

Ministère de l'Environnement

Mission des Etudes  
et de la Recherche

Ministère de l'Agriculture

Ecole Nationale du Génie rural  
des Eaux et des Forêts

EROSION HYDRIQUE ET RESTAURATION DES SOLS  
15 ANS DE TRAVAUX MENES PAR LES  
ORGANISMES DE RECHERCHE ET LES  
SOCIETES DE DEVELOPPEMENT FRANCAIS

Jean BEDEL  
Parviz KOOHAFKAN  
Eric ROOSE

Août 1985

## TABLES DES MATIERES

1.	INTRODUCTION.....	5
1.1	Conditions de réalisation de l'étude.....	5
1.2.	Domaine de l'étude.....	6
<u>PREMIERE PARTIE - OPERATIONS DE RECHERCHES.</u>		
	INTRODUCTION ; L'ENQUETE.....	9
1.	ANALYSE DES OPERATIONS PASSES OU EN COURS.....	10
1.1.	Qui est concerné ?.....	10
1.2	Où les recherches ont-elles été entreprises ?.....	11
1.3	Types d'érosion et méthodes d'étude.....	12
1.4	Thèmes de recherche.....	12
2.	APERCU DES RESULTATS DES RECHERCHES.....	15
2.1.	L'érosion en nappe.....	15
2.1.1.	Agressivité climatique	
2.1.2.	Erodibilité des sols	
2.1.3.	Pente	
2.1.4.	Couverture végétale et techniques culturales	
2.1.5.	Aménagements anti érosifs	
2.1.6.	Problèmes humains	
2.1.7.	Simulation des pluies	
2.1.8.	Problèmes d'échelle	
2.2	L'érosion en montagne.....	20
2.3.	L'érosion sur les coteaux cultivés.....	20
2.4.	CONCLUSION.....	21
3.	PROSPECTIVE : LES THEMES A DEVELOPPER.....	21
3.1.	Analyse des processus, des causes et des facteurs des différentes formes d'érosion, de leur importance relative en fonction des conditions écologiques.....	22
3.2.	Les méthodes conservatoires en relation avec les systèmes de production et leur évolution.....	22
3.3.	Méthodes de recherche.....	23
3.4.	Dans le domaine de la formation.....	23

## DEUXIEME PARTIE - ETUDES DE CAS

ENQUETE SUR LES ACTIONS CONDUITES AUPRES DES SOCIETES DE DEVELOPPEMENT.....	27
1. BASSIN VERSANT AU SEFID RUD EN IRAN.....	29
1.1. Introduction.....	30
1.2. Présentation du contexte socio-politique de l'Iran	30
1.3. Résumé de l'étude.....	32
1.3.1. Problématique et objectifs.....	32
1.3.2. Caractéristiques de la zone.....	33
1.3.3. Utilisation des terres.....	34
1.3.4. Formes et localisation de l'érosion.....	34
1.3.5. Facteurs de l'érosion et principes de traitement	35
1.3.6. Solutions proposées.....	38
1.3.7. Etude économique - Stratégie du Projet.....	40
1.4. Analyse critique du projet.....	42
1.4.1. Aperçu global sur le projet.....	42
1.4.2. Analyse critique de quelques disciplines étudiées	
2. PROJET DE DEVELOPPEMENT RURAL DE LA COMMUNE DE KABZI (BURUNDI) DEFENSE ET RESTAURATION DES SOLS.....	51
2.1. INTRODUCTION.....	52
2.2. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET SOCIO-POLITIQUE DU BURUNDI	52
2.3. RESUME DE L'ETUDE.....	53
2.3.1. Objectifs.....	53
2.3.2. Caractéristiques de la zone d'étude.....	54
2.3.3. Conception des aménagements.....	55
2.4. ANALYSE CRITIQUE DE L'ETUDE.....	55
2.4.1. Aperçu général sur l'étude.....	55
2.4.2. Analyse critique de quelques disciplines étudiées	58

<u>TROISIEME PARTIE - SYNTHESE ET CONCLUSIONS.....</u>	60
1 EROSION ET AMENAGEMENT DU TERRITOIRE.....	61
1.1. Problématique aval.....	61
1.2. Problématique amont.....	62
1.2.1. Modernisation des pratiques culturelles.....	62
1.2.2. Crise de sociétés rurales.....	62
2 DEMARCHE RECHERCHE DEVELOPPEMENT.....	64
2.1. Diagnostic finalisé.....	64
2.2. Référentiel technique.....	65
2.3. Appropriation des innovations.....	65
3 DEVELOPPEMENT RURAL INTEGRE.....	66
4 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	66
Annexe I - Liste des fiches des opérations de recherche	70
Annexe II - Liste des opérations de développement.....	85

## 1. INTRODUCTION

### 1.1. Conditions de réalisation de l'étude

Le Ministère de l'Environnement anime les travaux d'un Groupe de travail interministériel sur l'érosion des sols. Entrent dans le champ des investigations du Groupe, les actions de recherche, celles de développement ou d'expertise et celles de formation sur l'érosion, réalisées en France et dans les pays en développement (PED) par les organismes français opérant seuls ou en liaison avec des organismes internationaux ou nationaux.

L'action prise en compte peut porter :

- principalement, sur l'érosion des sols : analyse des causes, des mécanismes, des formes, des conséquences, cartographie, élaboration et suivi d'aménagements anti-érosifs.
- sur des actions non centrées sur l'érosion des sols, mais comportant un travail spécifique sur les phénomènes d'érosion, considérés comme obstacle, contrainte ou risque par rapport aux objectifs principaux de l'action.

C'est dans le cadre des travaux de ce Groupe que le Ministère de l'Environnement a demandé à l'Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts (ENGREF) de réaliser une étude portant sur :

- le recueil des compétences françaises, inventaire et analyse des actions de recherche, de développement et de formation réalisés depuis une quinzaine d'années, par les organismes français du secteur public, semi-public ou privé dans le domaine de l'érosion des sols.
- l'évaluation de quelques cas, étude détaillée d'actions représentatives, pour alimenter une réflexion méthodologique en vue d'améliorer le traitement de l'érosion.

L'ENGREF a voulu créer une dynamique en associant d'autres organismes à ce travail ; c'est ainsi que :

- Eric ROOSE, directeur de recherches à l'ORSTOM, a pris en charge l'inventaire et l'analyse des actions menées par les organismes de recherche ;
- Parviz KOOHAFKAN, ingénieur forestier et phytoécologue, a fait l'inventaire des projets de développement et a réalisé l'évaluation de deux cas.

Cette étude veut être une réponse à la difficulté de circulation de l'information des actions de recherche menées notamment en France.

Cette étude a également pour objectif une capitalisation du savoir-faire et de l'expérience des sociétés d'aménagement, capitalisation difficile pour des raisons analysées plus loin.

Ce document est articulé autour de cinq thèmes :

- limites du domaine de l'étude, justification des choix faits ;
- analyse des actions menées par les organismes de recherche ;
- inventaire, par zones géographiques, des actions conduites par les sociétés d'aménagement, à partir des enquêtes menées par J. THOMAS, E. ROOSE et P. KOOHAFKAN
- aménagement du territoire et érosion ; de qui émane la demande pour des traitements anti-érosifs ? Dans quelle problématique s'inscrivent de telles opérations ?
- propositions pour réaliser une meilleure adéquation entre demande sociale et traitement de l'érosion, et, donc, améliorer l'efficacité des traitements. On propose, pour cela, l'approche recherche développement intégrée (RDI), qui est rapidement présentée.

Ce document n'est donc pas un manuel à l'usage des responsables de l'aménagement d'un bassin versant. Il ne traite aucunement des méthodes et techniques anti-érosives. Il existe, dans ce domaine, d'excellents ouvrages, notamment :

- Conservation des sols au sud du Sahara, édité par le Ministère de la Coopération et rédigé par le CTFT ;
- Documents FAO de la série "Cahiers Conservation des sols"
- et, plus difficile à se procurer, rapports techniques du projet FAO.MOR/71/536 "lutte contre l'érosion et conservation des sols au Maroc".

## 1.2. Domaine de l'étude

L'érosion affecte l'ensemble des terres du globe. On regroupe, sous le terme érosion, des phénomènes très différents.

Chaque forme d'érosion a son déterminisme et son dynamisme propre, d'où une certaine confusion.

Tant qu'il y a équilibre entre pédogénèse (ensemble des processus contribuant à la formation d'un sol) et morphogénèse (rajeunissement des surfaces du paysage), on parle d'érosion géologique ; celle-ci concerne des échelles de temps très longues et intéresse le géologue, le géomorphologue et le géographe, elle n'est pas l'objet de notre étude.

Par contre, la situation de déséquilibre intéresse l'aménageur. On parle alors de dégradation des sols, qui peut être :

- chimique
- physique
- mécanique ; exportation de particules.

La dégradation chimique, quelquefois qualifiée d'érosion chimique, par dissolution d'éléments minéraux ou/et par détérioration de la matière organique, correspond à :

- un appauvrissement, par migration du haut vers le bas ; c'est le lessivage ;
- une migration du bas vers le haut d'éléments minéraux (NaCl en particulier).

Dans les deux cas, la conséquence est une diminution du potentiel de fertilité du sol.

Les méthodes de lutte contre l'érosion de type DRS ont peu d'impact sur la dégradation chimique et/ou physique qui concerne d'avantage le pédologue et l'agronome et se raisonnent plutôt au niveau de la parcelle.

L'érosion par départ de particules, de taille variable peut être due :

- au vent, déterminant principal dans les régions sèches notamment dans les zones désertiques. L'érosion éolienne est importante, en particulier dans les pays du Sahel mais également sur les dunes littorales des pays tempérés.

- à la pluie , c'est l'érosion hydrique liée au ruissellement.

Ce document traite essentiellement de l'érosion hydrique limitée à la mise en valeur agricole, pastorale ou forestière. Nous n'avons, en effet, pas les moyens d'appréhender l'érosion sous toutes ses formes.

Sont donc exclus :

- l'érosion torrentielle ; coulée de boue et de matériaux grossiers ;
- les glissements de terrain, tous les deux perçus généralement comme catastrophes naturelles ;
- les sapements de berges et les charriages de fond des rivières et des fleuves qui ont un déterminisme et une dynamique très spécifiques ;
- l'érosion des côtes et des embouchures de rivières et fleuves.

Dans la suite du document, on désignera souvent, par érosion, sans autres précisions, l'érosion hydrique définie ci-dessus.

PREMIERE PARTIE - OPERATIONS DE RECHERCHES



## INTRODUCTION : L'ENQUETE

Les Organismes de recherche (CEMAGREF, CNRS, GERDAT, INRA, ORSTOM, Université etc...) et les chercheurs dont les noms figurent en annexe ont été invités à répondre à un questionnaire (formulaire en annexe) destiné à préciser les équipes engagées, les objectifs, les méthodes et les résultats des opérations de recherche (unité de lieu, d'équipe et si possible de méthode).

Une large place était laissée aux auteurs pour faire une analyse critique des résultats, des commentaires sur la participation aux travaux et l'application des résultats par les intéressés, ainsi qu'une liste des publications et des études complémentaires à promouvoir.

Grâce à la collaboration de tous, en particulier du C.T.F.T. qui a réalisé une synthèse de ses travaux en ce domaine (203 p.) et de l'INRA (liste de 17 projets de recherche en France présentés à la CEE en 1983), 134 fiches ont été retenues, décrivant des opérations ponctuelles ou régionales, à des stades très variables d'avancement.

En principe, on a choisi de faire apparaître chaque équipe de chercheurs dont les travaux sont concernés par la conservation de l'eau et de la fertilité des sols en France et Outre-Mer. Cependant, ont été laissées en réserve les opérations trop anciennes terminées avant 1972, et ont été mis à part les nouveaux projets, qui n'ont pas démarré avant 1984 ; n'ont pas été retenues certaines opérations très limitées dans le temps (du genre enquête de faisabilité, ou missions de courte durée) ou des opérations plus orientées vers le développement que vers la recherche méthodologique originale.

Malgré de nombreux recoupements d'information, quelques opérations ont pu échapper à l'enquête. Que les chercheurs concernés trouvent ici toutes nos excuses et nous informent rapidement de leurs travaux afin de compléter le fichier. Celui-ci peut être consulté à l'ENGREF, Centre de Montpellier.

Il faut souligner le nombre étonnant d'opérations de recherches concernées par l'érosion : 90 en régions tropicales et 44 en France !

Ceci dénote de l'intérêt soutenu des chercheurs français vis-à-vis des problèmes d'eau et d'érosion, et d'un souci actuellement renouvelé d'y porter remède, tant en France que dans les régions tropicales où les projets de développement agricole se heurtent à la dégradation rapide des sols.

La qualité des fiches présentées est assez hétérogène. Certaines ont été remplies avec beaucoup d'esprit critique et assorties de commentaires sur la précision des résultats et de listes de publications. D'autres mériteraient d'être précisées. Cette hétérogénéité ne permet pas de pousser l'analyse aussi loin que souhaité.

Les recherches prises en compte sont centrées sur l'érosion des sols suite aux actions humaines.

Ce compte-rendu d'enquête comporte trois parties :

- une analyse des résultats de l'enquête,

- un bilan des résultats acquis au cours des études passées ou en cours,
- une analyse des tendances actuelles des recherches et quelques suggestions sur les études à développer pour aboutir à une meilleure maîtrise de la gestion de l'eau et des sols.

## 1. ANALYSE DES OPERATIONS PASSEES OU EN COURS

### 1.1. Qui est concerné ?

	FICHES-PROJETS
ORSTOM ; pédologues, hydrologues, géomorphologues, 1 agronome.....	45 + 1
GERDAT / CIRAD ; CTFT (19) - IRAT (9 + 1) - IEMVT (2) - IRHO (1).....	31 + 1
Universités ; géographes, 1 hydrologue, 1 hydro-géologue.....	26
INRA ; botanistes, pédologues, agronomes.....	9
CEMAGREF ; hydrologues, forestiers, agronomes.....	7
INAPG ; pédologues, agronomes.....	4
Ministère Agriculture ; (DIAME, SRAE, DDA) + Coopération.....	5
Divers ; SOGREAH (3), Ecole Normale Supérieure, Institut National Géographique.....	5

En France, les problèmes d'érosion se sont posés au 19<sup>ème</sup> siècle, en montagne et/ou en relation avec des défrichements : c'était donc avant tout l'affaire des forestiers (CEMAGREF et ONF). Ce n'est que récemment, depuis les années 1950, que les agronomes se sont intéressés aux vignobles sur coteaux, à la dégradation des terres de grandes cultures sur plateaux limoneux (INRA, Ministère Agriculture, DDA + SRAE, INAPG, Universités) et à ses conséquences pour l'environnement (CEMAGREF). Les processus d'érosion ont été étudiés par des géomorphologues et quelques hydrologues (UNIV. et CNRS).

Outre-Mer, les forestiers (CTFT) et les hydrologues (ORSTOM) ont étudié les effets de la dégradation ou de la restauration des couvertures végétales sur le régime des écoulements. Les agro-pédologues de l'ORSTOM et de l'IRAT firent de nombreuses

expérimentations sur parcelles pour chiffrer l'impact des différents facteurs de l'érosion et aborder le processus d'infiltration et de transports solubles et solides. Aucun socio-économiste (!), peu de sédimentologues-géologues et trop peu d'agronomes ont participé à ces recherches. Les problèmes humains que posent l'érosion (coût de l'érosion, de ses nuisances, coût des méthodes de protection ; acceptation ou rejet des aménagements ou des techniques de lutte par différentes communautés sociales ou culturelles ; législation conservatoire) n'ont pratiquement pas été abordés, si bien qu'il existe un décalage regrettable entre la recherche (parfois très avancée) et les applications (aménagements souvent inadaptés). Nous manquons également de recherches sur les déterminismes sociaux et politiques de l'érosion.

### 1.2. Où les recherches ont-elles été entreprises ?

<u>En France</u> .....44	<u>Outre-Mer</u> ..... .90	<u>Régions climatiques</u>
Montagne.....16	Afrique Nord..... .16	aride, semi-aride, méditerranéen.....28
Méditerranée.....5	Afrique Noire..... .44	trop. sec, sahélien..25
Vignobles/coteaux...8	Madagascar, Réunion, Comores .....13	trop. humide.....20
Cultures/plateaux..15.	Amérique Latine.....11	équat. perhumide.... 6
	Asie, Océanie..... 6	trop. altitude.....11

Les recherches sur l'érosion sont deux fois plus nombreuses Outre-Mer qu'en France : elles sont particulièrement abondantes en Afrique Noire (surtout Afrique Occidentale), en Afrique du Nord et à Madagascar, mais encore peu nombreuses en Amérique Latine et surtout en Asie. Les régions écologiques les mieux couvertes vont du semi-aride (+ ou - méditerranéen ou sahélien) au tropical humide (pluies annuelles de 200 à 2000 mm). Les études sont rares en altitude (sauf à Madagascar) et surtout en zone équatoriale perhumide (P > 2500 mm).

En France, les zones les plus fréquemment étudiées sont les montagnes, les vignobles et, plus récemment, les zones de grandes cultures. Paradoxalement, la zone méditerranéenne française soumise à l'érosion depuis des siècles n'a guère attiré les chercheurs (sauf en montagne : Mont Lozère, Causse Méjan, Real Colobrière, Draix, etc.).

### 1.3. Types d'érosion et méthodes d'étude

<u>Types d'érosion</u>		<u>Méthode d'étude</u>		
en nappe	63	parcelle	41	carto/photos aériennes 18
ravinement	3	champs, versant	12	télédétection 2
glissement/masse	2	B.V.(bassin versant)	24	enquêtes 10
torrent	4	simulateur/terrain	25	observ. terrain 8
éolienne	4	laboratoire	4	parcelles agronomiques 8
sédimentation	5	repères	3	analyses statistiques 8
dégradation chimique	2	potelets	2	

Le type d'érosion en nappe et rigole (1er stade de la dégradation des terres) est de très loin le plus fréquemment étudié. Comme l'érosion en nappe est souvent à l'origine du ruissellement et des autres types d'érosion, ce n'est pas une mauvaise chose. Cependant, il apparaît actuellement qu'on manque d'information sur le ravinement, les mouvements de masse, l'érosion en tunnel et l'érosion des berges qui sont à l'origine d'une quantité considérable de sédiments qui encombrant les réserves artificielles (en particulier en montagne, en zone aride ou méditerranéenne).

Le type de méthode d'approche reflète évidemment le type d'érosion étudié. Les mesures sur parcelles (50 à 500 m<sup>2</sup>), sur champs ou versants (0.1 à 1 ha) ainsi qu'un simulateur de pluie (1 à 50 m<sup>2</sup>) ne concernent que l'érosion en nappe. Les repères (100 fois moins précis) sont mieux adaptés à l'étude de ravines qui évoluent surtout lors des séries d'averses rares. On sait peu de choses sur les différentes sortes de glissement de masse et sur les méthodes de leur prévention ou stabilisation. Les mesures de correction torrentielle et les méthodes appliquées à la Restauration des Terrains de Montagne en France n'ont pas été étudiées dans cette enquête. A l'échelle des bassins versants, on maîtrise assez bien l'évaluation de la charge en suspension, mais très mal le charriage de fond, dès que la surface dépasse 1 à 10 ha (fosse à sédiments, marquage). En France, les observations qualitatives (enquêtes) et les approches cartographiques détaillées (état actuel de l'érosion ou risques d'érosion) sont plus fréquentes que les mesures de transports solides sur le terrain (plus exigeant en personnel) ou les expériences de laboratoire. Signalons le développement actuel des méthodes de simulation de pluie pour étudier le ruissellement et la détachabilité des terres, ainsi que des méthodes statistiques (analyse factorielle des correspondances).

### 1.4. Thèmes de recherche

Les thèmes de recherche sur la conservation de l'eau et des sols sont extrêmement nombreux (cf. tableaux en annexe, colonne 3) : nous les avons regroupés en 16 rubriques :

- Quantification des causes et des facteurs de l'érosion en nappe...25
- Dynamique (ou fonctionnement) des couvertures pédologiques.....14

- Processus impliqués à la naissance du ruissellement et du transport solide (simulateur).....	10
- Bilan hydrique + transports solubles et solides dans les bassins versants.....	7
- Cartes de l'érosion actuelle ou potentielle ; potentialité des terres (An. statistique de données sur le terrain).....	15
- Influence du feu, pâturage ou culture et différents couverts végétaux sur E.R. en plaine.....	16
- Influence feu, pâturage ou défrichement sur morphogénèse en montagne.....	4
- Influence différentes techniques culturales (travail du sol, drainage, mécanisation, remembrement).....	17
- Correction torrentielle + ravinement.....	4
- glissement terrain.....	1
- Restauration des paysages (revégétalisation de talus, ravines, pistes, rejets miniers).....	8
- Economie de l'eau, protection anti-E, nappe, aménagements agricoles.....	28
- Protection contre les sédiments (barrages, rivières, etc.).....	9
- Lutte anti-érosive : recherche et développement.....	9
- Erosion éolienne.....	4
- Etude méthodologique.....	3

De ce tableau, il ressort que les chercheurs peuvent prendre deux attitudes plus ou moins complémentaires :

- 1) l'attitude du naturaliste qui examine le bilan de l'eau et les transports solubles et solides comme des éléments d'information sur les processus de pédogénèse, de morphogénèse et de formation du réseau hydraulique (N = 53).
- 2) l'attitude de l'aménageur (conservationniste) qui étudie l'impact de différents traitements sur les écoulements et les transferts de matières (N = 20).

On constate que les phénomènes d'érosions ont été davantage étudiés en vue de lever des contraintes au développement que pour approfondir nos connaissances de base sur les processus de ruissellement et d'érosion : il s'agit donc de recherche assez largement finalisées.

Les études quantitatives des causes et des facteurs de l'érosion ont été bien développées en régions tropicales, mais elles se limitent à l'érosion en nappe (sur parcelles). On connaît peu de

choses sur l'importance relative de l'érosion en nappe, en griffe, en ravine, en glissement de terrain, l'érosion des berges et des rivières en fonction des régions dans les apports de sédiments aux réservoirs (sauf travaux de Heusch au Maroc et en Iran). Peu de travaux font état des processus en cause dans la croissance des ravines, dans la fréquence et l'importance des glissements de terrain et moins encore apportent des solutions pratiques aux problèmes qu'ils posent (sauf CEMAGREF).

De nombreuses recherches s'attachent à l'étude de l'influence de diverses couvertures végétales plus ou moins naturelles ou soumises à différents traitements dans le cadre d'aménagements complexes. Elles permettent de se faire une idée globale de l'impact de ces systèmes de culture et des phases critiques de l'installation du couvert sur les écoulements de base ou de pointe et sur les transports solides ; compte tenu de protocoles mal conçus, il est généralement difficile de tirer des conclusions sur l'efficacité de chacun des composants du système (rotation, défrichage, travail du sol ou terrassement) et donc d'extrapoler les résultats à d'autres régions ou d'améliorer l'efficacité de la méthode. L'interprétation des résultats se complique encore du fait des effets d'échelles (érosion : phénomènes complexes non linéaires, seuils, effets cumulatifs ou non), les études expérimentales à différentes échelles de temps et d'espace sont rares et coûteuses (et leurs résultats sont souvent sous-exploités). Peu d'études abordent sérieusement ce problème d'échelle ; les dispositifs expérimentaux d'obtention des données et leur traitement dépendent souvent plus des restrictions financières que des objectifs initiaux des projets. Même si un gros effort méthodologique a été développé au CTFT (Madagascar et Guyane), à l'ORSTOM (simulateurs, mesures à différentes échelles), au Maroc (HEUSCH et al.) à l'université de Strasbourg et à l'Ecole Normale Supérieure (Cessièrre), il reste des domaines mal couverts (charriage de fond par exemple).

L'importance de la couverture végétale et des méthodes biologiques pour la conservation de l'eau et des sols semble suffisamment connue pour avoir fait l'objet de nombreuses études en régions chaudes. En France, a été réalisé un gros travail de sélection des espèces herbacées ou arbustives capables de recouvrir rapidement et de protéger les surfaces dénudées (souvent très pauvres en réserves hydriques et minérales). Il s'agit de donner aux aménageurs des méthodes de revégétalisation de zones qui ont fait l'objet de bouleversements en montagne (routes, pistes de ski, etc.) ou sur des déblais miniers (Nouvelle Calédonie notamment). Signalons aussi l'opération pilote du Val de Canche, où furent mises au point des techniques de couverture du sol en hiver.

Par contre, il n'existe pratiquement pas d'expérimentation scientifique démontrant l'efficacité des aménagements mécaniques et l'adaptation des différents types de terrasses aux contraintes écologiques. Ceci est probablement à mettre en relation avec l'absence de suivi des grands aménagements antiérosifs. Il serait donc judicieux d'étudier les réussites et les échecs des aménagements existants, tout autour du bassin méditerranéen ainsi que dans d'autres zones écologiques plus humides, en prenant en compte à la fois les aspects techniques et socio-économiques.

## 2. APERÇU DES RESULTATS DES RECHERCHES

Il n'a été tenu compte que des recherches sur le milieu physique, puisqu'aucune fiche n'a abordé les déterminismes sociaux.

### 2.1. L'érosion en nappe

Elle est fonction de l'agressivité climatique (E. potentielle) et des facteurs de résistance du milieu (sol, pente, couvert végétal, aménagement). Wischmeier et Smith (1960 - 78) ont développé une équation empirique de prévision de l'érosion au champs moyenne sur 20 ans, basée sur l'analyse statistique de plus de 10 000 résultats annuels de mesures sur parcelles et petits bassins versants aux USA. De nombreuses études ont été réalisées en Afrique et à Madagascar pour quantifier les facteurs de cette équation (8 - 9 - 10 - 11 - 12 - 13 - 14 - 15 - 16 - 18 - 19 - 20 - 21 - 23 - 24 - 29 - 32 - 36 - 53 - 106 - 120 en Afrique et Madagascar ; 36 - 55 - 75 - 81 - 82 - 83 - 93 - 96 - ; 118 en France).

Plusieurs chercheurs ont mis en doute l'intérêt de cette équation pour les pays en développement, soit parce qu'on y manque de données, soit parce qu'elle n'est pas adaptée à l'échelle de l'averse ni aux grands bassins versants, et surtout parce qu'elle néglige la plupart des interactions entre facteurs. Plusieurs chercheurs souhaiteraient des modèles physiques, expliquant les processus en causes.

Pour l'instant, cette équation sert de base à la lutte antiérosive aux USA et a eu le mérite de clarifier le rôle de chaque facteur sous différents climats.

#### 2.1.1. Agressivité climatique

Wischmeier a proposé un indice (E I30) tenant compte de l'énergie cinétique des gouttes de pluie et de leur intensité maximale en 30 minutes. Cet indice varie en moyenne de 20 à 120 en région tempérée, de 50 à 350 en région méditerranéenne, de 100 à 500 en région semi-aride ou tropicale sèche et de 600 à 1 500 en région forestière tropicale humide ou équatoriale. Malgré de faibles valeurs de cet indice d'érosivité climatique, il peut se développer, en France, des phénomènes d'érosions graves (par ex. Nord Pas de Calais). Cette valeur moyenne maintenant connue en France, en Afrique de l'ouest, à Madagascar, au Brésil et bien sûr aux USA, devrait être complétée par une analyse fréquentielle des averses rares et des séries d'averses. On en conclut que les régions tropicales humides sont exposées à de très gros risques (érosion potentielle 30 à 70 fois plus élevée qu'en région tempérée) ; cependant, du fait de leur humidité, ces régions forestières sont généralement bien couvertes et moins érodées que les steppes semi-arides qui reçoivent moins de pluies mais sur des surfaces presque nues.

#### 2.1.2. Erodibilité des sols

Les études concernant l'érodibilité des sols ont montré que celle-ci dépend non seulement des propriétés intrinsèques du sol

(texture : graviers, limons et sables fins ; stabilité structurale : type d'argile, taux de matières organiques, fer et alumine libres, CaCO<sub>3</sub>, Na échangeable ; caractères hydrodynamiques de la surface et de l'ensemble du profil) mais aussi de la rugosité de la surface. Calculé à partir des mesures sur parcelles nues standards pendant 5 ans, l'indice d'érodibilité diminue de 0.70 à 0.01, à mesure que la résistance des sols augmente. Suite aux nombreux échecs de mise en valeur des terres tropicales du fait de leur dégradation physique et chimique, il était admis que les sols tropicaux sont particulièrement fragiles. Or, les résultats des mesures montrent que bien des sols lessivés tempérés (bruns lessivés K = 0.3 - 0.5) ont des indices d'érodibilité plus élevés que les sols tropicaux (sols ferrallitiques K = 0.03 à 0.20... parfois plus à Madagascar ; sols ferrugineux 0.20 - 0.30 ; sols gravillonnaires en surface K = 0.01 - 0.05 ; sols vertiques K = 0.10).

Cependant, la variation de K sur la même parcelle est élevée en fonction des saisons et des techniques culturales. La méthode des parcelles nues standards est trop longue et il manque encore une méthode universellement acceptée, facile et rapide à obtenir sur le terrain ou au laboratoire, qui permette de prévoir avec sécurité les contraintes à la mise en culture des sols qui évoluent vite après défrichement. Ce facteur "érodibilité des sols" intervient à 2 niveaux dans le cadre des projets de développement : d'abord le choix des terres les plus résistantes (facteur de variation 1 à 12) et ensuite l'amélioration de leur structure par les amendements (var. 1 à 3).

### 2.1.3. Pente

Sauf dans quelques cas particuliers, la pente augmente généralement l'érosion. En zone de culture, l'indice SL varie de 0.1 à 5 -rarement jusqu'à 20 (s'il s'agit d'érosion en nappe et rigoles). Cependant, sur certains sols, l'érosion et surtout le ruissellement se développent déjà sur de très faibles pentes (<1%) (8 à 12) (29) (81). L'érosion croît plus vite que la pente (cumul de l'énergie des pluies et du ruissellement) tandis que le ruissellement dépend étroitement de l'état de la surface du sol (humidité, rugosité, pierrosité, végétation, etc.). L'influence de la longueur de pente est faible sur l'érosion en nappe (les frottements limitent la vitesse des nappes d'eau) mais peut être importante si le ruissellement se concentre (rigoles et ravines). Dans l'optique de la conservation des sols, on peut sélectionner les pentes les moins fortes, en réduire l'inclinaison (terrasses) et limiter l'effet cumulatif de la longueur de pente en provoquant la sédimentation sur place des particules détachées (terrasses progressives, bandes alternées, travail du sol grossier en courbe de niveau).

### 2.1.4. Couverture végétale et techniques culturales

Le couvert végétal et les techniques culturales sont les facteurs qui influencent le plus le ruissellement et surtout l'érosion (C varie de 1 à 1/100). Il s'agit de protéger la porosité de la surface du sol contre l'énergie des gouttes de pluie ; d'où l'importance de la couverture végétale basse, des litières forestières, des prairies denses, du paillage, de l'aménagement en surface



des résidus de culture qui absorbent une fraction de l'énergie des pluies et, de plus, ralentissent le ruissellement. Le travail du sol augmente temporairement la macroporosité et l'infiltration, mais en même temps réduit la cohésion du matériau : il augmente les risques de transports solides si le sol n'est pas rapidement protégé par la culture. Une mécanisation lourde et mal conçue entraîne le tassement des couches profondes, augmente les risques d'engorgement (et de ruissellement) en cas de fortes averses et réduit la réserve d'eau et de nutriment à la disposition des cultures. Toute une série de méthodes biologiques permettent de lutter contre la dégradation des propriétés physiques et chimiques des horizons superficiels et de réduire très efficacement le ruissellement et l'érosion dès son origine sur le champ. Bon nombre d'aménagements fonciers (terrassements et canalisation du ruissellement) ne réduisent que les nuisances du ruissellement... en aval ; par contre, un bon drainage accélère le ressuyage et permet de travailler les terres dans de bonnes conditions. Le soussolage et le labour profond n'améliorent l'infiltration de façon durable que s'ils sont pratiqués dans des sols stables : d'où l'intérêt des labours de fin de cycle et de l'incorporation de pailles et d'amendements calcaires.

#### 2.1.5. Aménagements anti-érosifs

Les aménagements anti-érosifs, à l'échelle d'une parcelle (labour et billonage en courbes de niveau, bandes d'arrêts enherbées, etc.), ne réduisent l'érosion qu'au tiers ou - au maximum - au dixième de sa valeur, sans aménagement. C'est déjà appréciable, bien que ce facteur soit moins efficace que le couvert végétal (1/100), et que son efficacité s'annule dès que la pente dépasse 5 à 10 % .

Un aménagement à l'échelle d'un versant ou d'un bassin versant tire profit des interactions entre tous les facteurs favorables et comprend :

- une carte de potentialité des terres en fonction de la couverture végétale et des risques de dégradation ;
- la définition des structures permanentes (routes, fossés, drainage, bandes d'arrêt, terrasses, etc.) et de la taille du parcellaire ;
- la définition d'un système de culture intégrant les méthodes biologiques (couverture du sol, fertilisation équilibrée, résidus de culture en surface, prairies temporaires, plantes de couverture, amendements, etc.).

De tels aménagements ont donné de bons résultats à Madagascar et en Afrique de l'Ouest ; tout au moins en station de recherche.

#### 2.1.6. Problèmes humains

Cependant, même si les aménagements sont satisfaisants d'un point de vue technique, on constate qu'ils n'ont guère fait tache d'huile, probablement pour des raisons socio-économiques.

Il reste en effet un gros effort à faire pour étudier les facteurs humains et répondre à des questions telles que :

- l'effort de conservation des sols est-il rentable à l'échelle d'une vie humaine ?
- les régimes fonciers encouragent-ils des investissements pour bonifier ou simplement conserver les potentialités des terres ?
- quel est le coût de l'érosion (au champ et en aval) ?
- quels sont les coûts comparés des nombreuses méthodes disponibles ?
- quelles sont les méthodes traditionnelles de protection des terres ?
- les bénéficiaires des aménagements sont-ils motivés pour en accepter les contraintes ? ont-ils été associés à la conception, aux décisions, à la réalisation des aménagements ? ou seulement été désignés pour un entretien ?
- comment combiner l'aménagement conservatoire des terres avec le mode d'utilisation coutumier des usages ?

L'enquête n'a pas permis d'identifier les recherches éclairant la question des causes sociales du développement de l'érosion.

#### 2.1.7. Simulation des pluies

A la suite de quelques précurseurs (Cormary et Masson en Tunisie, en 1960 ; Kalman au Maroc, en 1972, etc.), de nombreux chercheurs ont entrepris des études de terrain à l'aide de simulateurs de pluies (sur 1 à 50 m<sup>2</sup>), dans le but de comparer la réaction à la pluie de différents sols soumis à différents traitements culturaux et couverts végétaux, et en vue d'analyser finement les processus qui président à la naissance du ruissellement et de sa charge solide (et parfois soluble).

Sans nier l'influence des organisations profondes des sols (effet durable mais localisé du drainage), toutes les études soulignent l'importance de l'état de la surface du sol (rugosité; organisations pelliculaires superficielles, humidité, végétation et résidus de culture à la surface du sol, cailloux, activités de la mésofaune, stabilité structurale, etc.), l'efficacité temporaire du travail du sol sur l'infiltration, les dangers d'une pulvérisation trop poussée du lit de semence et la variabilité spatiale de la réponse à la pluie d'un même type de sol (en fonction des traitements culturaux et du couvert).

S'appuyant sur ces connaissances, une équipe d'hydrologues et de pédologues de l'ORSTOM a entrepris de reconstituer par calcul (modèle cumulatif), les crues sur petits bassins représentatifs (1 - 10 km<sup>2</sup>), à partir d'un zonage des états de surface du sol, de simulations ponctuelles de pluies de diverses intensités sur chaque zone et de mesures hydrologiques classiques sur ces bassins effectuées durant une seule saison des pluies.

### 2.1.8. Problèmes d'échelle

Le ruissellement et, plus encore, l'érosion sont des phénomènes complexes discontinus dans le temps (averses rares ou en séries) et dans l'espace ; leur étude pose des problèmes d'échelle.

Si les parcelles relativement homogènes sont les lieux privilégiés pour l'étude comparative des facteurs du ruissellement et de l'érosion en nappe, il est souvent délicat d'extrapoler les résultats d'observations à de grandes surfaces où peuvent interférer des processus différents. Le bassin versant, quoique plus hétérogène par nature (variabilité des pentes, roches, couvertures végétales et pédologiques), représente une unité plus naturelle du comportement régional ; malheureusement, l'acquisition des données et leur interprétation est plus difficile. Encore faut-il choisir des bassins de taille suffisante si l'on veut analyser toutes les composantes du bilan hydrique (en particulier l'écoulement de base) et les transports solides susceptibles d'envaser les retenues. Quelques études de l'érosion à différentes échelles (du m<sup>2</sup> au km<sup>2</sup> et plus) ont été entreprises à Madagascar, au Maroc, en Tunisie, en Côte d'Ivoire et en Guyane. Elles montrent toute la difficulté de passer de l'échelle du m<sup>2</sup> au versant, et, de là, aux bassins de taille croissante : il n'y aurait pas de règle générale, car, selon les cas, les phénomènes sont cumulatifs (ex. : Heusch, au Maroc, l'érosion augmente avec la taille du bassin) ou, au contraire, tempérés par l'existence de pièges dans le paysage (ex. : sols colluviaux en Afrique).

En fait, sous le terme d'érosion, se cachent différents types MORPHOGENETIQUES et différents processus : il est donc dangereux de chercher - à l'échelle d'un bassin versant - des corrélations entre les caractères physiques et l'érosion.

Certaines études analysent les systèmes agraires à l'échelle régionale ; cette approche leur a permis d'intégrer les facteurs physiques et humains du développement de l'érosion, et de définir des aménagements conservatoires qui ont des chances d'être acceptés et appliqués.

On peut regretter que ces études régionales ne soient pas plus nombreuses.

A côté de l'hétérogénéité spatiale, il faut souligner la variabilité des phénomènes d'érosion dans le temps.

On peut distinguer :

- des phénomènes normaux, pour lesquels les dégâts concernent surtout la dégradation des sols ;
- des événements catastrophiques, de fréquence rare, qui entraînent, en plus, des dégâts spécifiques (atterrissements, inondations, mouvements de masse).

Ce domaine de recherche commence à peine à être abordé en zone de montagne et dans les vignobles.

## 2.2. L'érosion en montagne

En montagne, l'influence de l'érosion en nappe s'estompe devant l'importance des mouvements de masse, du ravinement et de l'activité des torrents. La résistance des roches, l'équilibre des versants, le ruissellement et le débit de pointe des rivières sont déterminants. Aussi, les facteurs des différentes formes de l'érosion sont-ils ceux qui modifient la circulation de l'eau : la végétation et son exploitation par l'homme, l'épaisseur et la structure de la couverture pédologique, le type de roche et la pente du terrain. Notons qu'en montagne, où l'érosion est la plus active dès que l'homme dérange le fragile équilibre entre la végétation, la pente et la rivière, l'équation de Wischmeier ne s'applique plus. La tectonique très active dans certaines régions du globe est également à l'origine d'érosion concentrée. D'ailleurs, les mesures de transport solide sont rares et difficiles à réaliser (en particulier le charriage de fond), vu la discontinuité des débits liquides et solides.

## 2.3. L'érosion sur les coteaux cultivés

Sur les vignes et les vergers de coteau, les problèmes de conservation de l'eau et des sols tiennent à la fois des situations des montagnes et des plaines.

D'une part, les pentes sont fortes, les sols peu épais et la roche altérée apparaît rapidement. L'érosion se développe plus brutalement que dans les plaines : le ruissellement creuse rapidement des griffes évoluant en ravines et les matériaux décapés en masse vont encombrer les routes et les terres fertiles en contre bas.

D'autre part, la maîtrise du ruissellement, donc de l'érosion, dépend essentiellement de l'aménagement de la surface du sol (mulch de cailloutis ou de paille, compost, plante de couverture, travail du sol, herbicide), des expérimentations sous pluies naturelles ou simulées ont bien montré qu'un paillage ou un compost disposés en surface maintiennent une meilleure infiltration que lorsqu'ils sont enfouis par un labour.

Au plan de la protection antiérosive, on a cherché davantage à ralentir le ruissellement par des averses catastrophiques et à l'évacuer des coteaux en minimisant les inconvénients pour les hommes et les terres en contre bas (canalisation, renforcement des routes, murettes, mares de sédimentation, etc.), plutôt qu'à aménager les champs eux-mêmes pour augmenter leur capacité d'infiltration.

Malgré l'ancienneté des problèmes d'érosion dans les vignobles, on dispose de peu d'études quantitatives précises sur les processus en cause sur les versants ; par contre, à l'occasion de cartographies analytiques et d'enquêtes régionales sur l'efficacité du labour ou des herbicides, furent développées des méthodes d'analyse statistique des relations (souvent complexes à cause des seuils) probables entre les manifestations de l'érosion à un instant donné et divers facteurs du milieu. L'analyse factorielle des correspondances a également été appliquée dans la détermination de la sensibilité du milieu, en vue de l'aménagement.

## 2.4. Conclusion

En conclusion, ce rapide tour d'horizon donne un aperçu de la complexité des phénomènes de ruissellement et d'érosion. Cette complexité provient des discontinuités spatiales et temporelles, des effets de seuils, de la non linéarité des relations avec les facteurs déterminants et de la variété des processus qui aboutissent aux formes d'ablation, de transport et de sédimentation que nous pouvons apercevoir à la surface du globe.

Les plus anciens témoignages de lutte antiérosive (les terrasses incas ou chinoises) datent de plusieurs milliers d'années. Malgré l'ancienneté des problèmes de conservations des terres, liés au développement démographique des civilisations successives, il reste des plages obscures qui attendent les lumières de la recherche scientifique et l'application conjuguée des connaissances du milieu physique et du milieu humain.

D'autres enquêtes ont montré qu'on entre dans une phase de crise où l'érosion se développe aussi bien dans les pays industrialisés que dans les pays en voie de développement, mais pour des raisons spécifiques à chacun de ces cas. J. Vogt, Bolline et d'autres ont d'ailleurs souligné le développement de l'érosion dans le passé récent (fin XIXe en montagne ; XVII XVIIIe dans le nord-est de la France), qui peuvent être liés à des crises des systèmes agraires.

## 3. PROSPECTIVE : LES THEMES A DEVELOPPER

De cette enquête, il ressort l'existence d'un intérêt renouvelé pour les recherches sur la dynamique du ruissellement et de l'érosion, tant en France qu'en Outre-Mer : défrichements, extension de cultures peu couvrantes, mécanisation lourde, remembrement, dégradation de l'environnement, qualité des eaux, etc., en sont les causes.

Les recherches s'orientent dans trois approches complémentaires :

- a) l'analyse plus poussée des processus physiques élémentaires et des réorganisations structurales du sol en vue de leur modélisation mathématique ;
- b) la prise en compte de la conservation de l'eau et des sols dans le développement agricole ;
- c) la mise au point de nouvelles méthodes de recherche, soit pour préciser les données de base et leurs relations avec les phénomènes observés, soit pour passer des données ponctuelles au paysage ou à la région, soit pour favoriser la compréhension du milieu humain et la réussite des projets de développement.

### 3.1. Analyse des processus, des causes et des facteurs des différentes formes d'érosion, de leur importance relative en fonction des conditions écologiques

- Dynamique du ruissellement et de sa concentration en filets ravinants en fonction des états de surface et des structures profondes du sol (naturelles ou acquises). Variations des charges solides et solubles en fonction des débits et des types d'écoulement.

- Erosion en nappe : influence des couvertures végétales (ou minérales) et des systèmes de culture ainsi que de leurs interactions avec les facteurs pente (% et longueur) et sol. Erodibilité des sols : test rapide et estimation de son évolution en fonction des systèmes culturaux.

- Erosion en ravine : typologie des ravines et leur correction, influence des structures superficielles et profondes du sol, résistance au sapement en fonction du type d'argile et de la structure des horizons et de la végétation. Influences de la pente, de la taille du bassin, du type d'averse efficace et de sa fréquence.

- Erosion en masse : pente d'équilibre en fonction de la roche, influence du drainage interne et externe, de l'organisation de la couverture pédologique et de la végétation (enracinement et pouvoir évaporant).

### 3.2. Les méthodes conservatoires en relation avec les systèmes de production et leur évolution

- Evaluation de l'efficacité des aménagements existants : reforestation, banquettes, terrasses, etc.

- Analyse des méthodes conservatoires traditionnelles biologiques (agro-forestière, jachères, haies, rideaux, bandes d'arrêt, cultures associées, rotation, etc.) et mécaniques (murettes, terrasses, gradins, etc.).

- Mise au point de nouvelles techniques culturales conservatoires dans le contexte de systèmes agraires variés à différents niveaux d'intrants. Nouveaux types de mécanisation (plus légère) combinée avec une meilleure couverture végétale (rotations plus complexes). Gestion des résidus de culture et diminution du travail du sol (herbicides-pesticides, charrue rotative, dents diverses).

- Coût de l'érosion au champ (baisse de potentiel des terres) et en aval (sédiments, qualité des eaux).

- Comparaison du coût des différents systèmes de conservation de l'eau et des sols (mise en place et entretien, hiérarchie des contraintes et estimation des risques).

- Aspects humains : réaction de l'homme en face de la dégradation du milieu et de ses moyens de production, volonté de restauration du potentiel des terres, aide de l'Etat, législation (aspects privatifs et communautaires). Crise des systèmes agraires.

### 3.3. Méthodes de recherche

A de rares exceptions près, les recherches sur l'érosion ont été limitées à certains aspects techniques très sectorialisés :

- la reforestation, la correction torrentielle et la restauration, par les forestiers, des terres dégradées ;
- la conservation de l'eau et les techniques culturales, par les agronomes ;
- les transports solides dans les fleuves par les hydrologues et les sédimentologues, etc.

Devant l'échec, dans certains contextes, des approches purement technocratiques, certaines équipes cherchent à intégrer les données socio-économiques et développer leur multidisciplinarité.

Ces recherches sur la conservation des sols commencent par une enquête (terrain et documents) pour préciser l'ampleur des problèmes d'érosion, le milieu physique et humain, les formes et l'intensité des phénomènes ; l'analyse factorielle des correspondances pourrait préciser les facteurs les plus importants, leurs interactions et les seuils à ne pas dépasser. Ensuite, des mesures de ruissellement et de charge solide à l'échelle des champs (+ 1 ha) sont à encourager. Les liens entre la recherche et le développement à travers une démarche ascendante, partant des problèmes ressentis par les exploitants de base, s'appuyant sur des expérimentations modestes chez l'agriculteur (bandes comparatives) et sur des tests quantitatifs (profils culturaux, suivi des cultures et des rendements, ruissellement et érosion sous pluies simulées) pour aboutir à des études fondamentales à l'échelle régionale. De la compréhension progressive des phénomènes par les exploitants eux-mêmes va dépendre la prise de conscience de l'enjeu que représente pour eux et pour la société la dégradation du milieu et les investissements ou les changements de systèmes culturaux qu'ils vont consentir.

#### Une question préoccupante :

Pour des raisons d'opportunités, on développe, actuellement, des tests (au simulateur de pluie, etc.), très localisés dans le temps et dans l'espace, qui permettent d'explorer rapidement la variabilité spatiale ; peut-on se dispenser de s'appuyer sur quelques stations expérimentales de longue durée où seraient :

- pris en compte les facteurs humains ;
- précisés les problèmes d'échelle (de la résistance des agrégats au m<sup>2</sup>, au versant et aux bassins de taille croissante) ;
- modélisés les écoulements et les transports solides, et comparés le coût et l'efficacité des aménagements (modes de reforestation, structures antiérosives, modes d'exploitation).

### 3.4. Dans le domaine de la formation

On y constate des carences évidentes :

D'une part, la conservation de l'eau et des sols n'est enseignée dans aucun tronc commun des cycles universitaires ; cette matière est considérée comme une spécialité réservée aux étudiants des Eaux et Forêts et du Génie Rural (qui s'intéressent à la défense et restauration des sols), aux géographes (processus et dynamique des versants) ou aux pédologues (processus et pédogénèse). D'où l'ignorance de nombreux agronomes concernant les possibilités de conserver le potentiel de production des sols, au lieu d'attendre qu'ils soient dégradés pour les sortir du domaine de production agricole et les confier aux forestiers.

D'autre part, il n'existe pas de filière universitaire, en France, capable de répondre aux demandes des pays en développement de donner une formation réellement adaptée aux problèmes pratiques posés aux cadres de ces pays. Un effort a été fourni ces dernières années pour accueillir des étudiants en DEA, puis en thèse de 3ème cycle dans des laboratoires de géologie, hydrologie, géographie, pédologie ; mais le niveau exigé en certaines matières théoriques est tel qu'il décourage ceux qui voudraient se spécialiser dans ce domaine ! Enfin, il faudrait pouvoir leur donner des sujets de recherche dans leur pays d'origine et les suivre ensuite sur leur terrain.

Les réseaux de l'ORSTOM, du CIRAD (et d'autres organismes internationaux) pourraient servir de structure d'accueil, là où la recherche scientifique n'est pas encore suffisamment organisée.

Un centre interdisciplinaire-interinstituts pourrait largement favoriser, à la fois, l'information, la formation et la recherche en ce domaine, tant pour la France que pour les pays en développement.



DEUXIEME PARTIE - OPERATION DE DEVELOPPEMENT

DEUXIEME PARTIE  
LES ETUDES DE CAS

## ENQUETE AUPRES DES SOCIETES DE DEVELOPPEMENT

L'enquête a concerné les sociétés suivantes :

- BCEOM
- CEDRAT
- SATEC
- SCET AGRI (créée en 1983 par regroupement du BDPA et de la SCET-Développement ; ce qui explique que certaines opérations apparaissent sous ces noms)
- SCET
- SACET
- SOGREAH

Le CTFT opère en qualité de bureau d'études ; il a apporté une contribution très importante à ce bilan, en produisant un document qui fait l'inventaire exhaustif des actions qu'il a conduites, seul ou avec d'autres organismes auxquels il a été associé. Département du CIRAD dont la vocation dominante est la recherche, le CTFT est classé au titre des organismes de recherche (chapitre précédent).

Les sociétés de développement concernées se sont déclarées toutes intéressées par l'étude et se sont engagées à nous fournir la liste des opérations auxquelles elles ont participé - ce que toutes n'ont pas fait - ou même, pour quelques unes, à faire l'analyse d'une opération considérée comme exemplaire - ce que très peu ont fait - .

Plusieurs explications à cela :

- la mission de ces sociétés n'est pas de capitaliser des connaissances mais de faire des études et de gérer des opérations ; elles n'ont pas les moyens, sur leurs propres ressources, de financer des bilans ;
- les ingénieurs d'études sont très mobiles - très souvent Outre-Mer - soucieux de préparer une étude ou d'apporter leur appui à la gestion d'une opération, donc peu disponibles pour faire le point des expériences passées ;
- de nombreuses restrictions ont dispersé les équipes ou provoqué une redistribution des ingénieurs d'études ;
- les ingénieurs d'études sont évalués davantage sur leur efficacité, leur capacité à décrocher des contrats et à développer un réseau de relations avec les maîtres d'ouvrage que sur leur aptitude à produire des bilans scientifiques
- certaines sociétés ont peu travaillé sur des problèmes d'érosion ; c'est le cas notamment de la SEDES qui intervient le plus souvent en amont des projets de développement, principalement sous l'angle économique. Pour la SEDES, l'orientation des projets de développement est, le plus souvent, axée sur l'augmentation de la production agricole. Jamais les aspects économiques d'un risque de détérioration du système écologique n'ont fait l'objet d'une évaluation, cet aspect n'intéressant pas le maître d'ouvrage.

La SEDES est cependant en mesure de proposer une approche globale de la justification économique de programmes de recherche développement liés à la connaissance de l'évolution des risques écologiques dans des milieux très sensibles à l'érosion.

Les informations recueillies ont été regroupées par régions géographiques dans des fiches présentées dans un document annexe :

- Afrique Centrale
- Afrique de l'ouest
- Continent latino-américain et Caraïbes
- Maghreb et Moyen-Orient
- Océan Indien

Elles sont probablement très partielles et il nous paraît souhaitable qu'elles soient complétées par les sociétés d'études.

BASSIN VERSANT DU SEFID RUD EN IRAN

### 1.1. Introduction

Le projet du SEFID RUD en Iran a été choisi comme l'une des Etudes réalisées par la SOGREAH jugée par cette société comme exemplaire.

Ce projet est, au sens large, un projet régional d'étude financé par le Gouvernement Iranien (Ministère de l'Agriculture et des Ressources Naturelles, Département de Protection des Sols) réalisé par une équipe de techniciens et experts iraniens et de la SOGREAH. L'objectif du projet est la protection de la retenue du barrage du SEFID RUD contre le comblement par les alluvions et la conservation des sols agricoles du bassin versant. Les études réalisées, de décembre 1971 à juillet 1974, ont fait l'objet de nombreux rapports dont les étapes et l'articulation sont présentés en annexe.

### 1.2. Présentation du contexte socio-politique de l'Iran (en 1975, date de l'étude).

L'Iran, avec une superficie de 1 648 000 km<sup>2</sup> et 35 millions d'habitants, est un pays au climat relativement aride, ce qui explique la faible densité de la population (20 habitants/km<sup>2</sup>).

Si l'on répartissait uniformément, sur l'ensemble du pays, les précipitations, cela ferait une moyenne annuelle de 200 mm. En fait, il ne pleut pratiquement jamais dans les grands déserts, il tombe 200 à 500 mm sur les hauts plateaux qui couvrent la plus grande partie de l'Iran (le bassin du SEFID RUD fait partie de cette région) et l'on arrive à 1500 mm dans la partie la plus pluvieuse de l'étroite plaine CASPIENNE, dans le nord du pays.

Les hauts plateaux constituent le paysage le plus caractéristique de l'Iran et sont le cadre de vie de la majorité des éleveurs. Paysage souvent austère, caractérisé par la prédominance de lignes droites, longues pentes régulières des montagnes comme des glacis et des plaines. Une végétation steppique et substeppique rarement bien dense donne un paysage assez minéral où les teintes fauves dominent. Ce paysage âpre est égayé par quelques taches de verdure des peupleraies qui permettent de deviner la présence d'un village, d'autant plus que les murs en torchis ne tranchent guère sur la couleur du sol.

En 1975, les 40 % de la population active iranienne vivent de l'agriculture et contribuent pour 10 % au Produit Intérieur Brut (PIB). Les petites exploitations agricoles familiales sont majoritaires depuis la réforme agraire de 1962. Elles fournissent plus de 70 % de la production dont 30 % proviennent des zones qualifiées de marginales. Au total, la surface exploitée couvre 12 à 13 millions d'hectares, soit 8 % environ du territoire national : elle est composée de :

- 18 % de cultures permanentes irriguées
- 22 % de cultures permanentes non irriguées
- 60 % de jachère utilisées généralement comme terres à pâturage.

Le pays dispose également de 105 millions d'hectares de parcours (soit 80 % environ du territoire). Les 12 % restants sont des terres non productives (désert, haute montagne, lacs,).

Du point de vue écologique, la situation des parcours et les terres cultivées en sec peut se caractériser par une dégradation assez généralisée de la végétation et des sols. Cette dégradation est évaluée par des études comparatives portant sur des zones protégées depuis un temps donné et des zones non protégées.

Les principales causes de cette dégradation sont assez faciles à constater sur le terrain et figurent dans tous les rapports sur les parcours iraniens :

- extension de la culture en sec de céréales surtout orge et blé ;
- pression pastorale dépassant la capacité des parcours ;
- ramassage des végétaux ligneux pour servir de combustible ou de fourrage d'appoint.

Dans ce contexte, l'approche classique (car la plus répandue) des aménageurs et des experts des bureaux d'études étrangers (en majorité Américains) consiste d'abord à mettre en évidence l'importance des enjeux d'ordre national que cette évolution comporte. La dégradation des parcours conduit, en effet, à une accélération de l'érosion par l'eau dans les régions les plus humides et à une reprise de l'érosion éolienne dans les régions les plus sèches. Cette érosion compromet en particulier l'existence des barrages réservoirs qui s'ensavent. D'une façon plus générale, elle conduit à une perturbation du régime de cours d'eau et des nappes souterraines. Elle se traduit, dans les régions sèches, par des processus de désertification souvent irréversible. Cette dégradation atteint également le capital sol qui produit les unités fourragères, alors que le déficit en viande en Iran ne cesse de croître.

Dans cette approche, la croissance démographique et l'élévation "générale" du niveau de vie, et donc l'augmentation des besoins à satisfaire, sont considérées comme des facteurs de pression sur les ressources végétales. L'"incapacité" des éleveurs ou des paysans à adopter des méthodes de travail modernes et prenant en compte le long terme est également soulignée.

Du fait de cette analyse, les interventions proposées se situent d'abord sur le plan éducatif : il s'agit d'apprendre une bonne gestion des ressources naturelles aux paysans. Mais une telle action est trop lente face à l'urgence du problème, et l'administration se voit "obligée" de prendre également des mesures répressives dans les zones les plus menacées, en créant des périmètres de mise en défense, ou des parcs nationaux.

Mais l'intervention la plus importante consiste à réduire la pression sur les ressources par l'aménagement des parcours et par l'adoption des modèles de développement "adéquat".

La destruction du pouvoir politique et militaire des nomades, puis la perte de tout pouvoir qui soit autonome par rapport à l'Etat par les gros propriétaires féodaux lors de la réforme agraire et la nationalisation de l'ensemble des parcours dans le cadre de la "Révolution Blanche" ont permis d'envisager la réalisation des modèles de développement dite "productiviste".

L'aménagement des parcours adopté était de type "Range management" et le modèle de développement agricole consistait à créer des pôles de développement dans les zones les plus riches en eau et en terre, en abandonnant les zones peu productives.

Dans cette stratégie, les complexes agro-industriels bénéficiaient des avantages particuliers de l'Etat (concession de terres à des loyers très bas, réalisation de réseaux d'irrigation et de routes secondaires à la charge d'Etat, fourniture d'énergie à bas prix, etc.) et les activités agricoles traditionnelles dans les zones dites marginalisées ont été appelées à disparaître.

La politique du Vème plan (1972 - 1977) envisageait explicitement l'exclusion délibérée de tout soutien gouvernemental aux fermes dispersées et aux zones marginales.

Ainsi, la polarisation de l'espace rural et l'abandon du secteur rural traditionnel qui apportait pourtant 70 % de la production agricole, a accéléré l'exode rural et en particulier l'exode du secteur traditionnel vers les pôles de développement.

La dispersion de l'habitat iranien correspond à celle des ressources en eau, l'abandon délibéré des zones marginales et des petites exploitations familiales amenait à éliminer d'Iran les bases même du système de production classique, adapté aux conditions écologiques des zones arides et semi-arides de l'Iran.

C'est dans ce contexte géographique, économique et socio-politique de l'Iran que l'étude du bassin versant de SEFID RUD a été entreprise par la SOGREAH.

### 1.3. Résumé de l'étude

Pour l'élaboration de ce résumé, à part quelques modifications mineures, nous avons repris les parties intégrales du texte initial présenté dans le rapport général du projet.

#### 1.3.1. Problématique et objectifs

La capacité du barrage du SEFID RUD (construit en 1962) était, à l'origine, de 1.76 milliard de m<sup>3</sup>. Les mesures de l'envasement effectuées en 1970 ont montré que cette capacité globale était réduite à 1.34 milliard de m<sup>3</sup>, donc un rythme annuel d'envasement de 47 millions de m<sup>3</sup>.

La nécessité de disposer d'une capacité de retenue d'au moins 1.4 milliard de m<sup>3</sup> pour l'irrigation de la plaine de Guilan, servie par ce barrage, exigeait de diminuer très rapidement le rythme de l'envasement.

A cet effet, le Ministère de l'Agriculture et des Ressources Naturelles iranien s'est assuré la collaboration de la société SOGREAH, afin d'animer un service spécialisé dans la protection du bassin versant du SEFID RUD.



Les objectifs recherchés de cette collaboration étaient de :

- préparer un projet d'ensemble de l'aménagement du bassin versant ;
- conseiller les experts du Ministère, chargés de la réalisation des aménagements ;
- contribuer à la formation du personnel affecté à ce service par le Ministère.

L'élaboration du programme d'ensemble a été subdivisée en trois phases dont les objectifs sont respectivement :

- PHASE I.....Localiser et caractériser les zones d'érosion intense ;  
 PHASE II....Elaborer un schéma d'aménagement d'ensemble ;  
 PHASE III...Rédiger un avant-projet d'aménagement des zones prioritaires.

### 1.3.2. Caractéristiques de la zone

#### GEOGRAPHIE ET CLIMAT

Le bassin versant du SEFID RUD, situé au nord-ouest de l'Iran, couvre une superficie d'environ six millions d'hectares. Ce bassin versant est peuplé par 1.5 millions d'habitants, dont 90 % sont des ruraux (densité moyenne de 21 habitants/km<sup>2</sup>).

Inscrit dans un relief de plateaux d'altitude moyenne de 1800 m, entouré sur trois côtés par des hautes montagnes, le bassin s'ouvre largement aux influences désertiques du DASHTE KAVIR.

Le climat du type méditerranéen froid est caractérisé par une température basse (10° de moyenne annuelle) et des précipitations de l'ordre de 440 mm/an, surtout neigeuses (une moyenne de 200 mm/an dans les zones les plus sèches et de 700 mm/an dans les zones les plus humides).

Du point de vue bio-climatique, la plupart des bassins élémentaires du bassin versant se trouve à l'étage bio-climatique subhumide froid et semi-aride froid.

#### VEGETATION

Quatre étages de végétations ont été distingués :

- étage steppique à armoise blanche ou à chenopodiacées, de l'altitude de 500 à 1200 m. Cette zone constitue la principale zone de pâturage ;
- étage à genévrier apparaissant entre l'altitude 1200 à 2000 m, sous forme d'arbres isolés de génévriers accompagnés, le plus souvent, de *PISTACIA ATLANTICA* (55 p. KHINJUK) et une végétation steppique qui constitue la strate basse de la formation végétale ;
- étage à aubépines ou rosacées se trouvant entre l'altitude 2000 à 2700 m. Cette zone est essentiellement la zone de cultures ;

- étage tragacanthique constitué par une végétation d'altitude (2700 m) et caractérisé par l'abondance des espèces épineuses au milieu d'une pelouse assez dense d'herbacées comprenant des graminées.

Dans l'ensemble, la végétation est pour la plupart dégradée et les formations forestières proprement dites sont totalement absentes.

### 1.3.3. Utilisation des terres

#### AGRICULTURE

L'agriculture est pratiquée sur 59 % de la surface du bassin versant. Il s'agit essentiellement de cultures en sec et en irrigué de céréales.

La pression humaine sur la totalité du bassin est considérable. L'extension des cultures en sec constitue un des effets de cette pression. Cette extension s'observe même là où le résultat de la culture est assez aléatoire, compte tenu de la moyenne des précipitations annuelles. Lorsque l'année n'est pas assez pluvieuse, le paysan renonce à la récolte et ouvre au pacage le champ avec la céréale en vert.

La pratique des cultures en sec est observée aussi sur les pentes très fortes souvent avec un système traditionnel de terrassement et une jachère plus ou moins importante.

#### PATURAGE

L'étude montre que les pâturages productifs du bassin qui couvre 32 % de sa superficie permettent de nourrir de façon optimum 225 000 UGB par an. Or, le recensement de 1966 dénombre trois fois plus de bétail sur ces mêmes pâturages. Il en résulte une surcharge quasi-permanente qui se traduit par une faible productivité du troupeau, une dégradation du tapis végétal, donc une mauvaise protection contre l'érosion.

### 1.3.4. Formes et localisation de l'érosion

L'érosion observée dans le bassin versant est surtout de l'érosion hydrique ; les différentes formes de cette érosion sont les suivantes :

#### L'érosion diffuse :

-----  
Sa principale caractéristique est qu'elle ne conduit à aucun modèle d'érosion. Les zones correspondantes sont plus ou moins affectées par un décapage superficiel, variable suivant le sol et l'état de la couverture végétale.

### L'érosion concentrée :

Elle se traduit dans le paysage par un modèle caractéristique et des formes variables :

- les entailles linéaires ; l'écoulement concentré des eaux sur le versant provoque une incision et un départ de terre ;
- les bad-lands ; l'extrême ramification des entailles linéaires aboutit aux bad-lands , réseau de ravins aux formes anguleuses et aux versants raides. Les bad-lands en formation n'affectent qu'une partie de versant, constituant un petit bassin très actif. Les bad-lands généralisés affectent des versants entiers et parfois toute une région ;
- les mouvements de masse : dans certaines conditions et en particulier à la suite de précipitations importantes, le manteau d'altération - et parfois même la roche en place - se met en mouvement sous l'effet de la gravité, donnant au terrain un aspect bosselé et désordonné ;
- les sapements de berges : ils affectent les rives des cours d'eau constituées de matériaux meubles ou de roches très tendres ; la falaise rongée à sa base par la rivière s'effondre en grands pans repris par l'écoulement ; la végétation ne peut s'installer sur la berge ; la cartographie montre que les secteurs fluviaux à chénaux divagants et pente faible sont généralement le siège de telles manifestations.

La cartographie des formes de l'érosion permet les observations suivantes :

- le sud du bassin versant (région de Bijar) est peu affecté par l'érosion concentrée ; 2,4 % de la surface sont attaqués ;
- le centre du bassin (région de Myaneh) est très érodé ; 16,3 % de la surface subit une érosion concentrée.

#### 1.3.5. Facteurs de l'érosion et principes de traitement

L'étude distingue des paramètres actifs ; il s'agit des facteurs liés au climat (pluies et ruissellement) qui provoquent l'érosion ; et des paramètres passifs qui accentuent ou modèrent l'érosion ; il s'agit du relief, de la végétation, des sols et des activités humaines et animales.

### LES PRECIPITATIONS

La neige, qui contribue pour près de 20 % des précipitations, arrive au sol à des vitesses non érosives. Les pluies de longue durée mais peu intenses et la fusion des neiges humidifient le sol et font varier sa cohésion ; après être passée par un maximum, la cohésion du sol diminue lorsque la teneur en eau du sol augmente.

En définitive, les précipitations ameublissent le sol et préparent le terrain pour l'érosion.

Les mesures de répartition des apports solides, effectuées pour le projet, montrent que c'est au printemps que se produit le plus de transports solides.

Les pluies d'automne, bien que tombant sur un sol mal protégé par la végétation, ne contribuent que pour 8 % aux apports solides annuels. Les orages d'été à forte densité pluviométrique érodent très peu.

Dans l'ensemble, l'intensité des pluies est faible. Nous sommes bien en-dessous du seuil d'agressivité des pluies d'intensité.

### LE RUISSELLEMENT

Si la vitesse de ruissellement dépasse une vitesse critique qui est fonction de la granulométrie des agrégats, on observe une érosion par entailles linéaires.

Au delà d'un certain seuil, la vitesse de l'érosion va croître, en liaison avec la vitesse de l'eau. Sur le plan pratique, on cherche donc à diminuer l'intensité de l'érosion en augmentant la cohésion du terrain et en diminuant la vitesse de l'eau.

L'existence de sous-pressions hydro-statiques et le manque de cohésion des sols déclenchent des mouvements de masse. Sur le plan pratique, on diminue la sous-pression en asséchant le sol par des drains, on augmente la cohésion en drainant le sol et en corrigeant les sapements de pieds de versants qui, bien souvent, sont la cause du mouvement.

Les bad-lands montrent à la fois une érosion en rigoles linéaires en particulier à l'automne, lors de la première pluie et un érosion par glissement superficiel au printemps à la fonte des neiges.

Dans la pratique, on connaît mal les traitements directs et efficaces compatibles avec la valeur économique du terrain qu'il serait possible d'appliquer dans les bad-lands, mais on peut stocker le matériel qu'ils fournissent.

Les rivières utilisent leur énergie disponible pour transporter les sédiments arrachés sur les versants. Mais en règle générale, on observe un large excédent énergétique disponible pour l'érosion, puisqu'il y a très peu d'atterrissements intermédiaires.

Dans la pratique, on traite les secteurs instables du réseau hydrographique par des travaux de correction qui visent à dissiper l'énergie de l'eau en frottements inefficaces.

### LE RELIEF

C'est certainement l'un des facteurs le plus important de l'érosion. La pente paraît être un bon critère pour caractériser le relief.

L'étude de corrélation montre que : sur le plateau, l'érosion débute pour une pente de l'ordre de 6 %. Elle conduit à une perte en terre moyenne de 3t/ha/an à 10 % ; et, pour 25 % de pente, 25 t/ha/an.

En montagne, l'érosion débute pour des pentes fortes, de l'ordre de

#### LA LITHOLOGIE ET LES SOLS

La superposition de la carte lithologique, de la carte de la susceptibilité des terrains à l'érosion et de la carte de l'érosion montre des coïncidences remarquables.

Alors que les affleurements de limons rouges gypso-salin n'occupent que 17 % de la surface du bassin versant, 85 % des surfaces cartographiées en érosion concentrée y sont situées. En l'absence de ce type de formation, l'érosion spécifique moyenne n'est que 4t/ha/an. Ce qui implique que les autres formations sont aussi sujettes à l'érosion. Lorsque cette formation occupe 40 % du bassin élémentaire, l'érosion spécifique moyenne du bassin est de 17t/ha/an.

#### LA VEGETATION

Le calcul de corrélation entre l'érosion spécifique et l'indice d'Emberger montre que l'érosion augmente lorsque l'indice croît. L'érosion est nulle lorsque l'indice est proche de 20 ; elle est de 36t/ha/an lorsque l'indice est égal à 100. Ceci est dû à ce que , malgré des conditions plus favorables au développement végétatif, celui-ci n'est pas suffisant pour inhiber l'érosion.

Il s'agit là d'une observation très importante qui mène à penser qu'étant données les conditions climatiques du bassin du SEFID RUD (précipitation faible et température basse, donc période végétative très courte), on ne peut pas espérer un développement végétatif suffisamment dense pour réduire efficacement les pertes en terre après une courte période de mise en défense. Il faudrait donc envisager en sus des améliorations foncières ou des travaux de génie civil importants dans les zones à érosion concentrée.

#### L'HOMME ET LES ANIMAUX DOMESTIQUES

L'homme a profondément perturbé la nature du tapis végétal. L'étude de la carte d'utilisation des terres montre que 60 % du bassin sont cultivés, avec ou sans irrigation, le reste étant plus ou moins intensément pâturé.

Du fait d'un climat défavorable, la croissance des plantes est lente ; elles résistent mal aux agressions humaines ; il en résulte une dégradation profonde du couvert végétal.

Il est difficile de préciser avec certitude les causes exactes, naturelles ou humaines (labour itinérant, surpâturage, brulis...) de cette dégradation.

La densité de la population a été retenue, en première approximation, comme l'indice de l'action humaine. Des sondages préliminaires ont montré que le rapport têtes de bétail/ nombre d'habitants était relativement constant ; c'est-à-dire que les régions d'élevage intensif coïncident avec les zones agricoles.

L'étude des corrélations entre la densité rurale et l'érosion montre que, en montagne, l'érosion - toutefois très forte - varie indépendamment du nombre d'habitants. Des températures très basses ne favorisent pas l'activité agricole et la densité rurale est faible. Sur le plateau, l'érosion est toujours faible par rapport à la montagne ; par contre, la densité rurale est plus forte qu'en montagne. L'érosion croît en corrélation étroite avec cette densité :

- 1t/ha/an pour une densité de 5 habitants par km<sup>2</sup> ;
- 5t/ha/an pour une densité de 25 habitants par km<sup>2</sup> ;
- 10t/ha/an pour une densité de 35 habitants par km<sup>2</sup>.

Certains attribuent l'aggravation de l'érosion à la surexploitation agricole et pastorale ; ceci est exact sur le plateau où l'érosion est peu importante (du point de vue quantitative) ; ceci est faux en montagne, où l'érosion est forte. On constate qu'il existe une corrélation inverse entre l'intensité de l'érosion et le pourcentage de superficie cultivée en sec. La dégradation du tapis végétal naturel n'entraîne pas obligatoirement une accélération de l'érosion (!!).

### Conclusion

L'intensité de l'érosion est le résultat d'une combinaison multifactorielle. La recherche de corrélations partielles montre que seuls le relief, la lithologie et le bio-climatique expliquent, de façon plus ou moins significative, les pertes en terre. Il n'apparaît pas que l'homme perturbe de façon marquée un processus naturel.

### 1.3.6. Solutions proposées

On constate que l'érosion est causée par des précipitations peu intenses mais suffisamment abondantes pour saturer le sol à la fonte des neiges. Les crues qui en résultent ne sont donc pas des crues d'intensité mais des crues de saturation. L'érosion est rigoureusement fonction de la quantité d'eau écoulée.

### LA LUTTE CONTRE L'EROSION DIFFUSE

L'érosion diffuse qui attaque 90 % des surfaces du bassin versant ne contribue que pour 2 % à l'envasement. Ces surfaces ne sont à traiter que si leur valeur agricole le justifie.

La conception de base est celle d'un aménagement établi à partir de la vocation des terres et dont un sous-produit serait une diminution de l'érosion. Les zones à traiter en priorité seraient celles à pente forte (plus de 5 %) situées dans des régions dont l'indice d'Emberger est supérieur à 40 avec une densité humaine rurale supérieure à 25 habitants/km<sup>2</sup>.

Les techniques biologiques, contrôle des parcours, rideaux de haies arbustives dans les terres de cultures, sont considérées comme seules rentables mais avec une efficacité qui mettra longtemps à se manifester.

#### LA LUTTE CONTRE L'EROSION ACCELEREE

Les entailles linéaires, qui attaquent 5 % de la surface du bassin versant, contribuent pour 25 % à l'envasement du barrage, et les sapements des berges et des pieds de montagne qui contribuent pour 16 % à l'envasement sont seuls justifiables, dans l'état actuel des connaissances techniques, d'un traitement approprié. Etant données l'intensité de l'érosion et les caractéristiques du climat, on ne peut pas compter sur les traitements biologiques. Il faut donc réaliser des travaux de génie civil.

Le traitement des entailles linéaires sera effectué par les ingénieurs du B.T.S. (Bureau de Conservations des Sols). Un barrage léger métallique bloquera la tête de ravine. Le lit actif en aval sera stabilisé par des plantations.

Pour les rivières, les épis seront conçus à double fin : colmatage et protection des berges attaquées. Dans certains cas, des barrages de sédimentation permettront d'intercepter une grande partie des apports solides.

#### LES BAD-LANDS

Les bad-lands qui attaquent 5 % du bassin mais contribuent pour 57 % à l'envasement ne paraissent pas pouvoir être traités directement et efficacement actuellement. Le sel inhibe le développement végétatif et rend malaisés et aléatoires les travaux mécaniques. On se contente alors d'intercepter les transports solides par les barrages de décantation.

#### LA GESTION DU BARRAGE

Les crues du SEFI-RUD se produisent au printemps, à la fonte des neiges, et peuvent donc assez facilement faire l'objet de prévision à court terme. Il est donc possible de laisser passer les premières crues particulièrement boueuses, pour ne remplir le réservoir qu'à la fin du printemps, lorsque les eaux sont plus limpides. Cette technique peut encore être améliorée en déclenchant des chasses artificielles à l'aide des barrages de décantation situés en amont. De cette manière, on peut espérer non seulement réduire le pourcentage d'interception des apports par le réservoir de barrage, mais également faire glisser les dépôts du delta lacustre dans la tranche morte de la retenue (jusqu'à 87 % de l'apport total).

#### 1.3.7. Etude économique - Stratégie du Projet

Le plan d'aménagement anti-érosif du bassin de SEFID-RUD a été élaboré de façon à mieux orienter les travaux du Bureau de Conservation des Sols et d'Aménagement de Bassins Versants (BTS), dont la vocation est avant tout la protection des ressources naturelles pour un prix raisonnable.

L'envasement du barrage participe pour moins de 40 % au coût global des dégâts causés par l'érosion. La diminution de cette sédimentation sera donc une justification des travaux à entreprendre, mais il n'en reste pas moins que la conservation des sols reste l'objectif prioritaire.

Du point de vue sociologique, le but à atteindre est la préservation des moyens d'existence des populations, aussi bien les 1.5 millions d'habitants du bassin que les 0.7 millions d'habitants de Guïllan.

La lutte contre l'érosion agricole doit s'insérer dans un plan de mise en valeur qui assure un accroissement de niveau de vie des paysans. On ne peut pas obtenir une réduction du nombre de têtes de bétail qui dégradent les pâturages sans proposer de compensation.

Il faut donc étudier les possibilités d'accroissement de la production fourragère en sec et en irrigué, l'élevage sur parcours ne présente que peu de possibilité d'intensification.

Le programme proposé repose sur les principes suivants :

- l'Etat prend en charge intégralement les dépenses d'infrastructure et de lutte contre l'érosion par entailles linéaires, car celles-ci ne causent que peu de dégâts aux propriétés agricoles. Etant propriétaire des pâturages (nationalisation des parcours en 1963), il prend également à sa charge les frais de transformation en pâturages des terres de cultures du plateau de Qezel-Owzen, dont la pente est supérieure à 9 %.
- l'Etat participe aux frais de lutte anti-érosive, dans le cas de création de haies arbustives sur les terrains de culture dont la pente est comprise entre 4 et 9 % sur le plateau, et supérieure à 20 % en montagne et par l'entretien des services de vulgarisation agricole dans les autres cas.

Etant le propriétaire du terrain, l'Etat n'a pas à verser d'indemnité dans le cas de mise en défense des pâturages ; il facilite la reconversion agricole par les recommandations que diffusent les services de vulgarisation agricole, et qui ont pour but d'augmenter les revenus des paysans.

Le programme suggère d'agir sur les causes et les effets. Certaines actions qui peuvent être entreprises immédiatement auront pour conséquence une diminution de pertes en terre, ainsi qu'une réduction de la production agricole. Il s'agit de la création de haies arbustives pour un coût global de 706 millions de rials (1 rial = 0.1 FF), de la reconversion de certaines terres de culture en pâturage pour un coût global de 488 millions de rials, d'une réorganisation de l'exploitation des pâturages qui provoquera une diminution de la production fourragère évaluée à 68 millions d'UF/an et d'un reboisement systématique des entailles linéaires pour un coût de 430 millions de rials.

En compensation, malgré la rudesse du climat, il est possible, grâce aux moyens de l'agriculture et de la technique moderne, de développer les potentialités de la région, et de sortir



du cercle vicieux de l'auto-subsistance en intervenant dans les domaines suivants :

- remplacement de l'assolement blé-jachère en culture en sec par un assolement blé-fourrage, avec un accroissement de production fourragère évaluée à 267 millions d'UF/an ;
- intensification des cultures irriguées par l'introduction des engrais chimiques et des pesticides, avec un accroissement de production fourragère évaluée à 168 millions d'UF/an ;
- amélioration de l'exploitation du troupeau, par développement de l'action vétérinaire, développement des réserves fourragères, suppression de la pratique qui consiste à ne vendre que du bétail âgé, et seulement les années de production céréalière et fourragère déficitaire.  
Le développement de l'épargne et du crédit bancaire doit permettre d'améliorer, à moindre coût, l'effet des fluctuations climatiques interannuelles.  
Les effets de ces actions se traduiront par un accroissement de la production de viande et de lait sans augmentation du nombre de bétail.
- organisation de la commercialisation des produits par création de coopératives, le développement et l'aménagement du réseau de routes et pistes.

Cet ensemble d'actions nécessitera le développement d'un réseau de vulgarisation agricole efficace, dont le coût de fonctionnement peut être évalué à 500 millions de rials/an ; et aussi l'amélioration d'un réseau de pistes de desserte de 15000 km, raccordé au réseau de routes et de pistes principales carrossables en tous temps, existantes (1250 km) ou à créer (1700 km).

L'amélioration du réseau actuel et son extension dans les vingt prochaines années nécessiterait un investissement de l'ordre de 20 milliards de rials.  
Les frais annuels d'entretien passeront progressivement de 195 à 420 millions de rials par an.

Le bilan économique de ce programme d'action agricole est favorable ; en déduisant des avantages escomptés de l'augmentation spontanée de la production agricole, qui accompagne normalement l'essor démographique, les aménagements anti-érosifs, le coût de la vulgarisation et le financement des pistes de desserte, il reste un solde positif.

#### 1.4. Analyse critique du projet

##### 1.4.1. Aperçu global sur le projet

##### 1.4.1.1. Généralités

Le bassin versant du SEFID-RUD est un des plus grands bassins versants de l'Iran qui a été l'objet d'une étude.

Les autres bassins versants, Karadj et Dez, étudiés respectivement par des bureaux d'études australien et américain ont une surface beaucoup plus réduite. De ce fait, l'étude anti-érosive du bassin du SEFID-RUD est unique par son importance et par la diversité de la région qu'elle couvre.

Ce projet est innovant en premier lieu par les modalités d'engagement : la SOGREAH n'a pas été chargée à elle seule de présenter une étude mais de collaborer avec le Bureau de Conservations des Sols, et d'encadrer des ingénieurs iraniens en vue de l'élaboration du projet anti-érosif. La part de la SOGREAH dans la formation des ingénieurs et des techniciens - aussi bien au niveau des responsables actifs qu'au niveau de la Faculté des Ressources Naturelles du Karadj - est considérable (nous en avons été témoins et acteurs).

Le projet SEFID-RUD est aussi innovant par sa démarche pluri-disciplinaire. De telles initiatives sont peu nombreuses en Iran, et cela d'autant plus que la collaboration des experts français et iraniens s'est effectuée à plusieurs niveaux : des techniciens de terrain, des ingénieurs de conception, des chercheurs et aménageurs ont participé ou consulté à la réalisation et au déroulement du projet ; parmi une vingtaine d'experts participant à l'étude et à l'élaboration de ce projet, environ la moitié sont iraniens.

La présentation des documents en deux langues (Iranien et Français) et la diffusion presque instantanée des informations recueillies est un point important à souligner. La plupart des études réalisées en Iran ne sont pas exploitées du fait de l'inaccessibilité des documents.

L'abondance des documents cartographiques dans cette étude facilite considérablement la compréhension des milieux et de l'étude par les lecteurs intéressés (surtout au niveau des hommes politiques).

#### 1.4.1.2. Problématique

"L'érosion subie au cours des dix dernières années a ramené la capacité globale de la retenue du barrage du SEFID-RUD - d'un volume initial de 1.76 milliards - à moins de 1.34 milliards de m<sup>3</sup>.

Cette évolution inquiétante justifie les efforts tentés pour réduire l'envasement et préserver les moyens d'existence des 800 000 habitants du périmètre irrigué du Guilan que dessert le barrage".

- Rapport général ; phase I ; page 2 -

La problématique est posée au départ d'un point de vue aval : le problème de l'érosion concerne les utilisateurs de l'eau située en aval du bassin versant.

Mais plus tard : "L'envasement du barrage du SEFID-RUD participe pour moins de 40 % au coût global des dégâts chiffrés causés par l'érosion. Le contrôle de cette sédimentation sera une justification des travaux à entreprendre, mais il n'en reste pas moins que la conservation des sols reste l'objectif prioritaire".

- Rapport général de phase II ; page 1 -

Donc, le problème concerne aussi les populations vivant en amont du barrage où l'érosion détermine un des processus de dégradation du sol, considéré comme capital.

Ce deuxième volet du problème de l'érosion n'est abordé que dans la seconde phase de l'étude. La problématique telle qu'elle est formulée concerne peu une démarche intégrée. Il n'y a pas, dans l'étude, l'interrogation préalable sur la dynamique du milieu mais aussi sur les relations entre le fonctionnement des systèmes écologique et socio-économique et l'érosion des sols.

En effet, dans un programme d'aménagement anti-érosif, que ce soit pour la protection du sol ou la protection de la retenue du barrage contre l'envasement, appliqué à l'ensemble du bassin versant, il y a un ensemble cohérent des mesures de conservation des sols et de lutte contre l'érosion qui ne peut que refléter la continuité physique dans le temps et dans l'espace des processus de l'érosion. Or, les liaisons d'interdépendance sont multiples :

- interdépendance physique en rapport avec l'écoulement des eaux entre toutes les terres ;
- interdépendance socio-économique entre les exploitants des terres, entre les utilisateurs des ressources en eau, comme entre les diverses collectivités concernées.

Les interventions de conservation des sols et de lutte contre l'érosion, pour ne pas remettre en cause la cohérence du système existant, doivent nécessairement être intégrées par un ajustement des mesures dans l'espace et dans le temps.

#### 1.4.1.3. La démarche

"Après avoir caractérisé et localisé les différentes formes de l'érosion, on montrera qu'elles correspondent à la dégradation spécifique définie, ce qui permettra de calculer, pour chaque bassin élémentaire, la perte en terre moyenne. Puis l'étude des dépôts dans la retenue sera abordée. Enfin, on mettra en évidence les relations existant entre l'intensité de l'érosion et les différentes caractéristiques du bassin élémentaire. Un diagnostic d'ensemble permettra de dégager les grandes lignes d'un programme d'action qui sera étudié plus en détails au cours de la phase II du projet".

- Rapport général phase I, page 7 -

Il s'agit bien d'un projet sectoriel dans lequel les divers éléments sont étudiés séparément. Cette démarche est fréquente dans les pays en développement où les études et les documents de base sont largement déficitaires. En effet, le manque d'informations sur le milieu, même au niveau le plus élémentaire, conduit le responsable de l'étude à produire d'abord ces informations. Cette approche apparaît à première vue inévitable, et, dans la mesure où les documents produits (carte, graphique, etc.) sont largement appréciés par les responsables des divers secteurs ainsi que par les ingénieurs du terrain, l'intérêt d'une autre approche n'apparaît pas justifié.

Comme le montrent les grandes lignes de la démarche méthodologique, l'érosion des sols est perçue dès le départ comme un problème technique, et traitée en tant que tel. Il est donc naturel

de trouver la confirmation de cette perception à travers des outils adaptés :

"La recherche de corrélation partielle montre que seul le relief, la lithologie et le bio-climat expliquent de façon plus ou moins significative les pertes en terres. Il n'apparaît pas que l'homme perturbe de façon marquée, un processus naturel".

- Rapport général ; phase I ; page 19 -

La perception de l'érosion en terme de problème physique et minimisant l'aspect social ne résulte pas d'une conclusion objective tirée de l'étude. Elle est cohérente avec une vision ayant la conviction qu'il existe des solutions techniques suffisantes pour les problèmes posés.

Ceci est lié au fait que, dans le contexte général de l'Iran, au moment de la réalisation de l'étude, une vision manichéenne mettait toute la responsabilité sur le dos des paysans (voir chapitre 2).

Un des objectifs de la SOGREAH était d'introduire une démarche plus rigoureuse et plus objective par rapport au problème de l'érosion, en relativisant le rôle de l'homme et en cherchant à faire ressortir le poids des facteurs naturels ; quelques excès ou simplifications ont conduit à l'élaboration d'un projet débordant parfois les limites de validité des informations recueillies.

Une telle démarche s'est opposée à la mise en oeuvre des processus itératifs qui caractérisent les projets élaborés par approximations successives permettant une participation des populations locales au déroulement du projet ainsi qu'une valorisation et assimilation de leurs connaissances. Pour de tels projets évolutifs, l'adaptation du projet aux conditions sociales et naturelles locales se réalise autant du fait des études préalables que grâce au jeu des mécanismes de détection et de correction des erreurs.

#### 1.4.1.4. Outils d'analyse

La problématique permet de poser correctement les problèmes à résoudre. La démarche méthodologique traite de la façon de faire. La pertinence du choix des outils est largement dépendante de celle de la problématique et de la démarche.

Dans cette étude, la démarche méthodologique se résume essentiellement à la mise en oeuvre d'outils ; en conséquence, la réalisation d'une approche intégrée se confond avec une approche sectorielle juxtaposée.

Les outils sont parfois utilisés pour quantifier des phénomènes qualitatifs et mettre en relation des phénomènes et des variables de nature différente (cf doc. II ; G.).

L'outil "calcul de corrélation partielle" largement utilisé dans l'ensemble de l'étude ne paraît pas assez performant pour rendre compte des phénomènes complexes que l'on veut traiter. La corrélation donne un caractère de rigueur qui risque de masquer des paramètres qui n'ont pas été pris en compte et qui, pourtant, sont déterminants.

#### 1.4.1.5. Appropriation des aménagements et des techniques proposés

---

L'étude tient assez peu compte des problèmes spécifiques du changement des pratiques en milieu paysan et de l'évolution de la société. Elle est particulièrement déficitaire en informations concernant les méthodes et les pratiques anti-érosives utilisées par la population locale.

Le diagnostic en terme de science de l'action est très faible sinon inexistant. L'Etat prend en charge toutes les actions proposées sans prévision d'un concours de la population ni une estimation de leur rejet ou leur accord.

Les aménagements et les techniques proposés sont imposés aux populations en s'appuyant sur le fait que l'Etat est le propriétaire des parcours (nationalisés en 1963).

Un budget (et non pas un programme) de vulgarisation est prévu pour "faire évoluer" les mentalités des paysans vers une mentalité moderne.

L'appropriation des pratiques et des aménagements par la population et la réussite d'un projet d'aménagement anti-érosif appellent une participation de la population locale dès le départ de l'étude du projet.

Il serait vain de croire que le terrain est vierge et que les solutions proposées vont s'édifier à l'aide d'un vulgarisateur pour 10 villages (voir document VB ; page 53). Le résultat de ce type de projet est la résistance de la majorité des paysans sinon la disparition de pratiques et de savoirs plus anciens qui avaient leur logique. Sur bien des points, les solutions proposées sont en conflit avec ces pratiques anciennes. Ce conflit aurait pour conséquence, à long terme, une aggravation du problème de l'érosion.

#### 1.4.2. Analyse critique de quelques disciplines étudiées

On trouve une liste des disciplines étudiées par la SOGREAH pour le projet du SEFID-RUD en annexe.

Les disciplines révélant des nouveautés ou/et qui ont eu des démarches innovantes sont analysées succinctement ci-dessous.

##### 1.4.2.1. Ecologie

---

Compte tenu de la courte durée de l'investigation écologique et de la mission du terrain (environ un mois), les résultats obtenus sont satisfaisants pour se rendre compte de la complexité des systèmes écologiques ; et ceci est dû aux méthodes de travail choisies.

En effet, la recherche sur l'auto-écologie des espèces les plus caractéristiques (principalement les ligneux) a conduit très rapidement à une stratification assez fine du milieu sans utilisation de moyens lourds (relevé systématique et traitement informatique).

La recherche des informations par approximations successives et la comparaison des résultats avec les données obtenues d'autres régions comparables ont permis d'établir une carte phyto-écologique du bassin versant.

Les résultats des longues recherches antérieures effectuées par les chercheurs iraniens ont été exploités ; et ceci grâce à une collaboration étroite entre les écologues iraniens et français.

Cependant, certaines conclusions tirées de l'étude écologique dans le rapport général de projet nous paraissent non justifiées :

A la page 17 du rapport général ; phase I , on lit :

"... En effet, si l'homme intervient fréquemment pour modifier les formations du tapis végétal, il a moins d'influence sur la densité du couvert végétal que le climat. Par exemple, lorsque la pluviométrie moyenne annuelle passe de 400 à 600 mm, la biomasse d'un parcours (lequel ?) passe de 21 t/ha à 8 t/ha et celle d'une forêt de 6 t/ha à 20 t/ha. Des manipulations simples comme le défrichement d'une steppe à Armoise blanche pour une culturale de céréales, puis son remplacement par une steppe post-culturale à Hultémia modifient peu la densité de la végétation. Or, l'on connaît depuis longtemps l'influence de cette densité sur l'intensité de l'érosion".

Il est probablement vrai que la densité d'une steppe post-culturale à *Hultemia persica* est proche de celle d'une steppe à Armoise blanche (bien qu'il reste à le vérifier) mais depuis l'abandon d'une culture jusqu'à l'établissement d'une steppe à Hultémia, il y a plusieurs stades successifs de la végétation nécessitant plusieurs années pour s'installer. Parmi ces stades (surtout les premiers), il y a ceux qui ont une densité de la végétation particulièrement faible. De plus, une steppe à Hultémia *persica* avec enracinement pivotant et feuillage caduc, accompagnée d'espèces annuelles à enracinement faible n'a absolument pas la même valeur protectrice du sol qu'une formation végétale comme la steppe à Armoise blanche, équilibrée avec des feuillages presque persistants et enracinement fort, accompagnée des graminées pérennes à enracinement diffus.

On lit également à la même page :

"... Nous avons calculé la corrélation entre l'érosion spécifique et l'indice d'Emberger. On constate que l'érosion augmente lorsqu'il croît. L'érosion est nulle lorsque l'indice est proche de 20. Elle est de 36 t/ha/an lorsque l'indice est égal à 100. Ceci est dû à ce que, malgré des conditions plus favorables au développement végétatif, celui-ci n'est pas suffisant pour inhiber l'érosion".

La comparaison entre la carte phyto-écologique et la carte de l'intensité de l'érosion montre que toutes les zones d'érosion intense se situent (sans exception) dans l'unité écologique "Halophytes".

Cette unité est azonale (l'influence des facteurs climatiques au niveau de la zone écologique est très faible) et la salinité et la quantité de gypse et de sel limitent particulièrement le développement du tapis végétal. Donc, le calcul de corrélation

entre l'indice d'Emberger (qui a très peu de rapport avec la végétation de cette unité écologique) et l'érosion spécifique (qui est de nature géologique) n'est pas justifié.

#### 1.4.2.2. Etude du milieu humain

---

L'étude du milieu humain se limite à deux rapports : un sur l'utilisation des terres ; et l'autre sur le bétail et la population.

Ces études prennent en compte essentiellement les paramètres quantitatifs (nombre d'habitants, densité rurale, superficie cultivée en irrigué ou en sec) sans étude approfondie des systèmes sociaux ni du fonctionnement de ces systèmes. Un certain nombre d'affirmations générales sur les causes de la dégradation du milieu naturel sont annoncées.

Ces études sont faibles aussi bien au niveau de l'apport de l'information qu'au niveau des démarches et des outils adoptés. En se basant sur des renseignements peu fiables et en extrapolant les données pour des régions pour lesquelles il n'y a pas de d'informations, les calculs des corrélations partielles entre l'érosion et les divers paramètres (densité de la population, densité du bétail, etc.) ont été réalisés. Les conclusions tirées de ces calculs sont simplistes et peu rigoureuses ;

"Un homme équivaut à une perte en terre de 333 tonnes par an ; et un mouton équivaut à une perte de 57 tonnes par an (...)

"Il suffit de réduire la densité du bétail en montagne pour obtenir une réduction de l'érosion. C'est ainsi qu'une diminution de densité de 200 à 150 unités mouton par km<sup>2</sup> se traduit par une diminution des pertes en terre de 2500 t/ha/an en montagne et de 600 t/ha/an sur le plateau"

- Rapport II G -

Au niveau de l'ensemble de l'étude, les conclusions tirées des relations entre la population et l'érosion sont contradictoires.

La recherche de corrélation entre l'érosion (mesurée par le débit solide) et divers facteurs, pris un par un, est justifiée pendant la phase exploratoire. Une fois le problème dégrossi, il aurait été nécessaire de revenir en arrière. Certaines hypothèses ébauchées pour expliquer des relations entre l'érosion (analysée globalement) et un facteur donné peuvent être incompatibles avec les résultats trouvés ; d'autant plus que les données de base sur la population et les bétails de la région sont très peu fiables, vue la migration permanente des éleveurs.

#### 1.4.2.3. Etude du processus de l'érosion

---

D'une façon générale, cette étude a participé (voire a été le moteur) de l'évolution rapide du diagnostic du processus d'érosion et des solutions préconisées en matières de techniques anti-érosives en Iran.

Le processus de l'érosion était considéré jusqu'alors comme une résultante de l'action agressive des précipitations et de

l'écoulement qui en résulte sur un sol fragile. Les méthodes préconisées visaient donc à arrêter l'écoulement et le faire infiltrer dans le sol avec, pour l'essentiel, la création de banquettes.

Le diagnostic élaboré par la SOGREAH a été le suivant :

"Les pluies, de longue durée mais peu intenses, et la fusion des neiges humidifient le sol et font varier sa cohésion. Après être passée par un maximum, la cohésion diminue lorsque la teneur en eau du sol augmente. En définitive, les précipitations ameublissent le sol et préparent le terrain pour l'érosion".

"Une conclusion importante pour la politique de l'aménagement est que l'on ne peut pas songer à retenir l'eau et à l'obliger à s'infiltrer dans le sol. Le ruissellement s'observe sur un sol saturé. Il faut laisser l'eau s'écouler en l'empêchant d'endommager les terrains parcourus". - Rapport phase I -

Ce diagnostic a mis en évidence les raisons des échecs catastrophiques des milliers de kilomètres de banquettes qui ont été créés par le Bureau de Conservation du Sol, de Téhéran, sur tous types de sols.

#### 1.4.2.4. Innovations sur les plans technique et financier

L'innovation la plus intéressante, sur le plan technique, porte sur la fixation des entailles linéaires par des barrages métalliques légers et le traitement avec le génie biologique.

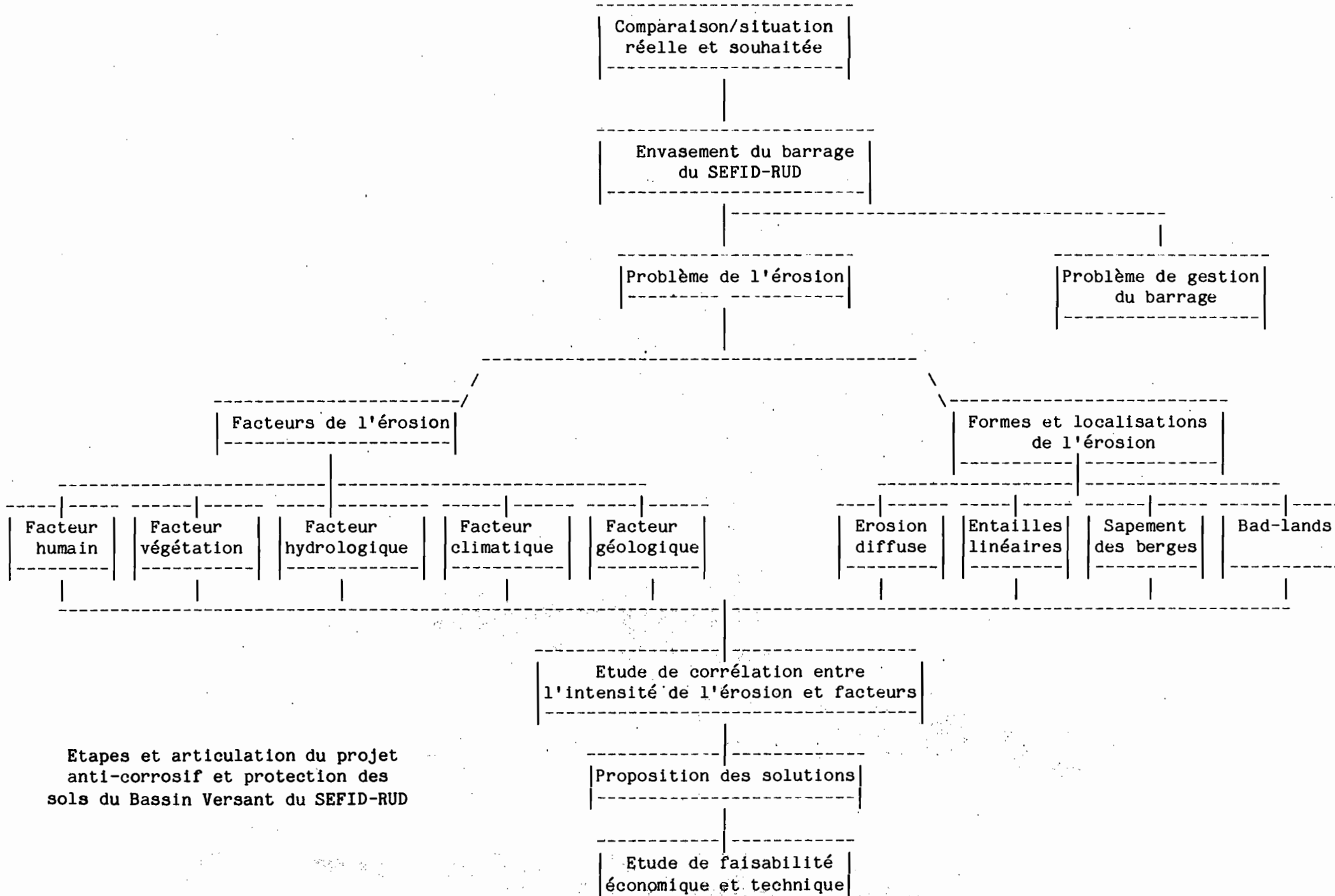
Mise en défense partielle et aménagement des parcours, diminution des surfaces cultivées en pente forte, remplacement des jachères par des espèces fourragères, aménagements agricoles, création de rideaux de haies arbustives dans les terres de culture, etc., sont des techniques préconisées classiques, qui ne manquent pas d'intérêt dans la région d'étude, qui doivent être insérées dans un plan global de développement.

Le programme proposé pour la recherche des techniques anti-érosives sur les bad-lands, inséré dans le projet anti-érosif du bassin élémentaire de B2 est intéressant. En effet, il faut absolument éviter, aussi bien de traiter les terrains où il n'y a pas d'érosion que les terrains pour lesquels on ne connaît pas de technique efficace.

Sur le plan financier, les calculs de coût/avantage des scénarios (ou actions) envisagés est une démarche intéressante dans la mesure où le décideur est devant plusieurs choix. Mais il est regrettable qu'une évaluation des coûts/avantages et des contraintes sociales et conséquences écologiques de ces scénarios ne soit pas abordée.

La justification économique des actions et leur évaluation en termes monétaires permettent de donner un ordre de grandeurs ; cependant, les calculs aussi détaillés (rapport phase III) et des justifications purement économiques et techniques nous paraissent injustifiées.





Etapes et articulation du projet anti-corrosif et protection des sols du Bassin Versant du SEFID-RUD

## A N N E X E II

LES ETUDES REALISEES PAR LA SOGREAHDANS LE CADRE DU PROJET DU SEFID-RUD

## PHASE I

I Le transport solide

- A - Hydrologie ..... par R. Licitri
- B - Hydraulique pluviale ..... par J. Duvoisin
- C - L'envasement ..... par M. Mahdavi

II Les facteurs de l'érosion

- A - Climatologie ..... par R. Moyret
- B - Géopédologie..... par S. Toujan
- C - Lithologie..... par E. Aminian
- D - Physiographie..... par J. Capolini
- E - Ecologie végétale..... par H. Sabeti et W.P. Gounot
- F - Utilisation des terres ..... par M. Doroudian et N. Nikpay
- G - Bétail et population rurale par N. Setayesh

III Les processus érosifs - par J. Capolini et P. Y. Révillion

## PHASE II

IV Propositions

- A - Traitement de l'érosion linéaire par Ch. Lilin
- B - Aménagement des pâturages..... par G. Stheydai
- C - Agronomie..... par J.C. Le Floch
- D - Travaux en rivière..... par J. Duvoisin
- E - Dévasement de la retenue..... par J. Duvoisin
- F - Etude économique des solutions par A. Pellisier du  
envisagées..... Rungas

## PHASE III

V Etude du bassin versant pilote

- A - Etude des sols du bassin B2..... par Toujan
- B - Plan d'aménagement du bassin B2 par J. Capolini
- C - Equipement de rivières..... par J. Duvoisin

ETUDE DE FACTIBILITE DU PROJET DE DEVELOPPEMENT  
RURAL DE LA COMMUNE DE KABZI (BURUNDI)  
DEFENSE ET RESTAURATION DES SOLS

## 2.1. Introduction

L'étude a été effectuée à la demande du Ministère au Plan de la République de Burundi, par le groupe C.F.D.T.; le Bureau d'Etude pour le Développement de Production Agricole (B.D.P.A.) étant membre du groupe a assuré, en juillet 1980, l'étude des parties Défense et Restauration des Sols (D.R.S.) et Conservations des Eaux et des Sols (C.E.S.), ainsi que l'étude agronomique du projet.

Cette étude concerne la totalité de la commune de Kabzi, qui est située en bordure du lac Tanganyika, à une dizaine de kilomètres au sud de Bujumbura, et s'étend sur une superficie de 12000 ha.

## 2.2. Contexte géographique et socio-politique du Burundi

Le Burundi, avec environ 27 000 km<sup>2</sup> de superficie, est un pays fortement peuplé, avec une population globale de 4.3 millions d'habitants ; selon certaines estimations, ceci correspond à une densité de 250 habitants au kilomètre carré. Les régions les plus peuplées sont celles du centre ; régions de moyenne et haute altitude. Le climat y a favorisé un élevage de bovins. L'équilibre du climat, la richesse intensive du sol ont permis à la population de croître.

La dispersion d'habitat rural sur les collines a favorisé la polyculture et une auto-suffisance alimentaire dans le système agricole traditionnel.

En matière agricole, la politique économique adoptée a un caractère sectoriel : elle est fonction du relief du pays, elle s'adapte à chacune des zones d'ouest en est. Dans les zones de haute altitude, des études ont été entreprises afin de développer les cultures vivrières.

Afin de diversifier les exportations, le Burundi a obtenu l'aide du Fond Européen de Développement (F.E.D.) pour l'implantation de la culture du thé. Dans la zone de moyenne altitude, la culture du café, qui s'était répandue à partir de 1930 sous la forme de petites plantations individuelles, a été encouragée par un organisme d'Etat ; l'Office des Cultures Industrielles.

Dans la zone d'altitude intermédiaire du nord-est, des centres d'équipement communautaires ont été institués avec le concours des organisations internationales (B.I.T. ; F.A.O. ; etc.), afin d'encadrer les milliers de réfugiés ruandais. Dans la zone de basse altitude, la mise en valeur de la Plaine de la Ruzizi est poursuivie par le système dit de "paysanat", avec l'aide de F.E.D. : création d'exploitations en carré rigoureusement géométriques, avec alternance de cultures vivrières-coton.

Près de 70 % de la production agricole est auto-consommée, sauf dans la plaine de la Ruzizi, où un commerce intérieur important s'est développé. Le café constitue 80 % des exportations du Burundi, et le coton, plus de 10 %.

Les activités industrielles et minières n'occupent qu'une fraction très limitée de la population et représentent seulement 4 % de produit intérieur brut (P.I.B.).

Du point de vue socio-politique, le Burundi est resté jusqu'au début du XXe siècle un pays très fermé, peuplé de trois ethnies principales : les Bahutus, les plus nombreux, les Batutsi et les Batwa. Ces derniers, originaires du bassin du Congo, ne représentent guère que 1 % environ de la population. Les Bahutus forment environ 85 % de la population de souche Burundi, les Batutsi sont originaires d'Afrique Orientale. Ce clivage ethnique qui n'exclut pas certaines sous-classifications importantes est englobé dans une triple stratification de la société burundi : familiale, économique et politique.

L'unité familiale la plus restreinte habite dans des cases rassemblées dans un enclos, le Rugo, entouré de haies et de jardins. Tout autour du Rugo, des parents plus éloignés construisent d'autres cases, formant ainsi une famille élargie, liée par d'étroites relations de solidarité, et qui occupe les flancs d'une ou plusieurs collines. Enfin, un ensemble de familles forme un clan patrilinéaire dont tous les membres descendent par les hommes d'un même personnage illustre ; il existe environ 220 clans de ce type. Chacun de ces clans occupe un certain rang dans une hiérarchie sociale, assez souvent contestée.

Pour comprendre l'état de développement socio-politique actuel du pays, il faut se référer aux anciennes stratifications qui n'ont pas disparu : les clivages ethniques, alimentés par les mythes traditionnels, expliquent la persistance d'une organisation monarchique, tempérée, il est vrai, par l'existence d'une puissante aristocratie.

La vie politique et constitutionnelle du Burundi demeure fortement marquée par les éléments de la tradition - au moins jusqu'à la fin de l'année 1966 - et la naissance de la république. Sur le plan économique, on constate au Burundi, un certain déterminisme géographique et climatique qui appelle des interventions de l'Etat fortement différenciées.

### 2.3. Résumé de l'étude

Nous avons repris comme résumé de l'étude celui présenté au début du texte d'étude de factibilité du projet sans modification importante.

#### 2.3.1. Objectifs

Les objectifs de l'étude sont les suivants :

- 1) évaluation de la situation actuelle
- 2) identification des actions d'amélioration des cultures vivrières et du coton. Celles-ci devant être intégrées dans un programme de D.R.S./C.E.S. et de reforestation

- 3) définition des actions indispensables à mener parallèlement dans les domaines de la santé, formation, habitat, infrastructures rurales
- 4) mise au point d'un programme de développement
- 5) établissement de recommandations sur l'organisation et la gestion du projet.

### 2.3.2. Caractéristiques de la zone d'étude

La région de Kabzi jouit d'un climat tropical comportant une saison humide d'octobre à mai et une saison sèche de juin à septembre. La précipitation annuelle est de 946 mm à Kabzi à 850 m d'altitude.

En montant vers la crête Congo-Nil, les précipitations augmentent très sensiblement pour atteindre 1560 mm à 1700 m d'altitude. Le relief est très accentué : d'ouest à l'est, sur une vingtaine de kilomètres, on passe de 800 à 2600 m d'altitude en traversant successivement la plaine côtière alluviale, le glacis de colluvionnement et les contreforts de gneiss, de micachistes ou de quartzites. La reconnaissance pédologique a montré que seulement 54 % des sols des 7000 ha prospectés avaient une vocation agricole, la zone non prospectée étant occupée par de très fortes pentes.

On peut considérer qu'au niveau de la commune, les sols favorables ne représentent que 3300 ha, soit 27 % de la superficie totale.

Le recensement de la population fait apparaître une densité de 437 ha/km<sup>2</sup>. Les collines les plus peuplées sont celles de l'escarpement (932 ha/km<sup>2</sup>). La population est jeune : 42 % des habitants ont moins de 15 ans. On dénombre 64 % d'actifs. Les migrations quotidiennes de Bujumbura sont importantes; 44 % des chefs d'exploitation ont une activité principale ou secondaire non agricole.

Suivant les cultures, par campagne, on observe un seul cycle pour le coton et la colocase, deux cycles pour la patate douce, le haricot, le maïs et l'arachide et un cycle de deux ans pour le manioc.

On estime que la Commune de Kabzi comporte 13 385 exploitations, classées en trois types : vivrier, cotonnier et caféier. Par exploitation, les superficies (moyennes) d'occupation des sols sont respectivement de 36, 64 et 42 ares. Au total, en pourcentages, les superficies cultivées sont :

- cultures vivrières.....	65 %
- bananiers.....	16 %
- cotonniers.....	10 %
- caféier.....	6 %
- jachères et autres.....	3 %

Superficie occupée par les exploitations : 52 % ;  
Superficie non cultivable : 48 %.

61 % de la valeur de la production agricole est auto-consommée.

### 2.3.3. Conception des aménagements

Suivant les classes de pente, les terres de la Commune se répartissent de la façon suivante :

- 66 % sont situées sur des pentes supérieures à 40 %
- 7 % correspondent à des pentes comprises entre 15 et 40 %
- 7 % correspondent à des pentes comprises entre 5 et 15 %
- 20 % coïncident avec la plaine côtière ; avec des pentes inférieures à 5 %.

On prévoit d'aménager 5215 ha en y créant 3000 km de haies et 25 km de fossés de garde. Les pentes de plus de 40 % devront être boisées et mises en défense. On prévoit également la protection des thalwegs par des fascines et des gabions ; Le réaménagement de 15 km de la route de Kasenyi et de 30 km de pistes secondaires ainsi que la création de 60 km de pistes nouvelles et de 170 km de chemins. Le coût total des aménagements est estimé à 680 MFBU (1 FBU = 0.045 FF). L'unité d'action anti-érosive est l'exploitation familiale ; le paysan devant participer activement, non seulement aux travaux d'aménagement (qui seront exécutés ferme par ferme) mais encore à leur entretien.

## 2.4. ANALYSE CRITIQUE DE L'ETUDE

### 2.4.1. Aperçu général sur l'étude

#### 2.4.1.1. Problématique

La problématique n'est pas explicite dans le texte, mais on retient, par les informations dispersées dans l'étude :

- la forêt a disparu au profit des pâturages et des champs cultivés. L'intensité des façons culturales a contribué au développement de l'érosion. La relative modération de la pluviosité a encouragé les cultivateurs, de plus en plus nombreux, à mettre en culture la quasi-totalité du territoire, quelle qu'en soit la pente.
- sur les trois grandes unités physiogéographiques identifiées de l'est en ouest - les contreforts de la crête Congo-Nil, les glacis et la plaine - les contreforts sont très peuplés et fortement cultivés en manioc, bananier et caféier. Ils sont soumis à une érosion en nappe.
- les glacis ont des pentes de l'ordre de 10 %. Les rivières les dissèquent faiblement dans le nord et fortement dans le sud. Ils sont recouverts d'un épais manteau de colluvionnement et cultivés en manioc, maïs et patate douce ; l'érosion y est faible.
- la plaine comprend trois niveaux :
  - \* les alluvions anciennes du Piémont, avec des pentes de l'ordre de 15 %, recouverts en totalité par des cultures vivrières associées au manioc et au bananier. L'érosion y est particulièrement combattue par des lignes discontinues de Trypsacum, le plus souvent sans fossé ;

- \* les plaines alluviales récentes, formées de dunes sableuses et de dépôts argileux où se développe la culture associée du coton et du haricot. L'érosion y est encore vive, bien que les pentes y soient inférieures à 15 % ;
- \* en bordure de lac, les plages et cones sableux sans traces d'érosion visibles.

On constate qu'on est en face du problème de l'érosion des sols cultivés (car la totalité de la surface est cultivée), ce qui rend très difficile et complexe le diagnostic et les remèdes. Le problème posé concerne les systèmes agraires et les systèmes socio-économiques : à la suite des modifications et changements dans les systèmes d'exploitation et de gestion de l'espace, le phénomène de l'érosion s'est déclenché et/ou intensifié.

En effet, une réorganisation de l'étude et l'analyse détaillée de la situation agronomique à travers cette étude conduisent à souligner les points suivants :

- la proportion importante (plus de 50 % de S.A.U.) des cultures peu couvrantes (maïs, sorgho, haricot, patate douce, coton, etc.) qui présentent l'inconvénient de laisser le sol nu ou faiblement couvert pendant la période des précipitations les plus agressives.
- la faible surface de jachère (0.9 % de la S.A.U.) et de la surface boisée (6 % de la S.A.U.) qui correspond à des parcelles isolées sur certaines parties de versant à pentes fortes ou à des boisements linéaires de fonds des vallées.
- le parcellaire agraire se caractérise par une relative hétérogénéité de la taille et de la forme des parcelles culturales, avec une proportion relativement élevée des parcelles de grande taille.

De cette description du milieu agricole de la Commune de Kabzi, il ressort que plusieurs caractéristiques actuelles du paysage agraire et des systèmes cultureux tendent plutôt à accroître la vulnérabilité naturelle du milieu morpho-pédologique à l'érosion, notamment en saison des pluies.

La situation actuelle est, en fait, le résultat d'une évolution complexe qui a profondément modifié l'agriculture et le parcellaire de cette région depuis le développement des cultures industrielles (une cinquantaine d'années) et qui a certainement induit le développement de l'érosion, observé pendant cette même période.

Les principaux aspects de cette évolution sont les suivants :

- des modifications au niveau de l'utilisation des sols ;
- \* remplacement des cultures traditionnelles par les cultures industrielles et diminution importante des jachères dans le cycle cultural ;
- \* augmentation des superficies des cultures peu couvrantes (maïs, arachide, coton, patate douce, etc.) ;
- \* amputation des surfaces boisées en faveur de la culture.



- des modifications du parcellaire et du paysage agraire ;

N'apparaît pas explicitement dans l'étude l'évolution de ces modifications, mais compte tenu du fait du développement des échanges monétaires et de l'achat et ventes des terres, ainsi que du développement des cultures industrielles, utilisant de plus en plus des machines agricoles, il est certain que le réaménagement du parcellaire s'est fait progressivement, aboutissant à un agrandissement des parcelles culturales, généralement proportionnel à la taille de l'exploitation.

Cet agrandissement du parcellaire agricole entraîne souvent la suppression d'un certain nombre d'obstacles (haies, fossés, talus et murettes) qui constituent autant d'obstacles au ruissellement et qui, de ce fait, favorisent l'infiltration et ne peut que contribuer à l'apparition de l'érosion.

L'augmentation de la dimension des parcelles s'est également accompagnée de modification de leur forme et de leur orientation, destinées à faciliter le travail du sol en l'orientant dans le sens de la pente.

- le mode de fertilisation des terres ;

Le rapport annonce que 89 % des champs ne reçoivent pas de fumure et seulement 10 % reçoivent des fumures organiques ou du compost. Les résidus des plantes sont consommés par les animaux domestiques.

La diminution des matières organiques des sols sur la stabilité structurale des sols pauvres en argile affaiblit considérablement la résistance de ces sols à l'érosion.

En conclusion, le phénomène de l'érosion des sols de la Commune de Kabzi est loin d'être un problème technique. Il est donc impératif d'approcher ce problème avec une démarche globale intégrée.

#### 2.4.1.2. Démarche

-----

L'étude comprend trois disciplines principales (données physiques, enquêtes socio-économiques, données agronomiques) étudiées séparément les unes des autres. La réalisation d'une approche dite intégrée se confond avec une approche sectorielle. Il s'agit de la première phase (phase d'exploration) d'un projet R.D.I. A ce moment, les spécialistes des diverses disciplines ont une connaissance suffisante de leur domaine spécifique pour organiser les débats à partir desquels un projet de R.D.I. peut se définir (débats concernant aussi la population du secteur).

La problématique demeure insuffisante et la nécessité d'un élément intégrateur se fait sentir tout au long de l'étude.

Le diagnostic du problème de l'érosion reste très limité, et malgré la richesse des informations données sur les unités du substrat et les sols, une typologie et une qualification de l'espace en fonction des sensibilités des milieux physiques face à l'érosion

du sol reste à faire. L'approche des milieux physiques devra être conçue dans un contexte dynamique permettant d'ébaucher un découpage de la région étudiée en fonction de la stabilité ou de l'instabilité des différentes unités du substrat. L'érosion et la dégradation des sols de la région sont le résultat d'une évolution due à l'action de l'homme, du jeu triangulaire végétation/pédogénèse/morphogénèse, sous l'influence du climat actuel.

Il est donc nécessaire de prendre en compte les interactions de ces éléments dans la démarche adoptée.

#### 2.4.1.3. Outils d'analyse

---

L'étude est essentiellement basée sur la typologie de l'espace à travers les unités géomorphologiques et pédologiques. Bien que cette typologie permet de caractériser les différents milieux en fonction de leur sensibilité à l'érosion, néanmoins elle demeure insuffisante tant que le rôle de l'homme et de la végétation et ses actions permanentes sur ces unités morpho-pédologiques ne sont pas pris en considération.

L'absence d'une étude des systèmes écologiques (naturels ou artificialisés) rend difficile la compréhension de la dynamique de l'éco-système cultivé ou pâturé. Il en résulte que la chance de réussite des actions d'aménagement proposées (plantation des haies arbustives entre autres) ne peut pas être appréciée.

#### 2.4.2. Analyse critique de quelques disciplines étudiées

##### 2.4.2.1. Climat, géomorphologie, pédologie

---

"D'après les annuaires météo 1977 et 1978, les hauteurs pluviométriques journalières maxima sont comprises entre 37 et 74 mm ; on peut en conclure que l'intensité pluviométrique ne constitue pas le facteur prépondérant de l'érosion".

- Rapport d'étude de factibilité ; page 10 -

Il est certain que les variations interannuelles du climat de la région sont faibles : mais pour une étude rigoureuse de l'intensité des pluies sur l'érosion, une série de données climatiques d'au moins 10 ans est nécessaire pour étayer de telles affirmations.

Dans l'étude du climat, les données synthétiques (classification bio-climatique, bilan hydrique, etc.) peuvent servir pour un diagnostic agronomique ou écologique. Il est donc indispensable que l'étude de ces éléments soit prise en compte dans un projet de R.D.I.

##### 2.4.2.2. L'étude socio-économique

---

Elle est descriptive et détaillée, mais il manque une approche dynamique, historique et sociale qui est à mettre en relation avec :

- une forte pression sur les ressources (démographie, migration)

- une méconnaissance des techniques agricoles compatible avec la conservation des sols (migration et changement de contexte, nouvelles cultures...)
- le désintérêt pour la conservation du sol (absence de vision à long terme)

L'étude des systèmes sociaux devrait permettre à l'aménageur de négocier et organiser des actions communes en faveur de la lutte anti-érosive. De ce fait, l'intégration de la population locale doit être conçue dès la phase étude. Elle sera la meilleure garantie, aussi bien au niveau de la compréhension du problème de l'érosion qu'au niveau de l'efficacité des actions proposées.

#### 2.4.2.3. L'étude agronomique

-----

L'étude agronomique apporte beaucoup d'informations pertinentes par rapport au problème de l'érosion, mais celles-ci se trouvent dispersées dans le texte, sans être mises en avant dans l'analyse ni valorisées dans la proposition. Ainsi, il est difficile de répondre aux questions suivantes :

- Quelles sont les cultures qui posent le plus de problèmes et quelles sont celles qui assurent une bonne couverture ?
- Quel est le rôle de la teneur en matières organiques des sols sur la résistance à l'érosion (érodibilité du sol) et y a-t-il des possibilités de l'améliorer ?
- Quel est le rôle du travail de sol et des machines agricoles face à l'érosion ?
- Existe-t-il des techniques de mulching ; soit des résidus de récolte ou des mauvaises herbes pour protéger le sol ?

Sans pouvoir répondre à des questions concernant l'érosion, posées lors de l'étude socio-économique et agronomique, on peut difficilement proposer les actions compatibles avec la complexité du phénomène de l'érosion des sols cultivés. On constate que, malgré la richesse d'informations apportées par l'étude, les actions proposées ne dépassent pas les actions classiques de D.R.S. - C.E.S.

Des interventions efficaces sont celles agissant sur les systèmes agraires et au niveau du mode d'exploitation des parcelles de culture dans le but d'enrayer, à leur source, le développement des phénomènes érosifs, quand bien même leurs conséquences les plus sensibles se développent à l'aval, en fonction de l'écoulement.

Les opérations anti-érosives doivent être avant tout des opérations destinées à donner aux exploitants agricoles les moyens de dégager par eux-mêmes les pratiques culturales les mieux adaptées, en maîtrisant les relations souvent insidieuses entre les difficultés de travail du sol, les accidents de culture ou la stagnation des rendements, et l'apparition des phénomènes d'érosion.

- TROISIEME PARTIE -  
SYNTHESE ET CONCLUSIONS

## 1 Erosion et aménagement du territoire

L'érosion hydrique peut revêtir plusieurs formes :

- en nappe ou diffuse, affectant plus ou moins régulièrement partie ou totalité de la parcelle ;
- concentrée, en griffes, rigoles, ravines, sapements de berges, glissements.

Dans tous les cas, l'érosion hydrique comporte 3 phases :

- ablation, par arrachement de particules ;
- transport, par les eaux de ruissellement ;
- dépôt, de tout ou partie des particules.

La prise en charge de l'érosion, et notamment des traitements visant à minimiser et à rendre tolérables ses effets peuvent être le fait de :

- l'aval
- l'amont.

### 1.1. Problématique aval

Concerne les utilisateurs de l'eau en aval du bassin versant :

- envasement des lacs de barrage qui diminuent la capacité de stockage en eau et compromettent la rentabilité des ouvrages, ne permettant pas de stocker une quantité d'eau suffisante pour les besoins d'un périmètre d'irrigation ;
- colmatage du lit des rivières, limitant l'alimentation des nappes phréatiques et gênant les utilisateurs de cette nappe ;
- pollution par les matières en suspension aboutissant à une eutrophisation et à une baisse de productivité du système écologique aquatique ;
- modification du régime hydrologique avec des contraintes pour les réseaux routiers.

L'aménagement du bassin versant est donc justifié par cette demande aval, le maître d'ouvrage est généralement un opérateur public qui propose et met en oeuvre des mesures efficaces en cherchant très souvent à acquérir la maîtrise foncière et/ou en limitant au maximum les activités agricoles ou pastorales par une mise en défense permanente ou temporaire, sur partie ou totalité de la zone traitée.

Le coût des aménagements anti-érosifs est une composante du coût du projet de création d'un barrage et d'un périmètre d'irrigation, la rentabilité économique est l'argument dominant, il ne faut prendre aucun risque. Or, vouloir intégrer les utilisateurs traditionnels, en particulier les paysans et les éleveurs dans la mise en place et la gestion des pratiques et des équipements anti-érosifs serait prendre un risque.

La logique aval est celle qui a motivé ou continue à motiver :

- \* En France, la Restauration des Terrains en Montagne (RTM) qui opère surtout sur des périmètres dits RTM, sur lesquels l'Etat ou des collectivités locales ont (ou ont acquis) la maîtrise foncière. La RTM a pour mission de protéger des ouvrages de génie civil (voie de communications, ouvrages d'art, agglomérations urbaines, installations industrielles). Quand les périmètres sont traités et l'érosion stabilisée, ils sont intégrés à des massifs forestiers domaniaux ou communaux ;
- \* dans les pays en développement, le traitement anti-érosif d'une partie au moins des bassins versants, ceux situés immédiatement à l'amont d'un barrage, est reconnu, à peu près partout, comme nécessité. Dans ce cas, les différents traitements possibles peuvent être comparés en terme de rentabilité économique, notamment en fonction des effets attendus sur la durée de vie du barrage.

Cette logique est parfaitement justifiée quand les parties à traiter du bassin versant ne sont pas (ou ne sont plus) le support d'activités agricoles ou pastorales importantes ; situation rare dans les pays en développement.

## 1.2. Problématique amont

On s'intéresse d'abord et surtout aux exploitants, entendu au sens utilisateurs des terres des zones "d'émission" des matériaux que l'érosion arrache au sol. Ce sont eux qui doivent être les bénéficiaires des équipements anti-érosifs et tout équipement qui, à court ou à moyen terme, entraînerait une baisse importante des revenus de ces exploitants ne serait pas réaliste.

L'érosion peut être liée, soit :

- à la modernisation des pratiques culturales ;
- à un "dérèglement" d'un système de gestion des terres par une société rurale en crise.

### 1.2.1. Modernisation des pratiques culturales

Les modalités de la lutte contre l'érosion des sols sont largement fonction du type de société rurale concernée.

La démarche américaine qui privilégie la mise au point et la diffusion d'une formulation quantifiée de l'érosion est bien adaptée au contexte dans lequel elle a été mise en oeuvre :

- une société rurale composée d'agriculteurs ayant une mentalité de pionniers, individualistes et privilégiant les critères de rentabilité financière dans les prises de décision.
- des systèmes de production homogènes et largement intégrés dans l'économie de marché.
- un problème de dégradation des sols qui s'est aggravé brutalement et justifie une action spécialisée.

Le contexte est nettement différent dans les sociétés rurales européennes concernées actuellement par ce problème.

En particulier, on peut noter que :

- les systèmes de production sont plus diversifiés ;
- les sociétés rurales sont structurées ; même si l'individualisme progresse ;
- il existe dans ces sociétés, au niveau des agriculteurs et de leurs conseillers, un savoir important sur l'érosion des sols et sur les phénomènes en rapport avec l'érosion, même si ce savoir est défaillant dans les contextes où le problème est devenu aigu.

De ce fait, les opérations de lutte contre l'érosion, montées actuellement en France, s'inscrivent dans le cadre de la relance agronomique dont la démarche est proche de la recherche développement exposée plus loin.

#### 1.2.2. Crise de sociétés rurales

L'érosion des sols est le résultat de la pression excessive sur la ressource :

- extension des cultures sur sols fragiles, en particulier les sols de forte pente, soit par augmentation de la population rurale, soit par affectation des meilleurs sols à des productions industrielles (élevage ou plantation) pratiquées sur modèle très intensif ;
- réduction des temps de jachères qui, dans les systèmes traditionnels, permettent la reconstitution du potentiel de fertilité des sols ;
- disparition des aménagements anti-érosifs (murettes, lignes de pierres, plantation de végétaux ligneux), héritage d'un savoir-faire traditionnel ;
- situation économique souvent précaire des agriculteurs qui :
  - \* ne voient pas clairement un avenir ; ce qui ne les incite pas à une gestion prudente et soucieuse du long terme du patrimoine sol,

- \* sont méfiants vis-à-vis de tout ce qui vient des pouvoirs publics, qu'ils ont tendance à juger incapables de prendre en compte leurs problèmes.

On pressent que les problèmes vus de "l'amont" sont beaucoup plus difficiles que ceux abordés dans une problématique "aval", car ils doivent nécessairement prendre en compte les comportements sociaux et économiques des populations concernées.

Se pose alors une question :

Quelle est la démarche qui a quelques chances de donner de bons résultats pour prendre en compte l'ensemble des éléments qui peuvent aboutir à un aménagement anti-érosif efficace ?

La démarche Recherche-Développement (RD) semble offrir une solide garantie.

## 2. Démarche Recherche-Développement

L'idée d'associer recherche et développement n'est pas nouvelle ; la démarche recherche développement (RD) l'est, et sa formulation, claire et cohérente, l'est encore davantage. Plusieurs équipes se sont mises en place autour de la RD, notamment au CIRAD et à l'INRA. Les "Cahiers de la Recherche Développement" concrétisent la volonté d'ouverture et d'échange des expériences nombreuses et très diverses qui se réclament de la RD.

Voici, très rapidement et très schématiquement résumée, la démarche :

- un producteur est inséré dans un système agraire et gère un système de production ;
- il faut identifier les processus d'appropriation par le paysan d'innovations techniques puisées dans un référentiel alimenté par la recherche ;
- la RD associe chercheurs/agents de développement/producteurs dans une démarche itérative, où chaque partenaire a le même poids.

La RD comporte trois phases :

- diagnostic finalisé ;
- constitution d'un référentiel technique adapté ;
- suivi de l'appropriation par les producteurs.

### 2.1. Diagnostic finalisé

On cherche à répondre à une demande du terrain, il faut donc identifier cette demande, l'évaluer (de quels acteurs émane-telle, quelle est la logique de ces acteurs ?).

Cette demande s'inscrit dans un système agraire, qui n'est pas figé mais dynamique, dont les unités de production sont hétérogènes ; d'où la nécessité d'une typologie des unités de production avec leur dynamique.



Le diagnostic est finalisé car il est sous-entendu par un "projet" qui prend forme par touches successives ; navettes entre analyse de la demande et formulation de réponses que chaque aller-retour doit améliorer.

## 2.2. Référentiel technique

L'équipe RD doit disposer d'un référentiel technique :

- extérieur, résultat des travaux de recherche
- local, à partir de l'analyse critique des pratiques agronomiques locales, de l'histoire de la société agraire, des relations terre/producteurs, et des systèmes économiques et sociaux de décision.

L'acquisition de ce référentiel se fait par trois voies :

- l'expérimentation en station, dans des conditions entièrement maîtrisées par le chercheur.  
En matière d'érosion, l'outil de base sera, ici, la parcelle d'érosion.
- l'expérimentation chez l'agriculteur ; il s'agit souvent, à la fois d'expérimentation et de démonstration.  
L'intérêt d'une modification du système de culture sur un point précis est testé sur une partie d'une parcelle, le reste de celle-ci servant de témoin.  
Les modalités de l'expérimentation sont négociées avec l'agriculteur. L'essai est suivi par la recherche.  
Le simulateur de pluie constitue un outil important pour ce type d'expérimentation.
- l'observation des traces de l'érosion après un épisode pluvieux significatif et leur interprétation avec les agriculteurs concernés constitue la troisième voie pour former le référentiel.  
Elle permet d'améliorer l'évaluation de l'intérêt, non seulement des mesures prises à l'échelle de la parcelle, mais aussi celui des mesures relevant de l'aménagement du territoire.

## 2.3. Appropriation des innovations

L'équipe RD doit s'assurer de la réussite de la greffe des innovations faites, la décision d'adopter durablement l'innovation étant du seul ressort du producteur.

La RD est une démarche lourde mais probablement la plus féconde vis-à-vis de producteurs vivant dans une société rurale structurée. Ce qui est le cas de la très grande majorité des agriculteurs des pays en développement.

Elle a beaucoup moins de signification :

- dans les pays en développement, de producteurs prolétarisés et marginalisés, de type plantations familiales de palmier à huile,
- dans la mouvance d'une opération lourde (SODEPALM, en Côte d'Ivoire).

Pour ce qui concerne l'érosion, l'équipe RD devra rechercher un double appui :

- celui du spécialiste érosion ; capable de raisonner le référentiel technique comme déterminant de l'érosion : telle technique culturale, l'introduction de telle espèce dans un système de production représentant un risque nul, faible, fort d'aggravation de l'érosion.  
Ce spécialiste doit également être capable de proposer des techniques simples, permettant d'évaluer et de suivre l'érosion, en liaison avec les innovations introduites ;
- celui de l'écologue ; qui, par définition, raisonne en termes de système, mais à une autre échelle, à partir de descripteurs différents de ceux utilisés par l'agronome, le pédologue ou le sociologue.  
De plus, l'écologue sait décrire la structure du système écologique, interpréter son fonctionnement et prévoir son évolution ; il sait gérer le long terme ; or, l'érosion peut être un phénomène très rapide mais s'inscrit surtout sur le long terme.

### 3. Développement rural intégré

Telle qu'elle a été exposée, la démarche RD implique, pour être efficace, que le problème de l'érosion soit largement un problème de savoir.

Nous faisons, dans ce cas, l'hypothèse qu'il existe des solutions techniques appropriables, compte tenu des ressources des agriculteurs, de leurs motivations (celles-ci pouvant être, dans une certaine mesure, influencée par une action de sensibilisation) et de l'aide apportée par la collectivité, pour la mise en oeuvre de ces mesures.

Cette hypothèse n'est plus valable lorsque la situation économique de l'agriculteur est très dégradée.

Cette dégradation réduit l'éventail des mesures économiquement utilisables. Des facteurs, tels que la précarité foncière ou l'exploitation économique de l'agriculteur (commercialisation de ses produits non maîtrisée, usure...) favorisent le développement de comportement fataliste et privilégient le court terme.

Une simple action de sensibilisation ne peut alors agir sur la motivation.

Il convient, dans de tels contextes, d'associer l'action spécifique portant sur l'érosion des sols à une intervention plus large portant sur d'autres aspects du développement (amélioration de la productivité des diverses cultures ou élevages, maîtrise du foncier, des circuits commerciaux, etc.).

Il s'agit alors d'une opération de Développement Rural Intégré.

### 4. Conclusions et recommandations

#### 4.1. Des objectifs très partiellement atteints

Les objectifs que nous nous étions fixés n'ont été atteints que partiellement :

On dispose, avec 134 fiches, d'un inventaire à peu près exhaustif de ce qui a été fait pour les organismes de recherche.

Par contre, l'enquête auprès des sociétés de développement a donné des résultats un peu décevants, car nous n'avons pas toujours su trouver, auprès de chacune de ces sociétés, un relai pouvant dégager du temps et suffisamment motivé pour travailler avec les ingénieurs de la société qui ont été engagés sur des opérations comportant un volet érosion.

La circulation de l'information reste insuffisante, avec, cependant, un progrès important : l'initiative prise par un groupe de chercheurs de mettre en place un réseau - coopérative de l'information sur la conservation des eaux et des sols - qui souhaite progressivement toucher l'ensemble des équipes de recherche d'expression française et qui dispose déjà de 70 correspondants en France et dans les pays africains et latino-américains ; l'objectif du réseau est de constituer une base bibliographique sur les recherches menées dans le domaine de l'érosion alimentée par les correspondants. Celle-ci est, dès à présent, opérationnelle. Le réseau est animé par une cellule informelle.

Cette initiative démontre que, sans moyens importants et sans attendre une décision "institutionnelle", il est possible d'aller de l'avant.

#### 4.2. L'étude a confirmé une lacune :

Nous ne disposons pas d'évaluation complète, établie à postériori, sur une opération de lutte contre l'érosion, ou, quand une telle évaluation a été faite, elle l'a été avec une approche sectorielle. Or, une telle évaluation serait probablement très riche d'enseignement, car elle permettrait de hiérarchiser les facteurs qui ont contribué aux résultats, donc de mieux organiser les priorités pour les aménagements futurs.

Dans quel esprit pourrait être faite l'évaluation d'un projet ?

Il nous semble qu'elle pourrait concerner les points suivants :

- tenter, à partir des documents établis lors de l'élaboration du projet et en s'appuyant sur des enquêtes, de compléter la définition de l'état initial en identifiant les systèmes de productions et en évaluant leurs effets sur l'érosion ;
- faire une typologie des comportements des populations concernées par les aménagements et les équipements réalisés ; voir comment les types de comportements se répartissent dans l'espace, notamment en fonction de la sensibilité du système écologique à l'érosion, mais aussi en fonction de critères sociologiques.

Tout ceci en s'efforçant à l'objectivité et à l'impartialité, et en se gardant bien de chercher un coupable, qui ne doit être :

- ni le paysan, trop souvent réputé incapable de gérer le progrès ;
- ni les pouvoirs publics, accusés d'avoir eu la prétention d'imposer un modèle importé, donc inadapté.

Cette évaluation doit donc être beaucoup plus que ce qui est fait classiquement et qui consiste à comparer objectif et réalisation, évalués en kilomètres de banquettes réalisées ou nombre de seuils aménagés.

Elle ne peut être faite sans l'accord des autorités du pays, mais l'équipe qui la fera devra conserver une très grande indépendance... ; c'est bien là la difficulté de la chose.

Quels sont les pays qui réunissent des conditions dans lesquelles elle semble intéressante ?

Peut-être le Maroc, où la FAO a beaucoup travaillé au niveau de la définition de schémas directeurs d'aménagements de bassins versants, avec le souci d'une démarche pluridisciplinaire et le désir de prendre en compte les paramètres sociologiques.

Pourquoi pas HAÏTI, où la situation est grave et où des expériences d'aménagements anti-érosives sont en place, très variées, à l'image de la diversité des aides reçues.

#### 4.3. Création d'une équipe pluridisciplinaire

Il paraît souhaitable que se constitue une équipe spécialiste de l'érosion, maîtrisant bien, au niveau du diagnostic et de la proposition d'action, l'ensemble des phénomènes qui se situent à l'interface ;

- systèmes de production
- potentiel de fertilité des sols (caractéristiques physiques et chimiques, état de la matière organique)
- dynamique de l'eau (ruissellement infiltration, circulation dans le sol).

L'érosion étant le résultat d'une mauvaise gestion d'un système écologique (au sens très large de l'écologie qui intègre les pratiques de l'homme) doit être prise en charge par des équipes pluridisciplinaires (agronomes, écologues, hydrologues, sociologues, etc.) opérant simultanément avec ardente obligation d'échanges entre eux, dans le cadre d'une approche Recherche Développement (RD).

On peut se demander si le spécialiste de l'érosion doit être le dénominateur commun, donc le chef d'orchestre d'une équipe pluridisciplinaire lourde, ou s'il doit offrir aux équipes qui existent (systèmes agraires et production) et qui ont une bonne expérience de l'analyse systémique.

La deuxième formule est plus facile à mettre en oeuvre, puisqu'elle prend en compte l'existant, mais elle suppose que le spécialiste de l'érosion sache bien définir le service qu'il peut rendre et sache convaincre ses partenaires de faire appel à lui.

#### 4.4. Formation et érosion

En matière de formation, des améliorations sont à apporter au système actuel :

- au niveau de la formation des agents d'exécution, les établissements français de formation doivent mettre en place des séminaires de courte durée sur le terrain, dans les pays en développement, pour valoriser les bilans, faits à posteriori, d'opérations d'aménagements anti-érosifs. Les deux études de cas présentées ici sont des matériaux immédiatement utilisables.
- l'enseignement de l'érosion doit être conforté dans les formations agronomiques françaises.
- au niveau des formations par la recherche, il faut encourager des thèses plus opérationnelles, intégrées dans des bilans d'opérations d'aménagement de bassins versants ; cette ouverture vers l'opérationnel étant d'ailleurs bien dans la ligne du nouveau doctorat.

ANNEXE I  
INVENTAIRE DES OPERATIONS DE RECHERCHE

Liste des fiches d'opération de recherche au 1/4/1984

N°	Nom ( dates début, fin)	lieu, zone écologique	Thèmes abordés	Méthodes
C E M A G R E F		- 14 avenue Saint-Hauw 75 012 Paris - B.P. 121 92164 ANTONY - B.P. 92 13603 AIX-EN-PROVENCE - B.P. 76 38402 SAINT-MARTIN-D'HERES	(1) 343.97.84 (1) 666.21.07 (42) 28.93.10 (76) 54.00.72	
1	OBERLIN, MICHEL (1982) GRIL	France (Ain) Montluel Côtière des Dombes	Origine des sédiments transportés et moyens pour en limiter les inconvénients	- modélisation b.v. - simulateur pluie (1m <sup>2</sup> )
2	VERREL, GRIL (1981-82)	France - Pommier, Vignobles Côteaux Beaujolais	Lutte contre l'érosion dans les vigno- bles de coteau - Modifications de la surface du sol	- simulateur pluie (1m <sup>2</sup> )
3	LEYNAUD, GRIL, DALJÉTINE (1983)	France - Rouen	Influence du sous-solage sur l'éro- sion en sol limoneux	- simulateur pluie (1m <sup>2</sup> )
4	CAMBON, etc. (1982-95) OLIVIER	France - Haute Provence Marnes Noires DRAIX	Influence des travaux de RTM sur les écoulements liquides et solides	- b.v. expérimentaux < 1 km <sup>2</sup> , ravines
5	DINGER (1978-84)	France - Isère - Drome Alpes du Sud	Revégétalisation en montagne : correc- tion des ravines et fortes pentes	essais comparatifs, inven- taire des espèces disponibles
6	BECHETOILLE (1978-83)	France - Alpes du Nord Haute Montagne	Amélioration des projets de correction et des types d'ouvrage	analyse coût-avantage, tests d'ouvrage, mesure des effets
7	MURA (1978-82)	France - Haut Drac Maurienne	Programmation des travaux anti-érosifs en montagne, à l'échelle des grands bassins	Carto, analyse socio-écono- miques des enjeux
G E R D A T  CTFT		- B.P. 5035 Domaine de LAVALETTE 34032 MONTPELLIER - 45 bis, avenue Belle Gabrielle, 94230 NOGENT/MARNE	tél. (67) 63.91.70  tél. (1) 873.32.95 (CTFT) 873.25.27 (IRAT)	
8	BIROT, GALABERT (1967-72)	Gampela - Haute-Volta Centrale Savane Soudano-Sahélienne	Comparaison du Ruissellement et de l'érosion sous culture traditionnelle ou mécanisée sur sol ferrugineux peu épais, pente 0,8 %	3 champs E ½ ha 1 E.R. Wischmeier (100 m <sup>2</sup> )
9	PIOT, GALABERT MILLOGO (1973-78)	idem " Linoghin	Comportement d'un sol brun vertique après défrichement et culture méca- nisée : p = 1,3 %	4 champs E 0,5 ha 1 E.R. Wischmeier

## CTFT (suite)

10	PIOT, MILLOGO (1973-80)	idem " Bitou	Erosion et ruissellement sur vertisols très dégradés. Restauration, reboisement, cultures en bourrelets.	5 champs E. 0,3 ha 1 E.R. Wischmeier
11	PIOT, MILLOGO (1977-79)	idem " Oursi Steppe sahélienne	Influence des cultures en zone marginale sur E. Ruissellement, pente 5 %	2 champs E. 0,3 ha 1 E.R. Wischmeier
12	BIROT, GALABERT (1966-72) puis DELWAULLE	Allokoto Niger (Maggia) Steppe Sahélienne	Effet des aménagements anti-E sur E, R et rendements des cultures sur vertisols, pente = 3 %	4 champs E. 0,4 ha 1 E.R. Wischmeier
13	DELWAULLE (1971-75)	Niger (Niamey) Steppe sahélienne	Effet longueur de pente (3 %) et culture sur sols sableux	5 E.R. 1 E.R. Wischmeier
14	BARLIER (1976- ?)	Niger TARA Sav. Soudano-sahélienne	Risques d'érosion sur sol ferrallitique argileux. Effets techniques culturales et aménagements anti-érosifs.	5 champs 0,1 ha 1 E.R. Wischmeier
15	SARRAILH, MALVOS (1972-77) CTFT + IRAT + IEMVT + ORSTOM	Ambatomainty Madagascar : hauts plateaux	Impact des techniques de pâturage et de culture sur E. et Ruis., pente 13 %	5 E.R. 1 E.R. Wischmeier 2 b.v. 25 ha.
16	BAILLY, VERGNETTE etc. (1953-64) SOUCHIER, COGNAC	Lac Alaotra Madagascar	Effet 3 rotations, longueur de pente, fertilisation sur E. et R. et couvert	8 E.R. + 1 E.R. Wischmeier
17	CTFT - ORSTOM (1968-72) + Ibiza	Madagascar Ouest Befandriana	Eilan de l'eau, E. et Ruiss. en vue de l'aménagement de petites retenues collinaires	7 E.R. pente 9-14 %
18	SOUCHIER, BAILLY et al. (1960-72)	Madagascar côte Est Ivoloina (Tamatave)	Influence des cultures sur forte pente	7 E.R. + 1 Wischmeier (p = ?)
19	BAILLY + HUEBER (1967-72)	Madagascar Ouest Kianjasoa	Effet modification du couvert naturel sur E. et R. (pente = 7 %)	5 E.R. + Wischmeier
20	BAILLY et al. (1961-83) MALVOS, SARRAILH	Madagascar Centre Manankazo Hauts Plateaux	Effet des feux de prairie, des reboisements et des différents pâturages artificiels (pentes 13-23 %), aménagement b.v. en culture.	3 puis 6 E.R. + Wischmeier 4 b.v. 4 ha



## CTFT (suite)

21	SOUCHIER, BAILLY et al. (1957-72)	Madagascar Narokely (Ankaratra)	Choix d'un assolement adapté aux terres sur basalte et de la date de semis des prairies	8 E.R. + Wischmeier
22	BAILLY et al. (1962-83) MALVOS, SARAILH	Madagascar bordure orientale. Forêt dense de montagne.	Influence du type de forêt, reboisement, culture sur brûlis, sur bilan hydrique, débit de pointe, d'étiage et écoulement total.	4 E.R. 7 b.v. 7 à 100 ha + 3 b.v. 1,5 ha
23	CTFT (1979-84)	Burundi (Rushubi) Equat. de montagne	Efficacité de divers aménagements anti-E. sous cultures sarclées, café, Pinus, manioc.	7 E.R. + Wischmeier
24	CTFT + divers (1977-84) SARAIHL, BAILLY	Guyane française (ECEREX. St Elie) Equat. perhumide	Exploitation de la forêt et implantation d'un système simplifié : culture, forêt, pâturage, fruits. Impact de l'homme sur le milieu	9 E.R. + Wischmeier 10 b.v. expérimentaux et comparatifs.
25	divers CTFT (1973-76)	Nouvelle Calédonie (PRONY)	E. et Ruiss. sur déblais miniers plus ou moins traités.	5 E.R.
26	BOURGOIN et al. (1979-81)	Nouvelle Calédonie (PRONY etc.)	Restauration des paysages miniers : collection d'arbres et essais des modes d'implantation.	Collection sur talus
IEMVT				
27	BOUDET + ORSTOM (1975-78)	Mali (Gourma) Steppe sahélo-saharienne	Potentialités pastorales et évolution du milieu sahélo-saharien - Risques d'érosion	enquêtes, toposéquences carto.
28	BOUDET + ORSTOM et al. (1979-81) BARRAL	Sénégal (Ferlo) steppe sahélo-saharienne	Evolution des sols et des ressources sylvo-pastorales, érosion éolienne et pluviale.	télédétection, organisation des surfaces, observation autour des puits.

## IRAT

29	ORSTOM puis IRAT (1954-70) COINTEPAS, FAUCK, CHARREAU et al.	Sénégal (Séfa) tropical semi-aride	Influence des techniques culturales, du couvert et de la pente sur érosion et ruissellement.	10 E.R.
30	IRAT + ORSTOM (1982-85) Le goupil + Olivry	Sénégal (Sine Saloum) Soudano Sahélien	Economie de l'eau Défense et restauration des sols	3 b.v.+2 champs 1 ha
31	IRAT + CIEH (1976-84) POULAIN, LIDON. QUIDEAU, etc.	Haute-Volta (Saria II) Soudano-Sahélien	Economie de l'eau en fonction des techniques culturales (travail et résidus <i>de culture</i> )	4 E.R. (pente 0,7 %)
32	ORSTOM puis IRAT (1960-75) ..., BERTRAND, KALMS	Côte d'Ivoire (Bouaké) Savane soudano-gui- néenne	E. et R. en fonction de 4 modes de préparation du sol (sol nu ferralli- tique graveleux)	4 E.R. nues (p $\approx$ 4%)
33	ARRIVETS (1973-81)	Madagascar (Ampangabe) Plateau : tropical <i>d'altitude</i>	Bilans hydrique et minéraux sous cultures (maïs, arachide, soja)	28 lysimètres non remaniés + parcelles agronomiques
34	ARRIVETS (1974-77)	Madagascar (Manankazo) Plateau tropical d'al- titude	Bilans hydriques et minéraux dans divers prairies des hauts plateaux malgaches	10 lysimètres non remaniés + parcelles agronomiques
35	BROUWERS, LATRILLE (1970-79) SUBREVILLE	Comores (Mayotte)	Mise en valeur, érosion et lutte anti-érosive à Mayotte	- carto., observation terrain - formation
36	GODON (1975-?)	Guyane fr. (Cabassou) forêt équat. perhu- mide	Evaluation des coefficients de l'équ. Wischmeier dans la zone côtière Est de la Guyane	U.R. + Wischmeier lysimètre
37	KALMS + DOUGLAS MARTINEZ IRAT - CNEARC (1982)	Vénézuéla (Mide) Semi-aride	Diagnostic des facteurs de l'érosion à l'échelle de champs dans une zone pilote (PIDZAR)	enquête aux champs
38	LEGOUPIL - LIDON (1984-87)	Haute-Volta (Fara Poura) soudanien	Maîtrise du ruissellement en relation avec l'aménagement du b.v; et techni- ques culturales	b.v. enquête terrain

39	DCHS (1977)	Côte d'Ivoire (EHANIA) Tropical humide	Lutte contre l'érosion en palmeraie adulte	essais en plantation
I N A P G 16, rue Claude Bernard 75231 PARIS CEDEX tél.(1)570.15.50				
40	PEYRE - SIMON (1978)	France - Pas de Calais	Erosion et machinisme agricole	enquête, profils culturaux
41	FEDOROFF - ROUX (1981)	France - Novion Somme	Ruissellement et remembrement Commune Nampont St Martin	enquête, carto. pédo. pénétrométrie, infiltration
42	PEYRE + SABET (1983-86)	Syrie Alep zone semi-aride	Infiltration et ruissellement dans une agriculture de type "DRY farming" en Syrie.	- sonde neutrons - Simulateur pluie (1 m <sup>2</sup> )
43	BOIFFIN (1980-83)	France	Dégradation de la surface des terres limoneuses	- état de surface, lames minces - micromorphologie. I.S., - macro-morphologie, rugosité
I N R A - Département Service du Sol - Route de Saint-Cyr 78000 VERSAILLES - B.P. 101 02004 LAON tél.(3)021.74.22 tél.(23)79.03.70				
44	GACHON, LOISEAU (1973-82)	France, Plomb du Cantal étage subalpin 1600 m	Réengazonnement des pistes de ski. Lutte anti-E. dans les sites touristiques.	- essais espèces - variétés - réalisation - suivi
45	CHEVALIER, LOISEAU	France, Chaîne des Puy Collines et montagnes (700 - 1100)	Réengazonnement des carrières de pouzallane dans la chaîne des Puy.	- essais espèces - variétés - techniques
46	DUTIL, BALLIF. J.E.	France - Champagne Chalon-sur-Marne	Erosion en milieu viticole Champenois en fonction des techniques culturales.	- 4 parcelles E.R.
47	ALLEMAND, P. AUGE INRA Antibes	France - Antibes	Revégétalisation, lutte contre l'érosion et réinsertion de zones dégradées, dans le paysage.	- sélection d'espèces sur talus
48	ANCEL INRA Colmar	France - Colmar	Désherbage chimique dans les vignobles pour réduire le coût des techniques culturales et les risques d'érosion.	- parcelles agronomiques

I N R A (suite)

49	LOISEAU (P.) INRA Clermont-Ferrand	France Massif Central	Reverdissement des sols dénudés de montagne.	- parcelles - Recherche - Développement
50	MENET INRA Bordeaux	France : Landes Gascogne	Lutte contre l'érosion éolienne dans les sols sableux cultivés des Landes de Gascogne.	- grandes parcelles - capteurs : pièges à sable
51	J. CONCARET INRA DIJON	France : Côteaux Bourgogne	Lutte anti-érosive en vignoble à forte pente en Bourgogne - Amélioration de l'enracinement. Drainage, soussolage, gypse.	- champs chez particulier
52	A. MASCLET INRA Rouen	France : Pays de Caux Haute Normandie	Evaluation de l'érosion sur cultures sur loess en Haute Normandie. Qualité des eaux.	- carto. + Labor. I.S. - perméabilités : texture
<p>- Station Ecologique de Cessièrre 02320 ANIZY / tél.(23)23.40.77 - 1<sup>er</sup> CN 2 avenue Pasteur 94 160 Saint Mandé (1)374.12.45</p>				
53	Ecole Normale Sup. (1977-84) MORAND F.	France : (Laon) Cessièrre zone tempérée atlantique	Erosion hydraulique et éolienne. Méthodologie et mesures de terrain.	13 parcelles E.R. 109 potelets 5 AMESTE éoliens
54	Institut Géographie National (1981) GUYOT L.	France, Somme. Ligescourt	Erosion des terres agricoles (limons de plateau) d'après photos aériennes	photo interprétation carto. : évolution Erosion
<p>Ministère des Affaires Etrangères - Quai d'Orsay Paris</p>				
55	Ministère des Affaires Etrangères Coopération (1978-81)	Panama - CHIRIQUI Tropical humide, Volcan	Conservation de l'eau et des sols des hautes terres riches de Chiriqui (p > 35 %) - Méthodes biologiques	5 parcelles E.R. Recherche - Développement
56	Coopération(1980-85) A. SIMON	Plateau Ouest Cameroun trop. humide alt.volcan	Techniques traditionnelles et modernes de conservation des sols.	enquête essais aux champs
<p>Ministère de l'Agriculture (Diame, Hydraulique) 19, avenue Maine 75732 PARIS 15</p>				
57	PAULET (1983-?)	France : Artois	Recherche et développement sur les pratiques culturales propres à réduire les problèmes d'érosion	étude géomorphologique
58	PAULET (1983-?)	France : LAURAGAIS	idem en Lauragais	Mesures en E.R.et b.v.

Liste des fiches d'opération de recherche au 1/4/1984

N°	Nom - Dates	lieu, zone écologique	Objectifs	Méthodes
<p>O R S T O M - 24, rue Bayard 75008 PARIS tél. (1) 723.38.29            - SAC JAM 31 Rue de Meudon 92 033 MONTPELLIER (07) 63.31.00            - SAC ENGREF BP 6093 34 033 MONTPELLIER (07) 54.66.96</p>				
59	DELHOUME (1975-82)	Tunisie Centrale montagne semi-aride	Facteurs du ruissellement, des transports solides (érosion) et solubles (calcaire).	Case érosion (= E.R.) E.R. emboîtées
60	DELHUMEAU (1973-81)	Tunisie Nord méditerranéen humide	Erosion, dynamique de l'eau, des solubles en fonction du couvert forestier	4 cases ERLO, sonde neutrons bassin versant (= b.v.)
61	PONTANIER (1967-79)	Tunisie Sud méditerranéen aride	Erosion, modélisation dynamique de l'eau et de la production fourragères en fonction des aménagements.	E.R./versant, Aiguilles profils hydriques, végétation
62	ESCADAFAL (1980-84)	Tunisie Sud méditerranéen aride	Typologie des états de surface du sol sous pluie naturelles ou simulées	Macro + micro morphologie, Photo simulation + télédétection
63	J. BONVALLOT ((1979)	Tunisie Sud aride	Dégâts des pluies exceptionnelles sur petits ouvrages hydraulique rurale	enquête + carto.
64	J. BONVALLOT (1978-82)	Tunisie (Kroumirie) Méditerranéen humide	Causes des glissements de terrain Recensement, moyens de lutte.	Carto. : risques, pente, occupation des terres. enquête systèmes agro-pastoraux
65	" (1976-82)	Tunisie Centrale Aride sup.	Défense aménagement Ouest Zeroud et Merguellil - Analyse causes érosion	Carto 1/200.000 état actuel érosion - Cartes détaillées locales + lutte.
66	COLOMBANI + CLAUDE (1975-79)	Tunisie Nord Méditerranéen humide	Risques envasement de 7 retenues Détermination du transport de fond.	échosondeurs, carottage des sédiments
67	COLOMBANI, CLAUDE, CAMUS (1972-84)	Tunisie entière Méditerranéen à aride	Etude des débits liquides, solubles des bassins représentatifs de Tunisie	Sonde, neutrons, parcelles, bv 20 km <sup>2</sup> b.v. modèle écoulement mensuel.

## O R S T O M (suite)

68	CHEVALLIER, VALENTIN (1980-82)	Haute-Volta (Oursi) Sahélien	Etude fine relation eau-sol-plante pour expliquer le fonctionnement des b.v.	micro-simulateur pluie (1m <sup>2</sup> )
69	ALBERGEL, BERNARD, VALENTIN (1982-84)	Haute Volta Soudanien	Idem sur bassins Binnde, Kazanga, Kuo Kayan en savane arbustive	b.v. + simulateur pluie (1m <sup>2</sup> )
O R S T O M      Service Hydrologique 70, Route d'Aulnay 93140 BONDY				
70	VUILLAUME (1964-67)	Niger (Koukouzout) tropical semi-aride	Effet couvert végétal sur ruissellement et érosion sur petits b.v.	5 fosses séd. 3 b.v. 0,3 - 16 km <sup>2</sup>
71	LERIQUE, OLIVRY, COLOMBANI (1978-83)	Cap Vert (Eaô Nicolaô) océanique semi-aride	Ressource en eau Protection anti-érosive.	b.v. représentatifs
72	VALENTIN (1931)	Sénégal (Ferlo) semi-aride	Effet pâturage et piétinement autour des nouveaux puits.	Observation micro-macro structures du sol
73	OLIVRY , IRAT (1984-87)	Sénégal (Sine Saloum) semi-aride	Economie de l'eau et restauration des sols - Efficacité des aménagements.	3 petits b.v.
74	PONTANIER et al. (1982-86)	Cameroun Nord Soudano-sahélien	Economie de l'eau, restauration des sols. Localiser correctement les spé- culations agricoles.	S. neutrons, simulateur (1m <sup>2</sup> ) + b.v. 6 syst. écologiques
75	COLLINET, VALENTIN (1975-83)	Haute Volta + Niger Sahel + subdésertique	Dyn. act. des sols sous pluies simulées en zones sahéliennes et sub-désertiques	Simulateur 50m <sup>2</sup> et 1m <sup>2</sup>
76	CASENAVE et al. (1977-85)	Tunisie, Haute-Volta Niger, Côte d'Ivoire Togo, Cameroun, Congo	Génèse des crues de ruissellement sur parcelle et b.v. en fonction des états de surface.	b.v. + 7 simulateurs 1m <sup>2</sup>
77	ASSELINE et VALENTIN (1977-82)	Côte d'Ivoire, Haute- Volta, Niger	Mise au point d'un infiltromètre à as- persion et de la méthodologie.	Simulateur de pluie 1m <sup>2</sup>
78	COLLINET (1975-83)	Côte d'Ivoire Tropical humide (Taï)	Dyn. act. des sols sous pluies simu- lées, en zone tropicale humide (Sakassou - Taï).	Simulateur 1m <sup>2</sup>

## O R S T O M (suite)

79	LAFFORGUE, ROOSE, ASSELINE, VALENTIN, MOREAU et IRFA (1975-80)	Côte d'Ivoire Sud Sub-équatoriale	Effet travail du sol et résidus cult. ananas sur risques pertes eau, terre, engrais, rendements.	12 parcelles 50 m <sup>2</sup> , 12 lysimètres, 100 pots, simulateur 50 m <sup>2</sup>
80	ROOSE et CTFT (1968-78)	Haute-Volta Gonse Soudano-sahélien	Dyn. act. sol ferrugineux complexe sous savane arbustive - Effet date feux.	1 ERLO, 3 lysimètres 16 parcelles termites
81	ROOSE et IRAT (1971-74)	Haute-Volta Saria I Soudano- sahélien	Dyn. act. Sols ferrugineux cuirassés sous savane ou sorgho (SARIA)	2 ERLO, 4 E.R. 16 lysimètres + termites
82	ROOSE (1967-75)	Côte d'Ivoire Nord Soudanien (Korhogo)	Dyn. act. sol ferrallitique gravillon- naire sous savane brûlée et sous maïs	1 ERLO, 2 E.R. 8 lysimètres
83	ROOSE et IRAT (1966-72)	Côte d'Ivoire Centre Sav. Guinéen. (Bouaké)	Dyn. act. Sol ferrallitique sous sa- vane et cultures (IRAT) Bouaké	1 ERLO, 4 E.R. 4 lysimètres(savane) + 10 lys. (cult.) IRAT
84	ROOSE et IFCC (1967-74)	Côte d'Ivoire Centre Forêt semi-décidue (Divo)	Dyn. act. Sol ferrallitique gravillon- naire sous forêt semi-décidue et ca- caoyer fertilisé.	1 ERLO 2 x 4 lysimètres
85	ROOSE et IRFA GODEFROY (1966-73)	Côte d'Ivoire Sud Forêt subéquatoriale (Azaguie)	Dyn. act. Sol ferrallitique très désa- turé sous forêt sempervirente et bana- neraie.	2 ERLO 2 x 4 lysimètres + remontées vers de terre
86	ROOSE et IRCA (1965-72)	Côte d'Ivoire Sud Forêt subéquatoriale (Anguedou)	Dyn. act. Sol ferrallitique très désa- turé sur sables III sous hévéa.	1 ERLO
87	ROOSE (1964-76)	Côte d'Ivoire Sud (Adiopodoumé) Forêt subéquatoriale	Dyn. act. Sol ferrallitique très désa- turé sur sables III sous forêt et cul- tures diverses.	6 ERLO + 12 E.R. 42 lysimètres
88	COLLINET (1978-82)	Côte d'Ivoire Sud (Taf) Forêt subéquatoriale	Bilan de l'eau et érosion à différen- tes échelles sous forêt et culture traditionnelle.	2 x3 E.R., 1 ravineau b.v. et 2 simulateurs pluie

O R S T O M (suite)

89	VALENTIN et al (1983-86)	Côte d'Ivoire Centre (Touba) Savane guinéenne	Hyperbay : fonctionnement d'une couverture pédologique sur 1 b.v. savane	Carto., micro-macromorphologie Simulateur, b.v., tensio, S. neutrons
90	COLLINET (1972-75)	Gabon (Libreville) Forêt équatoriale	Dyn. Sol ferrallitique sous forêt dense équatoriale	1 ERLO
91	BLANCANEAUX (1974-75)	Guyane française (Grégoire) - Forêt dense amazonienne	Fonctionnement couverture pédologique en déséquilibre. Effet échelle ver- sant - b.v.	1 ERLO + micro-macromorpho- logie toposéquence
92	ROCHE, FRITSCH BOULET (1976-86)	Guyane française (Banigoro) Forêt équatoriale hyperhumide	Fonctionnement couverture pédologique bilan hydrique et évolution après dé- frichement et culture.	parcelle E.R. cf. CTFT 10 b.v. 1,5 ha ; 1 b.v. 5 km <sup>2</sup>
93	DE NONI (1983-87)	Equateur équatorial d'altitude	Causes physiques et humaines de l'éro- sion. Expérimentation et vulgarisation lutte anti-E.R.	carto 1/200 000 état d'érosion 5 parcelles E.R. et champs 1 ha
94	MATHIEU, MONNET, LENOIR, BOULANGER (1963-76)	Côte d'Ivoire Tropical sec et humide	Bilan d'érosion chimique et mécanique d'un grand fleuve : le Bandama 97 000 km <sup>2</sup>	Etude hydrologique et sédi- mento, d'un grand fleuve et ses affluents.
95	ILTIS (1982-84)	Nouvelle Calédonie Tropicale	Risques d'érosion et de sédimentation dans b.v. mines à ciel ouvert (nickel)	Carto évolution lit rivières et em- bouchures de 1875 à nos jours
96	LEPRUN (1978-81)	Brésil Nord-Est Trop. semi-aride	Bilan des études d'érosion et perspec- tives pour les recherches futures	équ. Wischmeier biblio.
97	DELHOUME (1981-86)	Mexique (Mapimi) aride	Liaison eau-sol-plante et évolution sous pâturage moins extensif.	S. neutrons évaluation risques érosion
98	CADIER, MOLINIER, LEPRUN (1981-86)	Brésil (Paraiba) maquis semi-aride	Influence couvert végétal sur écoule- ment et érosion.	7 parcelles E.R. + Wischmeier 4 micro b.v.
99	MARCHAL (1970-79)	Haute-Volta (Ouahigouya) Soudano-sahélien	Facteurs humains responsables de l'é- chec d'un aménagement antiérosif(GERES)	Enquête
100	BRABANT (1970-84)	Cameroun Nord tropical semi-aride	Potentialité des terres du Nord Cameroun. Carte de l'érosion actuelle	photo interprétation carto, prospection de terrain



O R S T O M (suite)

101	COMBEAU (1974-77)	France (Bondy)	Elaboration d'un enseignement sur l'érosion et la conservation des sols tropicaux (DEA)	Bibliog.
102	COMBEAU (1975-80) BELLIER	France (Bondy) laboratoire	Etude des facteurs de l'érosion : érodibilité des sols, effet paillage, effet conditionnement	Simulateur de pluie de labo (goutteurs) Echantil. remaniés
103	COMBEAU, BELLIER, HUMBEL (1981-85)	France (Bondy) laboratoire	Réorganisation d'un matériau pédologique de surface sous l'effet de - 3 modes d'apport d'eau (type d'énergie) - pluies simulées plus ou moins matières organiques.	Simulateur pluie à 1 gicleur en labo. échantillons remaniés
104	ROCHE, OLIVRY, etc. et BRGM Hydro-Pédo + X (1983-89)	France (Paca) Alpe et Provence	Evaluation des débits liquides et solides sur b.v. Vitrine matériel français nouveau ; sédimentation.	6 b.v. représentatifs — 1 à 10 km <sup>2</sup> + expérimentaux
105	MOREAU, ROOSE, TALINEAU, Pédo-Agro + ENGREF + X (1984-87)	France et Outre mer zone méditerranéenne et tropicale sèche	Dyn. de l'eau et érosion dans des syst. agraires. Dégradation des terres sous culture et correctifs. Efficacité des aménagements et risques d'érosion.	enquêtes, carto., simulateur de pluie, analyse socio-économique
S O G R E A H B.P. 172 Centre de Tri 38042 GRENOBLE CEDEX tél.(76)09.80.22				
106	SOGREAH (1965-72) B. HEUSCH et al.	Maroc SEBOU semi-aride à humide	L'érosion, limite au développement régional du SEBOU	parcelles, b.v. expérimentaux débits liquides et solides bv
107	SOGREAH (1972-74) B. HEUSCH et al.	Iran N-O Semi-aride froid	Projet défense et restauration des sols du bv du SEFID-RUD	Analyse des paramètres de E. Adaptation des aménagements Station recherche/bad-lands
108	SOGREAH (1982-83) B. HEUSEH et al.	Algérie, bassin de l'ISSER. Beni Slimane semi-aride	Erosion et transport solides dans les zones semi-arides du Maghreb. Evaluation coût/efficacité des techniques de contrôle de l'érosion.	5 x 2 b.v. comparatifs aménagés ou non Carto, formes d'érosion

109	MASSON, PELLETIER (1977- )	France Nord Pas de Calais	Erosion suite à la dégradation des sols en grande culture. Recherche de méthodes conservatrices dans le cadre des cultures intensives.	carto des sols, photo aériennes Enquêtes, développement Tests simulateur pluie (1 m <sup>2</sup> )
UNIVERSITES				
110	AIX (1964-75) VAUDOUR, CLAUZON, GABERT	France, domaine méditerranéen et alpin	Morphogénèse et pédogénèse actuelle dans le domaine alpin et méditerranéen. Erosion, pertes solubles, sédimentation.	Carto 2 parcelles E.R. 2 ravineaux
111	ORLEANS + SRAE + ORSTOM + Chambre LELONG, RAFI INGA (1979-83)	France, Région centre	Importance des différences hydrogéologiques et agropédologiques sur l'écoulement de 2 b.v. semblables et voisins.	Approche hydrologiques + hydrogéochimique. + simulation pluies
112	ORLEANS + INRA + ORSTOM + Chambre LELONG, TREVISAN, DARTHOUT (1983-85) ROOSE	France, REGION CENTRE Faux Perche	Dyn. de l'eau et transport solide sur un sol limoneux soumis à différentes pratiques culturales et différentes couvertures végétales.	Sonde neutron Laboratoire
113	ORLEANS + ITCF + ORSTOM + Chambre LELONG, RAHELIARISOA, ROOSE, BOISGONTIER (1984-86)	France, REGION CENTRE Sarthes	Influence du type de lit de semence sur la dyn. de l'eau, le ruissellement et sa charge solide sur un sol limoneux battant.	Simulation de pluie <i>gamma densimètre</i> Laboratoire
114	ORLEANS (CNRS PIREN) LELONG, DUPRAZ, (ROOSE) (1980-85)	France, Parc du Mont Lozère	Influence du couvert végétal sur le bilan de l'eau, sa charge soluble et solide.	3 b.v. comparatifs
115	PARIS VII + INERM Grenoble DOLLFUS, KAIZER, LECOMPTE	France, Tête Noire du Galibier	Observations et mesures thermodynamiques sur un versant d'Alpage.	Gerloch, lignes clous Ravineau
116	PARIS VII, Parc des Pyrénées DOLLFUS, MANHES	France, Hautes Pyrénées - Rés. Nat. Néouvielle	Sensibilité d'un milieu montagnard subalpin à la fréquentation touristique.	Dégradation <i>des sentiers</i>

## UNIVERSITE (suite)

117	PARIS X, Institut Géographie BILLARD, COSANDEY, MUXART	France, Massif Cen- tral - Massif du Lingas	Erosion récente et actuelle en rela- tion avec les pratiquee agropastorales de montagne.	Analyse pollen et sédiments  Repères ravines, simulation
118	PARIS X, Institut Géographie idem	France, Massif Cen- tral - Causse Méjan	Erosion sur le Causse Méjan en rela- tion avec les défrichements actuels	Parcelles E.R. 5 - 10 x 2 m Simulation
119	RENNES (1976-78) J. PIHAN	France	Cartographie de l'érosivité des pluies en France.	Dépouillement météo Nationale.
120	SAVOIE - CHAMBERY (1982-87) M. MIETTON	Haute Volta : Zorgho tropical sec	Mesure de ruissellement et E. sur petit b.v. avant et après aménage- ment anti-Erosif	1 b.v., 2 stations 6 ans
121	LA REUNION (1982-86) J. BOUGERE (+ GERDAT) CHABALIERA	La Réunion Tropical montagnard	Evolution des versants des Hauts de La Réunion et évaluation des contraintes	Parcelles E.R. Lysimètres
122	STRASBOURG (1976-79) J. TRICART	Brsil Alegrete RIO Grande de sol (savanes)	Lutte contre la dégradation des sols sableux par les moutons, par l'Erosion éolienne et le ruissellement.	Carto des zones dégradées 1/100 000 et 1/25 000 + processus
123	Idem (1980-84)	Espagne (Catalagne)	Ecodynamique du haut bassin de Llyobregat. Dégradation des terres, mines lignite.	Carto. des processus géomorph. Sédiments, informatique retenue
124	Idem (1972-74)	Algérie (Soummam)	Aménagement hydro-agricole du b.v. de Soummam	Processus versant + correction de fleuves, torrents, conception ouvrages correction Photo aériennes cartes
125	Strasbourg (1976-77) H. VOGT, GEISSERT	France (Neewiller)	Etude physio-microchorologique de l'érosion dans les collines loessiques Nord de l'Alsace.	Carto. 1/10 000 de E., pente

## UNIVERSITE (suite)

126	Strasbourg (1975-77)	France Vignoble alsacien	Processus et variables explicatives de l'érosion dans le vignoble alsacien : coût de l'Erosion	Carto, enquête, obs. terrain analyse correspondance
127	" (1977-78) H. VOGT, MESSER T.	France Vignoble alsacien	Etude du facteur climatique	Var. spatiale et temporelle des indices (LAI)
128	" (1976-77) H. VOGT + SABA - EL-GHOSSAIN	France : Bergheim Vignoble alsacien	Etude détaillée d'un versant témoin	Carto. 1/1000 Analyse factorielle corres- pondance
129	" + INRA (1976-78) E. EL-GHOSSAIM, T. MESSER	France Bergheim Wintzenheim	Mesure expérimentale de l'érosion en vignoble alsacien sur marnes et granite	Parcelles en 2 sites (18 mois)
130	" (1977-81) H. VOGT + A. SAADI	Algérie littoral oranais	Sensibilité du milieu en vue de l'aménagement par analyse <i>statistique des données</i>	Analyse fact. des correspon- dances Carte érodabilité 1/10 000
131	" (1977-81) H. VOGT + E. DIB	Liban Saïda - Jerrine	Sensibilité des terrains à la morphogénèse actuelle : quelques exemples au Liban.	Analyse fact. correspondances Carto détaillée
132	Projet (3 ans) Strasbourg (1983- ) AVENARD + MIETTON + P. MICHEL	Vignoble alsacien, Li- mon grande culture Zone sahélienne H.Volta, Mali, Sénégal	Coût, variation spatiale et correction de l'érosion en Alsace. Dégradation du milieu naturel.	Carto. Analyse statistique Recherche x développement Carto., enquête, b.v.
133	Toulouse (PIREN) (1980-82) CAPBLANCQ + TENDY + PROBST	France Toulouse	Gestion des ressources du b.v. Garonne. Eau, érosion, nitrate + phosphate	Hydrogrammes + charge solide et soluble
134	Projets (1984- ) URSAD Toulouse F. de RAVIGNAN	France - Aude Razes, Limoneux, Cor- bières. Plateaux et montagnes méditerran.	Risques d'érosion en côteaux. Repérage, expérimentation de pré- vention	Carto érosion actuelle et risques, enquête, expérimentation.

ANNEXE II

LISTE DES OPERATIONS DE DEVELOPPEMENT

AFRIQUE DE L'OUEST

Pays	Société d'étude	Intitulé de projet Dates des interventions	Maîtrise de l'ouvrage Superficie concernée	Types des interventions
BENIN	CEDRAT	Planification des ressources hydrauliques au Bénin ; 1979	O.N.U. BENIN	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Recensements de l'ensemble des projets concernant l'utilisation de l'eau.</li> <li>. Etude de synthèse sur les ressources hydrauliques utilisables.</li> <li>. Proposition des études complémentaires pour les projets en cours.</li> <li>. Définition des grandes orientations d'une politique d'ensemble de l'eau au niveau national.</li> </ul>
BENIN	CEDRAT	Etude d'Amélioration en eaux de neuf chefs-lieux de district ; 1980	SBEE et BAD en collaboration avec S.G.I.	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Avant-projet adduction et distribution d'eau</li> </ul>
CÔTE D'IVOIRE	SATEC	Sédentarisation de l'Agriculture en zone forestière ; 1976	Ministère de l'Agriculture SODERIZ, 270 000 ha	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Création d'un aménagement anti-érosif en zone forestière tropicale pour une culture en partie motorisée.</li> </ul>
GUINEE	CEDRAT	Assistance technique pour le développement de riziculture de Bas-Fonds	Ministère des Fermes Agropastorales et FED	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Conception des programmes de production et de vulgarisation</li> <li>. Gestion et contrôle de l'eau</li> </ul>
HAUTE VOLTA	SATEC	Terroirs Tests de Haute Volta, 1971-75	Ministère de l'Agriculture de Haute Volta 450 ha	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Aménagement anti-érosif de petits bassins versants déjà cultivés et dégradés.</li> </ul>
NIGER	SOGREAH	Projet de conservation des eaux et des sols Région de Maggia 1970	Ministère de l'Agriculture 800 ha	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Projet et direction des travaux de réalisation de banquettes à ados submersible sur 800 ha dans le cadre des chantiers ruraux.</li> </ul>

AFRIQUE DE L'OUEST (suite)

Pays	Société d'étude	Intitulé de projet Dates des interventions	Maîtrise de l'ouvrage Superficie concernée	Type des interventions
NIGER	SOGREAH	Projet de conservation des eaux et des sols massif de l'Ader Duchi 1971-76	Ministère de l'Agri- culture 100 000 ha	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Protection de la retenue du barrage de l'Ibohamane contre l'envasement</li> <li>. Programme de travaux de lutte contre l'érosion dans les vallées d'Ibohamane et de Kojta.</li> </ul>
SIERRA LEONE	CEDRAT	Etude de factibilité du projet de Mano-River 1979-80	FED	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Etude d'un barrage hydro-électrique avec mise en valeur hydro-agricole éventuelle.</li> <li>. Etude d'impact du barrage.</li> </ul>

AFRIQUE CENTRALE ET ORIENTALE

Pays	Société d'étude	Intitulé de projet Dates des interventions	Maîtrise de l'ouvrage Superficie concernée	Types des interventions
BURUNDI	B.D.P.A.	Etude de factibilité du projet de développement rural de la commune de Kabzi ; Défense et Restauration des sols. 1980	Ministère du Plan de la République de Burundi ; 12 000 ha	<ul style="list-style-type: none"> <li>. La conception générale de la protection anti-érosive des terres cultivées et des talwegs.</li> <li>. L'amélioration du réseau routier communal</li> <li>. Le réseau de brise-vent</li> <li>. Les reboisements de protection.</li> </ul>
CONGO	CEDRAT	Etude du schéma directeur de développement de la région des plateaux. 1980-81	Ministère du Plan en collaboration avec Universal Engineering and Finance Corporation ; Congo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Etude des potentialités de la région et des orientations.</li> <li>. Elaboration du schéma directeur avec proposition d'actions de développement économique et social, de réalisation d'infrastructures.</li> <li>. Etude des protectione animales du contexte socio-économique et des possibilités de production forestière.</li> </ul>
RWANDA	SCET-AGRI	Etudes de projets sur la crête Zair-Nil 1979-80-81	Ministère du Plan	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Etude des ressources en sol et en eaux</li> <li>. Etude pour la conservation des sols</li> <li>. Etude du projet de développement agricole</li> </ul>
TCHAD	CEDRAT	Préparation d'un programme d'assistance à la commission du Bassin du Lac Tchad ; 1977	U.S. AID Tchad, Cameroun et Nigeria	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Proposition pour l'amélioration des parcours</li> <li>. Examen de l'association de l'agriculture à l'élevage dans les zones pilotes de l'ASSAIE (Tchad) ; 4000 km<sup>2</sup> du Serrewel (Cameroun) ; 5000 km<sup>2</sup> et des districts de Kubawa et Mafa (Nigeria) ; 7000 km<sup>2</sup>.</li> </ul>



MAGHREB ET MOYEN ORIENT

Pays	Société d'étude	Intitulé de projet Dates des interventions	Maîtrise de l'ouvrage Superficie concernée	Types des interventions
ALGERIE	CEDRAT	Planification Régionale intégrée de l'agricul- ture algérienne ; 1972-74	Ministère de l'Agri- culture et de la Ré- forme agraire, terri- toire algérien.	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Analyse de potentialités régionales</li> <li>. Identification et sélection des opérations de développement.</li> <li>. Evaluation des moyens et des effets socio-économique.</li> </ul>
ALGERIE	CEDRAT	Etude d'inventaire des terres et forêts des willayate de : Bouira Medea, Blida, Alger 1978	BNEDEP 17500 km <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Recensement des potentialités</li> <li>. Elaboration d'un zonage prospectif et d'un schéma directeur d'aménagement.</li> <li>. Formation de techniciens algériens à tous les niveaux.</li> </ul>
ALGERIE	CEDRAT	Aménagement Hydro-Agri- cole de la Merdja El Amal 1977-79	Ministère Hydraulique et collaboration avec Coyne et Bellier	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Réhabilitation de la station de pompage existante.</li> <li>. Définition des travaux à effectuer sur le canal Tête Morte pour un fonctionnement automatique en commande par l'aval des installations.</li> </ul>
ALGERIE	CEDRAT	Définition d'une métho- dologie d'étude géné- rale des transports solides ; 1979	DEMRH Algérie	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Etudes sur les transports solides</li> <li>. Etudes sur l'érosion.</li> </ul>
ALGERIE	CEDRAT	Assistance auprès de la direction des études de milieu et de la recher- che hydraulique. 1979-1981	INRH Algérie	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Etude générale des apports liquides</li> <li>. Etude générale des crues.</li> <li>. Etude générale sur l'érosion et les transports solides.</li> <li>. Mise en place d'un système de Gestion des données.</li> </ul>

MAGHREB ET MOYEN ORIENT (suite)

Pays	Société d'étude	Intitulé de projet Dates des interventions	Maîtrise de l'ouvrage Superficie concernée	Types des interventions
ALGERIE	CEDRAT	Elaboration du plan national de développement forestier ; 1981-82	BNEDER 27 willayate	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Organisation, méthodologie et supervision technique de l'inventaire forestier national</li> <li>. Projets types d'aménagements intégrés (aménagement forestier, reboisement, lutte anti-érosive, sylvopastoralisme)</li> <li>. Préparation d'un plan forestier national à long terme.</li> </ul>
ALGERIE	SATEC	Projet de rénovation rurale des Beni Slimane Medea ; 1972-75	Ministère de l'Intérieur, Willaya du Titteri ; 270 000 ha	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Opération intégrée d'aménagement rural comprenant l'étude, la programmation et le lancement d'un certain nombre d'opérations de protection défense associée aux aménagements des sols ; travaux de DRS ; plantation, aménagements sylvo-pastoraux.</li> </ul>
ALGERIE	SOGREAH	Conservation des sols des bassins versants au Nord de Setif ; 1974	Bechtel incorporated U.S.A. ; 175 000 ha	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Evaluation de l'érosion des bassins des barrages de Irilemda, Eraguene, El Halib, Fermatou.</li> <li>. Définition et évaluation des coûts de traitements de D.R.S. et de reforestation.</li> <li>. Estimation de l'efficacité des traitements sur l'envasement des retenues.</li> </ul>
ARABIE SEOUDITE	CEDRAT	Etude du Réseau d'irrigation pour l'île de Hacr (Djeddah) 1981-82	Entreprise grecque en collaboration avec S.G.I. 150 ha	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Mise au point des techniques d'irrigation.</li> <li>. Rédaction de CPS.</li> </ul>
IRAK	CEDRAT	Etude de Factibilité du périmètre de Khazir-Gomel ; 1977	Ministère de l'irrigation. 35 000 ha	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Supervision technique des études concernant l'aménagement hydraulique et la mise en valeur de la plaine.</li> </ul>

MAGHREB ET MOYEN ORIENT (suite)

Pays	Société d'étude	Intitulé de projet Dates des interventions	Maîtrise de l'ouvrage Superficie concernée	Types des interventions
IRAK	CEDRAT	Projet de mise en valeur agricole et d'organisation de la production ; 1982	S.O.L.R. en collaboration avec Swiss-consultants	. Définition des bâtiments d'exploitation, du machinisme agricole, des techniques culturales, de l'approvisionnement.
IRAK	CEDRAT	Etude de factibilité 1980-82	S.O.R.L. en collaboration avec Swiss-consultants IRAK	. Etude des ressources et besoins en eau . Etude des ressources en sol et des aménagements fonciers. . Elaboration de programme de développement agricole.
IRAK	SATEC	Stations d'étude et de prévention de l'érosion ; 1975	Ministère de l'Agriculture Zawita et Nomaniya.	. Inventaire des problèmes érosifs spécifiques descriptif des méthodes de prévention, lutte envisageable. . Etude de l'érosion hydrique à Zawita. . Etude de l'érosion éolienne à Nomaniya.
IRAN	CEDRAT	Projet d'irrigation de Varamin et Garmsar ; 1973-77	Ministère de l'Energie Hydratec 70 000 ha	. Etablissement de l'avant-projet pour les aménagements . Deux barrages de dérivation . 400 km de canaux principaux d'irrigation . Le forage et l'équipement de 250 puits . Etude de la nappe . Recharge artificielle de la nappe.
IRAN	CEDRAT	Plan directeur de la région du Ghotour Chai ; 1975	Ministère de l'Energie ; 15 000 km <sup>2</sup>	. Inventaire des ressources . Etablissement des schémas d'équipement avec utilisation combinée des eaux de surface et souterraines.
IRAN	CEDRAT	Plan directeur de la région de Shirvan 1975	Ministère de l'Energie Hydratec 50 000 km <sup>2</sup>	. Assistance pour l'élaboration des schémas hydrauliques . Justification socio-économique.

MAGHREB ET MOYEN ORIENT (suite)

Pays	Société d'étude	Intitulé de projet Dates des interventions	Maîtrise de l'ouvrage Superficie concernée	Types des interventions
IRAN	CEDRAT	Etude du plan directeur d'utilisation des eaux de la région de Saravan 1977	Ministère de l'Energie en collaboration avec Paris-Consult	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Inventaire des ressources en eaux et en sol.</li> <li>. Identification et sélection des projets de mise en valeur.</li> </ul>
LIBYE	BDPA SATEC	La mise en valeur des zones semi-arides de Libye par des aménagements de conservation des eaux et du sol (CES) 1975-80	Gouvernement libyen 200 000 ha	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Zonage général.</li> <li>. Schéma directeur d'aménagement</li> <li>. Travaux de DRS et CES</li> <li>. Création des fermes</li> <li>. Réalisation et suivi des aménagements agricoles.</li> </ul>
LIBYE	SOGREAH	Défense et restauration des sols en Tripolitaine 1973-76	Entreprise Bouchamaoui ; 20 000 ha	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Projets, surveillance et direction des travaux d'aménagement de conservation des sols.</li> </ul>
MAROC	CEDRAT	Etude générale des potentialités des Bassins versants de la Moulouya et du Za ; 1971	Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire et SOMET 50 000 km <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Inventaire des ressources</li> <li>. Sélection des zones à développer et à améliorer.</li> </ul>
MAROC	CEDRAT	Etudes agronomiques et pédologiques sur le périmètre du Loukkos ; 1976	Office de mise en valeur agricole de Loukkos à travers sa filiale Hydratec 20 000 ha	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Etablissement du plan d'aménagement, tracé des pistes, lutte anti-érosive.</li> <li>. Etude pédologique à l'échelle de 1/20 000.</li> </ul>
MAROC	CEDRAT	Alimentation en eau de Taza ; 1982	Tractionnel Taza	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Etude hydrologique du bassin versant de l'Inaoueme</li> <li>. Apports, crues, étiages</li> <li>. Salinité</li> <li>. Transports solides, pollution agro-alimentaire et minière.</li> </ul>

MAGHREB ET MOYEN ORIENT (suite)

Pays	Société d'étude	Intitulé de projet Dates des interventions	Maîtrise de l'ouvrage Superficie concernée	Types des interventions
MAROC	SOGREAH	Erosion et Transport solide dans le bassin versant de Sebou 1971	FAO	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Evaluation des pertes en sol et des apports solides à l'amont des retenues de barrages projetés</li> <li>. Etudes et recherches sur l'érosion des montagnes de Rif ; application de formule de Wischmaeier.</li> </ul>
TUNISIE	CEDRAT	Elaboration du plan directeur de l'utilisation des eaux du centre de la Tunisie ; 1976	Ministère de l'Agriculture - Direction EGTH	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Etude des potentialités en eau</li> <li>. Evaluation de la demande agricole, urbaine et industrielle</li> <li>. Recensement des sites de mibilisation (stockage et dérivation).</li> </ul>
TUNISIE	CEDRAT	Etude hydrologique de la Sebkanoual et du bassin de l'Oued Seldja, 1979	EGTH	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Etude hydrologique des apports</li> <li>. Conception de l'ouvrage de vidange</li> <li>. Terrassements et ouvrage de chute</li> <li>. Etude de récupération des terres à des fins agricoles.</li> </ul>
TUNISIE	SOGREAH	Etude de petits barrages 1980-81	EGTH	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Prospection de sites, définition des travaux topographiques</li> <li>. Etude hydrologique et géo-techniques.</li> </ul>
TUNISIE	SOGREAH	Conservation des eaux et des sols 1962-70	Minsitère de l'Agriculture 1 200 000 ha	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Avant-projets et projets d'ouvrage de conservation des eaux et des sols.</li> <li>. Projet et direction des travaux de défense et de restauration des sols dans le bassin de la Volta-Blanche.</li> </ul>

O C E A N I N D I E N E T P A C I F I Q U E

Pays	Société d'étude	Intitulé de projet Dates des interventions	Maîtrise de l'ouvrage Superficie concernée	Types des interventions
CAP- VERT	SCET-AGRI	Cartographie et classe- ment des terres 1980	Gouvernement de Cap- Vert ; l'ensemble de l'Archipel	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Inventaire des terres</li> <li>. Cartographie pédologique</li> </ul>
COMORES	IARE	Cours et formation sur l'érosion et techniques anti-érosives 1979	Programme de coopéra- tion scientifique et technique. Agence de coopération culturelle et technique. Comores, Mascareignes, Seychelles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Cours sur l'érosion des sols et techniques anti-érosives</li> <li>. Stage du terrain.</li> </ul>
INDO- NESIE	SOGREAH	Aménagements des bas- sins et contrôle de l'érosion ; 1977	Minsitère des tra- vaux publics ; Jakarta	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Mise en évidence de la croissance de ruis- sellement et de l'érosion provoquée par le défrichement dû à la pression démographique</li> <li>. Propositions pour une rénovation de l'éco- nomie montagnarde dans l'arrière-pays de Jakarta.</li> </ul>
MADAGAS CAR	CEDRAT	Etude de réaménagement du périmètre Nord du Lac Alaotra ; 1981	Ministère de l'Agric- ulture 5 000 ha	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Analyse critique des réseaux et ouvrages existants</li> <li>. Avant projet de réaménagement</li> <li>. Proposition pour une structure de gestion du périmètre.</li> </ul>
MADAGAS CAR	SCET-AGRI	Etude de la protection contre les crues de la plaine d'Antananarivo 1981-84	Ministère du Plan à République Malgache Banque Mondiale 99 km <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Actualisation de l'ensemble des données hy- drologiques</li> <li>. Modélisation des crues et de leur impact</li> <li>. Propositions et identification de mesures concernant la régulation des crues.</li> </ul>
MADAGAS CAR	SCET-AGRI	Aménagement anti-érosif des Tanety 1974	GOPR-URER de Tanana- rive et Fianarantsoa 1 500 ha	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Mise en valeur des Tanety</li> <li>. Aménagement anti-érosif du type "à fossé de diversion"</li> </ul>

P A Y S L A T I N O - A M E R I C A I N S

Pays	Société d'étude	Intitulé de projet Dates des interventions	Maîtrise de l'ouvrage Superficie concernée	Types des interventions
BOLIVIE	CEDRAT	Etude de factibilité du projet hydro-électrique de Sakhahuaya ; 1979	O.N.U. Bassin versant de Sakhahuaya	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Etude des ressources en eau</li> <li>. Lutte contre la pollution des eaux à l'échelle des grands bassins.</li> </ul>
HAITI	B.D.P.A.	Projet d'intensification des cultures sur port de paix ; 1983	FAO	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Aménagement global du bassin versant</li> <li>. Réhabilitation de la zone littorale.</li> </ul>

F R A N C E

Pays	Société d'étude	Intitulé de projet Dates des interventions	Maîtrise de l'ouvrage Superficie concernée	Types des interventions
FRANCE	B.D.P.A.	Le problème de l'érosion des terres agricoles dans le Lauragais 1984	Ministère de l'Agriculture ENGREF	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Présenter, sous forme d'un document d'information et de sensibilisation, les éléments d'un "pré-diagnostic", par l'analyse d'un évènement érosif typique au lauragais.</li> </ul>
FRANCE	CEDRAT	Etude hydrologique du bassin versant du Potpon	Direction Départementale de l'Agriculture.	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Etude hydrologique dans les conditions actuelles et compte tenu des opérations de remembrement.</li> <li>. Protection contre les crues.</li> </ul>
FRANCE	CEDRAT	Avant-projet sommaire du canal de Roppe	Syndicat d'Etudes Mixtes pour l'alimentation en eau du Nord de la Franche-Comté	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Canal de 6 km et 7 m<sup>3</sup>/s</li> <li>. Deux prises en rivière avec la protection des ouvrages contre les crues</li> <li>. Ouvrage de restitution à la retenue de Roppe</li> <li>. Ouvrage de franchissement divers.</li> </ul>