rabat;
MAROC; BELHLALI Mostapha; Faculté des Lettres ; Labo.Géomorphologie; Rabat;
MAROC; BEN ADDERRAZIK *et al.*; Agroconcept; 23 Charia Addah; Rabat aviation;
MAROC; BENCHAAABANE Abderazzak; Faculté des Sciences; Labo. d'écologie végétale; BP
s/15; Marrakech ;
MAROC; BENMOHAMMADI A.; Fac. Scie. Dept Géol.ogie; Kenitra;
MAROC; BOUHLASSA Saidati; Fac. Sciences; BP 1014; Rabat;
MAROC; CHAKER Miloud; Enseignant chercheur; Labo. Géomorphologie; BP 1040; Rabat;
MAROC; DIMANCHE Pierre; GTZ; 33 RUE du 11 janvier; 50 000 Meknes;
MAROC; EL ABBASSI Hassan; Faculté des Lettres; Université de Chouaïb Doulekali,
Département de Géographie; 24000 El Jadida;

MAROC; EL FELLAH Bouchta; Université Mohamed II, Institut Scientifique; Département Géomorphologie, BP 703; Rabat;
MAROC; MHIRIT; Min. Agriculture; Direction Forêt; Conservation des Sols; Rabat-Chellah;
MAROC; LABRAÏMI Mustapha; 95, rue Jaafara Essadik; Appt 53; Rabat Agdal;
MAROC; LAOUINA Abdellah; Inst. de Géographie; Rabat-Ryad BP 2122; Rabat 10 104;
MAROC; MERZOUK; Dept Physique du Sol; I.A.V. Hassan II; BP 6202.; Rabat-Instituts;
MAROC; SABIR M.; ENFI; Ecole Nationale Forestière; BP 511; Salé;
MAROC; TIGMA M.; Chef des Eaux et forêts de Bouarfa; Service des Eaux et Forêts; Bouarfa
MAROC; TRIBAK Abdellatif; Faculté des Lettres; Université Chouaïb Doulekali Dépt Géographie; 24000 EL Jadida;
MAROC; YASSIN Mohamed; D.R.E.F; BP 763; 10 050 Rabat-Agdal;
MAROC; YAZAMI Ztaït; E.N.S GERGP; BP 5187 Sania; Tetouan;
MAROC; ZRAOUTI Abdelkhalek; ; Marché central n° 53; Ifrane;

MAYOTTE; Mr le Directeur de l'Agriculture et des Forêts; ; 97600 Mamoudzou;
MAYOTTE; SALIM MOUSSA; BP 78; 97600 Mamoudzou;

MEXIQUE; DESCROIX LUC; ORSTOM; APARTADO POSTAL 225-3 ZI; 35071 GOMEZ PALACIO (DGO°;
MEXIQUE; NOUVELOT J.F; ORSTOM; APARTADO POSTAL 225-3 ZI; 35071 GOMEZ PALACIO (DGO°;
MEXIQUE; DELHOUME J.P.; ORSTOM; Apartado Postal 57297; 06501 Mexico DF;
MEXIQUE; PRAT Christian; ORSTOM; A.P 57297; 06501 Mexico DF;
MEXIQUE; SEFFREN Carlos; CENID-RASPA; A.P. 41; 35150 Ciudad LERDO (DGO);
MEXIQUE; TIHAY Jean-Pierre; Directeur Centre Scient. et Techn.; Ambassade de France au Mexique 128 bis Rue de l'université; 75 351 Paris SP;

MOZAMBIQUE; DIALLO Amidou; Coordinateur du projet F.O.S; CP15; Songo, Cahora Bassa;

NIGER; AMBOUTA KARIMOU; Fac. Agro. Université; BP 10960; Niamey;
NIGER; BIGA Ab.; Ing. Eaux-Forêts; Dir. Dept Environn.; BP 30; Maradi;
NIGER; BOUZOU Ibrahim; Dept. Géographie Université; BP 418; Niamey;
NIGER; DJIBRILLA Madougou; ; BP 12860; Niamey;
NIGER; GARBA Hamissou; Ingénieur agronome; SNV; B. P. 10.110; Niamey;
NIGER; HABIBOU Mahamadou; Génie Rural; BP 58; Tahoua;
NIGER; HASSANE Abdou; PSN-FIDA NIGER; BP 11; Illela;
NIGER; ISSA B.; INRAN; Chef Dept. Recherches Forest.; BP 225 Niamey;
NIGER; ISSA OUSEINI; Dept. Géographie Université; BP 418; Niamey;
NIGER; MALAM Balla; Min. Hydraul. Envir.; Génie Rural BP 150; Zinder;
NIGER; MICHELS Karlheinz et Coll.; ICRISAT; BP 12404; Niamey;
NIGER; RAJOT Jean-Louis; Centre ORSTOM; BP 11416; Niamey;
NIGER; RENARD; ICRISAT; BP 22 404; Niamey;
NIGER; VALENTIN Christian *et al.*; Centre ORSTOM; BP 11416; NIAMEY;

NIGERIA; IKPE F.; Fac. Agri. Univ. Scie. et Techno.; PMB 5080; Port Harcourt;
NIGERIA; JOHNSON Noël; OUA/CSTR; PMB 23 59; Lagos;

NOUVELLE CALEDONIE; BECQUER TH, BONZON et Coll.. ; Labo. Agro-Pédo. ORSTOM; BP A5; Nouméa Cedex;

PAKISTAN; NEAKAKHTAR H; Resource centre for development alternatives; C/O Mountain Inn; Chitral 17200, NWFP;

PARAGUAY; DERPSH R.; Projet Devt Rural S. Pedro; Casilla de Correo 1859; Asuncion;

PAYS BAS; BERGSMA; ITC 350 bd 1945; POB 6; 7500 AA Enschede;
PAYS BAS; BREMAN H.; Projet PSS; AB-DLO Wageningen P.O BOX 14; NL-6700 AA
Wageningen;
PAYS BAS; DE HAAN L.; Dept. Géol. Humaine; Nieuwe Prinsengracht 130; 1018 VZ
Amsterdam;
PAYS BAS; EPPINK; Groupe Erosion; Nieuwe Kanaal 11; 6709 P.A. Wageningen;
PAYS BAS; HASSING, BLOCKLAND; KIT; Mauritskade 63; 1092 AD Amsterdam;
PAYS-BAS; OLDEMAN Roel; Directeur; ISRIC; P.O. Box 353; 6700 AJ Wageningen;
PAYS-BAS; REIJ Chris; Free University CDCS; PO Box 7161 1007 MC Amsterdam;
PAYS BAS; VAN DRIEL W. et Coll.; ; LVW Dept Irrigation; Nieuwe Kanaal 11; 6709 PA
Wageningen;
PAYS BAS; VAN WEEREN J.; CDCS; De Boelelaan 1115; 1081 HV Amsterdam;
PAYS-BAS; VAN'T LEVEN Erica; Publications Department; KIT Mauritskade 63; 1092 AD
Amsterdam;

PEROU; ALEGRE Julio; INIPA North Carolina; St. Univ. Yurimaguas; Loreto;
PEROU; MORALES Felipe; Université Agraria de la Molina; Lima;

PHILIPPINES; CRUZ Elizabeth.; Nat. Power Corporation; Pulangui IV Hydroelectric plant;
Mamaraz Bukidnon;

PORTUGAL; FIGUEIREDO Tomas; ESAB; Apartado 172; 5300 Bragança;
PORTUGAL; MACEDO W.; ; Apt 202; 500 Vila Real;
PORTUGAL; OLIVEIRA M.; UTAD; Dept Fitotecnia; 5000 Vila Real;
PORTUGAL; PEREIRA LUIS; Inst. Sup. Agronomia; Dept Ing. Rural; Tapada da Ajuda;
1399 Lisboa Cedex;
PORTUGAL; RAMOS PEREIRA Ana; Centro de Estudos Geograficos; Faculdade de Letras;
1699 Lisboa Cedex;
PORTUGAL; ROCHETTE A.; Inst. de Estudos Geograficos; Rua M.A. de Almeida 25, 2° D;
3000 Coimbra;

REP. CAP VERT; MEDINA M.; MDRP Serviços Florestais; CP 50; Praia;
REP. CAP VERT; SMOLIKOWSKI Bernard; Mission Coopération Française; C.P. 82; Praia;
REP. CENTRAFRICAINE; NGOUANZE F. et Coll.; Directeur BNPCS; BP 1374; Bangui;

ROUMANIE; DUMITRIU Ion-Cristian; SCVV; SCVV Stefanesti; Arges 0343;
ROUMANIE; ICHIM I.; Research Station Stejarul; Str. Alexandru cel Bun, 6; Piatra Neamt
5600;

SENEGAL; ALBERGEL, BRAUDEAU; ORSTOM; BP 1386; Dakar;
SENEGAL; BJORKDAHL G.; ; Projet Bois de Village; s/c PNUD BP 154; Dakar;
SENEGAL; DIATTA MALAINY; ISRA-ORSTOM; BP 199 Kaolack;
SENEGAL; FALL BA R.; Bureau Pédologie; 14, av. Lomine Gueye; BP 6225 Dakar;
SENEGAL; MODOU SEN; ISRA; BP 199; Kaolack;
SENEGAL; ORSTOM; Service des Sols; BP 1386; Dakar;
SENEGAL; TANDIA Mahamadou; Univ. St Louis; BP 5084; Saint Louis;

SOUTH AFRICA; MEADOWS Mike; Dept of Geography; Rondebosch 7700;

SUEDE; FRIES J., Professor; Aménagement Serv. forstier; IRDC Box 7005; S-750 07 Uppsala;
SUEDE; MARTENSSON U.; Dept. Géographie Physique; Solvegatan 13; S 22362 Lund;

SUISSE; HURNI Hans; Inst. Géogr. Univ. Berne; Hallerstrasse 12; CH 3012 Berne;
SUISSE; MUSY *et al.*; Ecole Polytech. Fédérale; Ecublens; CH 1015 Lausanne;
SUISSE; SCHAULU Daniel; Inst. Géogr. Univ.; Klingelberg str. 16; CH 4056 Bâle;
SUISSE; SHIESS CHRISTOPH; INST. Geo; Spalenring 145; 4055 Bâle;
SUISSE; SORG Jean-Pierre; Ecole Polytech. Fédérale; ETH Zentrum; Zurich CH-8092;
SUISSE; THOMSON J.; IECA; 15, Rue du Cendrier; 1211 Genève 1;
SUISSE; GUENAT, PURY, VEDY; EPFL, IATE, Pédologie; GR. Ecublens; CH 1015 LAUSANNE;
SUISSE; WINISTORFIER Jorg; Institut de Géographie; BFSH; 1015 Lausanne;

TANZANIE; LASSALLE TH.; Projet UMADEP Sokaine Univ.; P.O Box 3094; Morogoro;
TANZANIE; MTAKWA ; Dept Soil Science; P .O Box 3094; Morogoro;
TANZANIE; VAN ROOIJEN Jaring ; Soil & Water Management; National Soil Service; P.O. Box 1720; Tanga;

TCHAD; ALKHALI SALEH; SECADEV; BP 1166; N'DJAMENA;
TCHAD; BEAUVILAIN Alain; C.N.A.R.; B.P. 1228; N'Djaména;
TCHAD; BRAHIM H.; DRTA; BP 441; N'DJAMENA;
TCHAD; BRY ET COLL; AICF; BP 508; N'DJAMENA;
TCHAD; DERKIMBA ASSANE; INADES FORMATION; BP 945; N'DJAMENA ;
TCHAD; DJIMNOUDJAL DJITOIMADJE; ONDR; BP 896; N'DJAMENA;
TCHAD; GOUNDOUL N'GOLONA; BELAC D/PALA; BP 9; PALA;
TCHAD; HASSAN A.; ONDR; CRD/C.ONDR
BP 108; Moundou;
TCHAD; NDJAL-AMAVA ALLEMANE AMOS; Min. de l'Agriculture et Environnement;
Evaluation de Projets; BP 441; Ndjamenana;
TCHAD; PATCHA KANDJE; Labo analyse sols; BP 441; N'djamena;

THAÏLANDE; ZÛBISCH M. et Bibliothèque; IBSRAM; P.O. Box 9 109 Bangkok; Bangkok 10900;
THAÏLANDE; LATHAM Marc et Coll.; IBSRAM; P.O-Box 9-109/Bangkok; Bangkok 10900;

TOGO; SEGBE; Maison de la Forêt; BP 10; Sotouboua;
TOGO; TCHEMI T.T.; INS; BP 1026; Lomé;

TUNISIE; ABDALLAH Ridma; Hydrologue Chef de division; Division "H.E.R."; C.R.D.A.; Médenine;
TUNISIE; AINI, ELLEUCH; DG Forêt; 30, rue Alain Savary; 1002 Tunis;
TUNISIE; AMAMI Brahim; Ministère de l'éducation et des sciences ; BP 981; Hammam-Lif 2050;
TUNISIE; Prof. BERGAOUI; Ecole Sup. Ingénieurs; Equipement Rural; 9070, route du Kef Medjez; Medjez el-Bale;
TUNISIE; BERRAIES Hedi; Géomorphologue; I. N. R. Forestière; B. P. n° 2; 2080 Ariana;
TUNISIE; BOUFAROUA; Service CÉS; 30, rue A. Savary; 1002 Tunis;
TUNISIE; BOUNOUH Abdelala; Géographe Chercheur; BP 62; 1074 Mourouj 2;
TUNISIE; CAMUS; Mission ORSTOM; 7, rue Teimour; 1004 Tunis El Mensah 1;
TUNISIE; HAMZA A.; Inst. Nat. Agro. Génie rural; 43, av. Ch. Nicole; Tunis;

TUNISIE; KARDOUS Mouldi; ; Institut des régions arides; 4119 Medenine;
TUNISIE; MOUSSA Mohamed; ; Institut des régions arides; 4119 Medenine;
TUNISIE; NASRI Slah; CRGR; Centre de Recherche du Génie Rural; BP 10, Rue Hedi Karray; 2080 Ariana ;
TUNISIE; PONTANIER, ESCADAFAL *et al.*; Mission ORSTOM BP 434; 1004 El Mezah 4; Tunis;
TUNISIE; RAJAH Ahmed; Ingénieur Chef d'arrondissement; Conservation des eaux et du sol; C.R.D.A.; Kasserine 1200;
TUNISIE; SAADANI Youssef; ; Odesypano, Route de Tunis; 9000 Beia;
TUNISIE; SNANE M. et HAMZA A.; INAT Dept GR; 43, avenue Charles Nicolle; Tunis Belvédère;

TURQUIE; DOGAN Orhan; Directeur; Inst. Rech, Sces Ruraux; B. P. 253 Bakanliklar; 06583 Ankara;

USA; COUR J.M.; Room J 7056 World Bank; 600 19th Street N.W.; Washington DC 20433;
USA; DEYBE D., Hughes D., Butcher W.; Dept Agric. Econ. University; Pullman, WA 99164; WASHINGTON;
USA; EL SWAIFY Samir; Dept Agron. Univ. Hawai; 1910 East-West Road; Honolulu H 196822;
USA; HAROLD Steer; World Bank office H 4135; 1818 H. Street; Washington DC 20433;
USA; HARTH Christine; Care ; Care International 151 Ellis Street; Atlanta GA 30303;
USA; LAL R.; Agron. Dept Ohio St. Univ.; 2021 Coffey Road; Columbus Ohio 43210;
USA; MALHER Barbara; Dept of Geo.; University of Texas; 61140 AUSTIN;
USA; MOLDENHAUER W.C.; Executive Secretary WASWC; 317 Marvin; 57071 Volga S.D.;
USA; SEUBERT Chris; Agric. Res. Managt Group; DAI Suite 200; 7250 Woodmont avenue; Bethesda, MD 20814;
USA
UNGER Paul; USDA Agricultural Research Ser. Cons.& Produc; FAO; Bushland Texas;
USA; VAN WAMBEKE Armand; Prof.; Dept Soil Science; Cornell University; Ithaca, NY 14853-1901;
U. S. A; WRIGHT Peter; Consultant; 2976 CR 17, William Stown; 13 493 New York;

VENEZUELA; HETIER J.M. et Coll.; CIELAT Fac. Sc.; Univ. Los Andes; Merida 5101;
YUGOSLAVIE; KOSTADINOV Stanislas; Fac. Forest. Univ. Belgrade; Kneza Visislava 1; 11 030 Belgrade;

ZAIRE; LUKUKU PIDJI ZOLA J.; UNIKIN BP 137; Zone de Ndjili; Kinshasa 20;
ZAIRE; MABWA N'DEBA; Bioclim. s/c PNR/G-CRN; BP 2015 INERA; Yangambi Via Kisangani;
ZAIRE; MONDJALIS P.; Pédol. s/c NR/G et CRN; BP 2015 INERA; Yangambi via Kisangani;
ZAIRE; OSIT Paulina; Projet Agrostologie; BP 615 ; Kinshasa;

ZAMBIE; RWANIKA J.B.; c/o E. Twagirumukiza; Po Box 30051; Lusaka 10101.