



UNIVERSITÉ LOUIS PASTEUR  
STRASBOURG I

UER DE GÉOGRAPHIE

ASPECTS DE LA DYNAMIQUE ACTUELLE DANS LA ZONE  
TROPICALE A SAISON SECHE DE L'AFRIQUE DE L'OUEST

J.-M. AVENARD ET P. MICHEL

MAI 1982

ASPECTS DE LA DYNAMIQUE ACTUELLE DANS LA ZONE TROPICALE  
A SAISON SECHE DE L'AFRIQUE DE L'OUEST

J.-M. AVENARD et P. MICHEL  
Professeurs à l'Université  
Louis Pasteur de Strasbourg

Résumé :

Après un rapide survol des travaux en langue française concernant les problèmes de dynamique actuelle de la zone tropicale sèche, dans les vingt cinq dernières années, les auteurs examinent les conditions morphoclimatiques du milieu. L'irrégularité climatique dans le temps et dans l'espace et les averses violentes du début de la saison des pluies déterminent une agressivité climatique d'autant plus forte que le couvert végétal est moins abondant. Le substratum et les héritages paléoclimatiques s'associent aux conditions précédentes pour orienter les processus vers le ruissellement examiné dans la seconde partie, alors que la dynamique fluviale est vue à travers l'exemple des bassins du Sénégal et de la Gambie, où les subdivisions zonales amènent des nuances importantes. La troisième partie montre, à partir de cas régionaux, comment la dynamique actuelle est largement influencée par l'intervention de l'homme qui entraîne une accélération des phénomènes par dégradation de la végétation. Une abondante bibliographie complète cette brève synthèse.

Les travaux concernant la dynamique actuelle, en Afrique de l'Ouest francophone, ont progressé dans les vingt cinq dernières années, à partir de deux types de recherches :

- Des études, généralement qualitatives, faites par des géomorphologues, à l'occasion de travaux régionaux (57 - P. MICHEL) ou thématiques (8 - J.-M. AVENARD).

- Des études plus directement tournées vers une application agronomique, réalisées par des pédologues dans le cadre de la protection des cultures. En effet, avec la réduction de la durée de la jachère, sous l'effet conjugué des pressions démographique et socio-économique, "sont apparus localement des phénomènes d'érosion accélérée. De plus, sous l'effet de la croissance de la demande des matières premières, on a cru bon d'étendre et de radicaliser les défrichements par de puissants moyens mécaniques. Devant les échecs trop souvent constatés, les agronomes accusèrent la fragilité des sols tropicaux et l'agressivité du climat avant même d'adapter les façons culturales et les techniques antiérosives mises au point en régions tempérées.

Pour faire face à ce problème préoccupant, l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM) et les Instituts Français de Recherches Appliquées, sous l'instigation du Professeur FOURNIER, ont mis en place depuis 1954 tout un réseau de petites parcelles d'études expérimentales pour évaluer l'ampleur des dangers d'érosion, ses causes, les facteurs qui en modifient l'expression et les moyens de lutte antiérosive adaptés aux conditions africaines (75 - E. ROOSE, 1977)". Ces recherches s'appuient sur la quantification de facteurs modifiant l'érosion et le ruissellement (1), dans le cadre général de l'équation de WISCHMEIER.

A cet effet, E. ROOSE (pédologue ORSTOM) a entrepris une étude expérimentale des processus d'érosion et de lixiviation, d'appauvrissement, de lessivage oblique et vertical, dans différents sites écologiques (depuis les sols ferrallitiques très désaturés jusqu'aux sols ferrugineux tropicaux (65 à 72 - E. ROOSE).

---

(1) Sans entrer dans les détails, il semble utile de préciser un point de vocabulaire : les hydrologues et pédologues parlent de ruissellement uniquement pour désigner un terme de bilan hydrique (les eaux qui circulent sur la surface du sol). Pour les géomorphologues le terme de ruissellement comprend en outre les effets du ruissellement en nappe sur la couche superficielle du sol (les pédologues parlent dans ce cas "d'érosion sélective en nappe"). De même, pour les pédologues, le terme "d'érosion" définit la somme des pertes solides (terre fine migrant sur de grandes distances en suspension et terre grossière rampant sur de courtes distances), alors que celui d'"érosion chimique" recouvre les migrations de solubles par les eaux de ruissellement et de drainage. Les géographes parlent plus volontiers "d'ablation", le terme "érosion" étant réservé à l'ensemble "ablation-transport-accumulation".

Bien que les buts ne soient pas entièrement identiques, il est à regretter qu'une collaboration plus poussée ne se soit pas manifestée entre ces deux types d'études, malgré quelques tentatives (11 - J.-M. AVENARD-E. ROOSE, 1972). Les géomorphologues en particulier ont trop longtemps délaissé les résultats que l'on peut tirer de l'observation en cases d'érosion et des calculs de l'agressivité climatique.

Une heureuse exception mérite d'être mentionnée, située au centre de la zone intertropicale à saison sèche (59 - M. MIETTON, 1980) car au-delà des résultats concernant la dynamique actuelle, elle donne une méthode d'étude qu'il serait souhaitable de généraliser ; cette approche du problème comporte trois étapes :

- Définition et calcul dans un premier temps de tous les éléments de l'agressivité climatique, notamment des caractéristiques de chaque pluie (intensité maximale, intensité-durée, indice d'agressivité) à partir de modèles (équation de WISCHMEIER par exemple). Ceci permet de "comparer des agressivités climatiques de région à région ou de pays à pays" (59 - M. MIETTON).

- Mesure de l'impact local "de cette agressivité en la mettant en rapport, pour chaque pluie, avec les résultats ruissellement et érosion enregistrée sur parcelles. La multiplication des cases d'érosion permet à son tour de cerner, de la seule manière qui soit, c'est-à-dire par comparaison de leurs réponses à une même pluie, le rôle de facteurs complexes tels que le couvert végétal, la structure du sol ou la pente".

- Utilisation des résultats obtenus en les replaçant au niveau du versant et de la région, afin d'apprécier à cette nouvelle échelle l'intensité des processus morphogénétiques actuels.

Mais, dans le même temps, les études de dynamique actuelle ont tout à gagner des observations récentes et en cours, faites par des pédologues et hydrologues de l'ORSTOM qui, partant des méthodes mises au point par E. ROOSE, les ont améliorées, notamment dans le domaine de la simulation des pluies : "l'étude classique de l'érosion hydrique en parcelles expérimentales nécessite de nombreuses années de mesures pendant lesquelles le chercheur ne joue qu'un rôle d'observateur : la maîtrise des précipitations lui échappe. La simulation de pluies constitue un réel progrès en assurant le contrôle de nombreux paramètres (durée et hauteur des précipitations...) et un gain de temps considérable" (91 - C. VALENTIN, 1978).

Enfin, dans le cadre de cette même prospective, nous citerons les travaux en cours de réalisation par l'un d'entre nous (J.-M. AVENARD) en Haute-Volta, et qui portent sur deux points :

- Une étude du décapage insidieux et généralisé qui affecte les versants du plateau mossi.

- Une étude de la perception de l'érosion par les communautés villageoises. Il s'agit d'un vaste programme mené en collaboration avec des étudiants avancés faisant des travaux universitaires (Mémoires, Doctorats) sous notre direction. L'étude de la dynamique actuelle doit en effet de plus en plus tenir compte des actions humaines, mais inversement cette dynamique ne doit pas être ignorée par les populations désireuses de préserver le capital que constitue la terre cultivable. Nous rejoignons ici les pédologues et les agronomes. Dans cette perspective, trois volets sont examinés :

- . perception de l'érosion par les villageois et leurs moyens de lutte ;
- . dynamique actuelle que l'on constate effectivement ;
- . concordance (ou non concordance) entre les deux éléments précédents, et les possibilités de lutte avec des moyens réduits adaptés aux ressources et mentalités paysannes.

Ce bref panorama des recherches effectuées sur la dynamique actuelle en région tropicale à saison sèche de l'Afrique de l'Ouest francophone donne un aperçu des domaines d'études : une abondante bibliographie en est résultée, dont la synthèse, même partielle, nous entraînerait trop loin dans le cadre de cette publication ; nous nous permettons donc de renvoyer le lecteur à ces différents travaux que nous avons tenté de sélectionner à son intention. Notre but sera ici plus modeste, à savoir de présenter divers aspects de cette dynamique actuelle à travers quelques-uns de ces processus et à partir d'exemples régionaux où l'intervention de l'homme montre parfaitement l'accélération actuelle des phénomènes de dégradation du milieu, essentiellement à la suite d'une rupture d'équilibre due à l'attaque de la végétation. Mais, dans un premier temps, nous caractériserons rapidement les conditions du milieu morphoclimatique.

## I. LES CONDITIONS DU MILIEU MORPHOCLIMATIQUE

La zone intertropicale à saison sèche de l'Afrique de l'Ouest est un domaine de transition entre l'humide et le sec. En effet, la prédominance peut être donnée aux facteurs climatiques généraux qui déterminent à leur tour l'importance et les modalités de la dynamique actuelle. Le gradient pluviométrique général diminuant du sud vers le nord (de 1300 à moins de 600 mm environ), les actions dues aux phénomènes éoliens prennent le pas, vers le nord, sur celles dues aux phénomènes hydriques, mais cette grossière approximation doit être largement nuancée, par suite des caractères propres de cette zone : irrégularité de la pluviosité avec, pour corollaire, des intensités exceptionnelles qui entraînent

des processus peu fréquents mais très actifs, importance des héritages morphoclimatiques qui déterminent un modelé sur lequel s'exerce en continu ou en opposition la dynamique actuelle. D'autres facteurs interviennent enfin tels que la nature du substratum et des formations superficielles ou le pouvoir couvrant de la végétation de savane.

Ce caractère de transition se retrouve dans les rapports morphogénèse-pédogénèse, avec un double découpage : en période humide, les conditions se rapprochent de celles de la zone équatoriale et l'altération domine, en période sèche les conditions ressemblent plus à celles de la zone subaride à aride. On entrevoit déjà ici qu'une véritable crise morphogénique puisse intervenir au moment du passage de l'une à l'autre, au début des pluies : "le sol desséché, protégé au minimum, est particulièrement apte au ruissellement", d'autant plus que la végétation desséchée elle aussi "voit son rôle d'écran réduit au minimum" (88 - J. TRICART-A. CAILLEUX, 1965). Mais, dans le même temps, le modelé introduit lui aussi une différence : les bas-fonds, plus humides, permettent une humectation des sols propices aux altérations donnant des conditions voisines de celles des régions chaudes et humides, les interfluves, plus secs, se rapprochent de celles des régions sèches.

## 1. Le climat

### a) Données générales

Le régime pluviométrique dépend avant tout "de l'existence de deux masses d'air principales, l'air tropical continental et l'air tropical maritime, qui s'affrontent le long du front intertropical (F.I.T.) dont le balancement annuel entraîne l'apparition de deux saisons contrastées : la saison sèche et la saison des pluies (hivernage)" (59 - M. MIETTON, 1980).

Le relief, peu différencié en dehors de quelques zones localisées, n'apporte pas de modifications majeures au régime général, les pluies étant ainsi dues aux perturbations d'origine "cinématique ou frontale : ces perturbations sont génératrices de systèmes orageux ou "lignes de grains" associés généralement à des "ondes de l'Est" et se déplaçant donc à contrecourant du flux de surface normal" (M. MIETTON). Particulièrement violentes en début d'hivernage, ces averses orageuses s'abattent sur un sol nu ou faiblement protégé par la végétation, et c'est peut-être là le phénomène principal de la morphogénèse actuelle due à l'action de l'eau.

Ce mécanisme général n'exclut cependant pas certaines variétés régionales. Du sud vers le nord, la durée de la saison humide et le total pluviométrique vont en décroissant, alors que les amplitudes annuelles augmentent. Les zones principales

ainsi reconnues, délimitées par des isohyètes, sont :

- . la zone soudano-guinéenne (1250 mm et plus). Le régime tropical s'affirme (la saison sèche dure environ 6 mois) ;
- . la zone soudanienne (ou sud-soudanienne) (900-1250 mm) ;
- . la zone nord-soudanienne (ou soudano-sahélienne) (600-900 mm). La saison pluvieuse ne dure que 3 à 4 mois.
- . la zone sahélienne : secteur sud-sahélien (400-600 mm) et secteur nord-sahélien (200-400 mm). La saison des pluies n'est plus que de 2 à 3 mois.

#### b) L'irrégularité des pluies

Les zones définies ci-dessus ne sont que des moyennes, car la caractéristique principale de ce domaine est la variabilité des précipitations dans le temps et dans l'espace :

- Irrégularité interannuelle : "Pour une station donnée, la courbe des moyennes annuelles est en dents de scie, amples ou étroites, mais souvent regroupées en séries. Les premières correspondent à des années de forte pluviométrie, tandis que les autres illustrent les années de sécheresse" (G. PALLIER : Géographie générale de la Haute-Volta, 1978, Université de Limoges). La figure 1, relative à Ouahigouya, illustre bien ce propos.

- Variabilité mensuelle : cette variabilité n'est pas moindre. Les relevés de Pô (Fig. 2) ne sont qu'un exemple parmi d'autres.

- Variabilité de la saison des pluies et des périodes de sécheresse : les caractéristiques précédentes déterminent largement la durée et surtout le début de la saison des pluies. Or cette donnée est primordiale pour l'agriculture car elle détermine la réussite des semis : "ainsi les pluies de mai, en valeur moyenne, sont assez abondantes (97 mm) à Bobo-Dioulasso. Mais 1 an sur 10, elles ne sont que de 36 mm, et 1 an sur 4 que de 64 mm, ce qui ne permettra pas sans doute de réussir le semis. La répartition à l'intérieur du mois est également importante : il est utile de savoir si on a une chance raisonnable d'avoir des pluies suffisantes au moins 3 ans sur 4 la troisième décennie de juin si on a semé la première décennie..." (C. BALDY, Introduction à l'agrométéorologie, 1977, Projet PNUD/OMM, Cours).

Mais cette variabilité a aussi une conséquence sur l'humidité préalable du sol, et donc sur l'importance du ruissellement. On sait en effet que "la vitesse d'infiltration sur un sol primitivement sec diminue au cours du temps avec l'éloignement du front d'humectation et la formation d'une pellicule de battance" (75 - E. ROOSE, 1977).

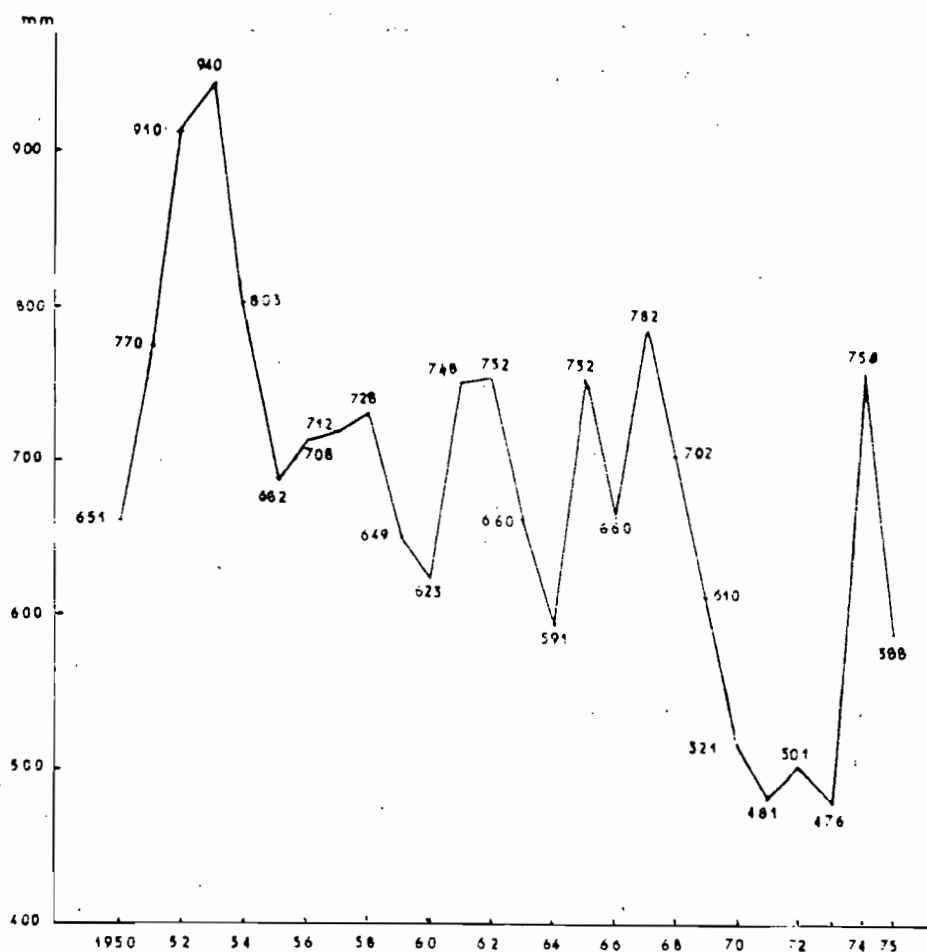


Figure 1: Irrégularité interannuelle des précipitations à Ouahigouya (d'après G.PALLIER, Géographie Générale de la Haute-Volta)

| hauteur (H) | Précipitations annuelles |       | Précipitations mensuelles |       |      |      |      |     |      |      | nombre annuel de jours de pluie |      |      |
|-------------|--------------------------|-------|---------------------------|-------|------|------|------|-----|------|------|---------------------------------|------|------|
|             | Maxi                     |       | Mini                      |       | Mai  |      | Août |     | Maxi | Mini | Maxi                            | Mini |      |
|             | An.                      | H     | An.                       | H     | An.  | H    | An.  | H   |      |      |                                 |      | An.  |
| 1429        | 1950                     | 503,3 | 1977                      | 209,4 | 1958 | 25,5 | 1965 | 568 | 1950 | 86,8 | 1976                            | 1967 | 1959 |

Figure 2 : Précipitations annuelles et mensuelles, minimales et maximales à Pô (Haute-Volta), d'après M.MIETTON.



- Variabilité dans l'espace : la même irrégularité caractérise la quantité de pluie tombant en deux endroits peu éloignés l'un de l'autre, par suite du caractère orageux de ces pluies, provenant de "tornades" qui crèvent ponctuellement.

Le caractère de ces pluies a évidemment une répercussion importante sur la morphogénèse, puisqu'il détermine une agressivité climatique particulière.

### c) Agressivité climatique

Plusieurs auteurs ont tenté de définir un indice de l'agressivité climatique et ont établi des corrélations entre les transports solides et les précipitations, ou de bonnes régressions linéaires entre l'énergie cinétique des pluies et leur hauteur (40, 41 - F. FOURNIER, 1960, 1962 ; 27 - C. CHARREAU, 1969 ; 32 - C.T.F.T., 1973...).

Il semble que, dans l'état actuel, ce soit les recherches menées par E. ROOSE qui donnent la meilleure approche du problème, à partir de l'équation de WISCHMEIER et SMITH (1). "En transformant jour après jour les hauteurs des précipitations journalières des postes étudiés d'après cette régression, on a constaté que l'écart moyen sur 5 ans par rapport à l'indice moyen ne dépassait pas 5 %. On peut donc transformer les longues séries d'observations de pluies journalières (20 à 50 ans) pour trouver des moyennes mensuelles et annuelles satisfaisantes des indices d'agressivité climatique et tenter de cartographier leur répartition (73 - E. ROOSE, ARRIVETS, POULAIN, 1974). Ce faisant on a constaté qu'il existait une relation simple entre l'indice annuel moyen ( $R_{am}$ ) sur une période suffisamment longue (5 à 10 ans) et la hauteur de pluie annuelle moyenne ( $H_{am}$ ) durant la même période :

$$R_{am}/H_{am} = 0,50 \pm 0,05 \text{ " (75 - E. ROOSE, 1977).}$$

Cette relation a permis de dresser une première esquisse de la répartition de cet indice (Fig. 3) où l'on constate que l'agressivité climatique "décroit presque parallèlement aux isohyètes. Ceci s'explique par le parallélisme existant entre les courbes "intensité x durée", la hauteur des pluies décennales et les précipitations annuelles moyennes dans cette région (BRUNET-MORET, 1963)".

## 2. Le substratum

Si les mécanismes s'exercent de manière différente en fonction des types de roches, ce qui provoque en définitive les phénomènes d'érosion différentielle, plusieurs facteurs tendent à uniformiser les actions de la dynamique actuelle :

---

(1) WISCHMEIER et SMITH, 1960 : A universal soil-loss estimating to guide conservation farm planning. 7th Intern. Cong. Soil Science, vol. 1, pp. 322-326.

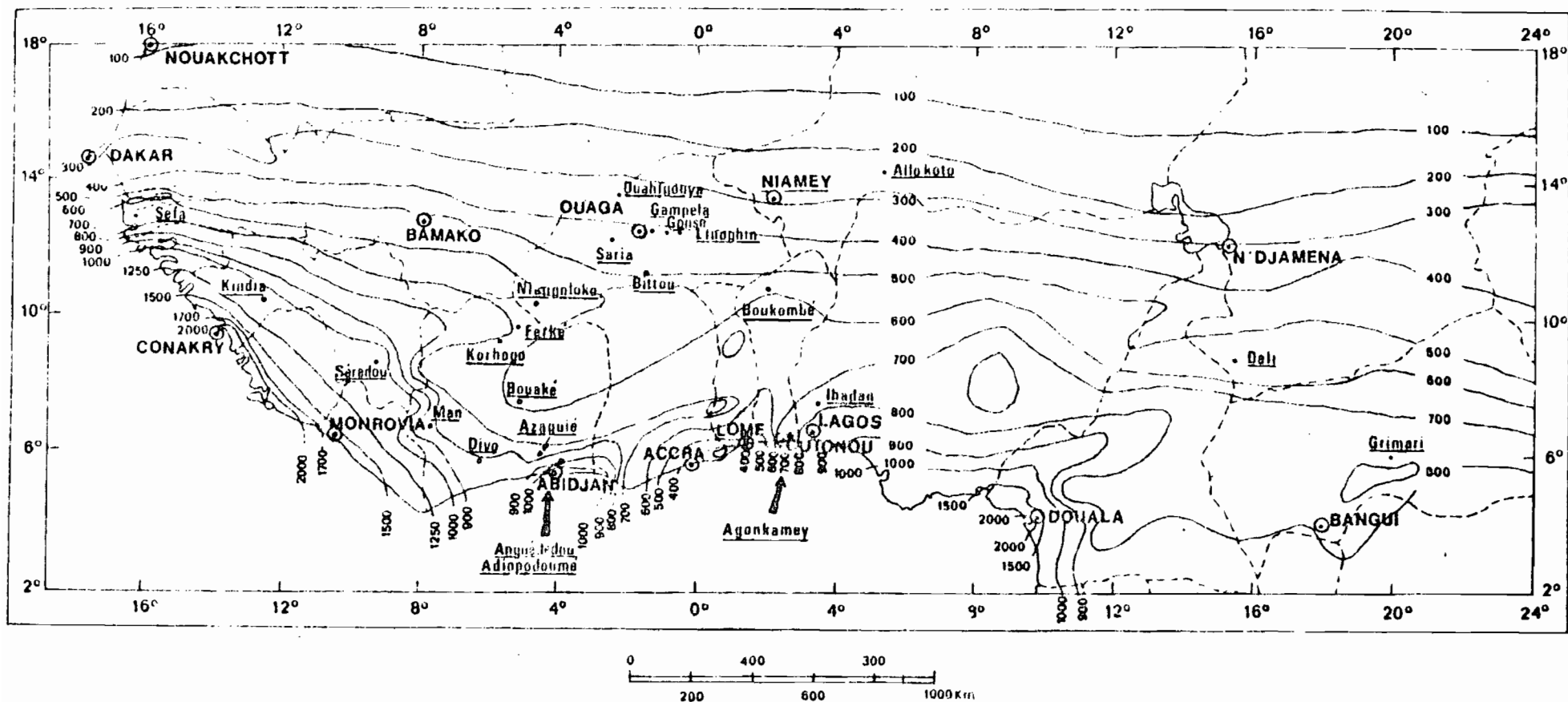


Figure 3 : Esquisse de la répartition de l'indice d'agressivité climatique annuel moyen (Rusa de WISCHMEIER) en Afrique de l'Ouest et du Centre, établie par E. ROOSE, d'après les données pluviométriques rassemblées par le service hydrologique de l'ORSTOM et arrêtées en 1975.

L'altération donne une forte proportion d'argile. Essentiellement kaoliniques, ces argiles ont des propriétés mécaniques médiocres. Les quelques essais de mécanique des sols que nous avons effectués donnent des limites de liquidité supérieures à 30 % et pouvant atteindre plus de 50 % d'humidité, des limites de plasticité comprises entre 20 et 35 %, des limites de retrait de l'ordre de 15 à 20 %, avec des valeurs parfois plus élevées (par exemple nous avons trouvé 27,1 % dans une altérite de roches vertes). Ces propriétés entraînent plusieurs conséquences qui ont à leur tour des répercussions sur les modalités de la dynamique actuelle :

- Les fentes de retrait sont pratiquement inexistantes, même lorsque la sécheresse est très forte, ce qui limite l'infiltration rapide lors des premières pluies.

- La limite de plasticité élevée restreint le rôle des glissements.

- La limite de liquidité très forte empêche pratiquement tous les phénomènes de loupes de solifluxion, coups de cuiller ou coulées boueuses (7 - AVENARD, 1962).

Les types de roches sont relativement peu variés : granites et schistes se partagent la quasi totalité du territoire, tandis que les roches vertes dominent nettement le paysage par des buttes dont le commandement est souvent de 300 à 400 mètres.

En fait, le comportement de ces roches passe généralement par des conditions indirectes : importance du cuirassement, pentes héritées...; selon les cas le ruissellement ou l'infiltration dominant.

### 3. Les héritages morphoclimatiques

La dynamique actuelle se superpose à des formes déjà existantes, et se trouve soit en continuation soit en opposition avec ces dernières. Les formes "héritées" jouent un rôle souvent prépondérant dans l'action des processus actuels, ne serait-ce que par l'intermédiaire des systèmes de pentes qu'elles ont engendrés. Cette influence des pentes (inclinaison, longueur, forme) a été longuement étudiée par E. ROOSE (75 - 1977). Cet auteur a observé par exemple à Séfa (Sénégal) que l'ablation et le ruissellement hydrologique croissent de façon très rapide pour de faibles variations des pentes (0,5 %).

Les processus s'exercent ainsi dans le cadre d'une reprise d'érosion :

- A partir d'anciennes surfaces cuirassées, dont les reliques arment encore le paysage. Sous le climat actuel et les processus morphogéniques qui lui sont liés, ces buttes plus ou moins réduites et démantelées alimentent en dépôts des pentes longues et faiblement inclinées qui s'élaborent en contrebas en formant des glacis.

- A partir de dômes granitiques ou d'inselbergs.

#### 4. Le couvert végétal

Si la couverture végétale de la zone intertropicale à saison sèche est caractérisée globalement par la savane, cette dénomination très générale recouvre dans la réalité des formations qui ont un rôle très variable en fonction de leur taux de couverture du sol. Dans l'ensemble, la relative faiblesse de l'écran végétal entraîne deux conséquences :

- La première est la protection médiocre du sol contre les variations de température et le ruissellement. Mais cette protection varie très fortement en fonction de la physionomie de la savane, les savanes boisées ayant un rôle plus important que les savanes nues.

- La seconde est la protection inégale et irrégulière offerte par ces savanes : d'une part l'aspect en touffes des graminées laisse une partie du sol à nu, où le ruissellement peut se développer sans entraves ; le phénomène tend d'ailleurs à s'accroître de lui-même par l'érosion différentielle qu'il provoque. D'autre part les variations saisonnières du métabolisme ont une importance considérable, puisque les couvertures végétales jouent un rôle très différent selon les saisons. La densité de la couverture végétale de l'hivernage étale les précipitations et protège le sol, tandis que la végétation clairsemée de la saison sèche n'a plus qu'un rôle protecteur réduit, que les feux de brousse diminuent encore. Il est à noter que les premières averses de la saison des pluies suivante arrivent sur un sol peu protégé : "une véritable crise morphogénique saisonnière correspond à cette période ; le sol desséché, protégé au minimum, est particulièrement apte au ruissellement" (88 - J. TRICART, A. CAILLEUX, 1965).

On n'a peut-être pas suffisamment insisté sur l'importance des feux de brousse, leur présence ou leur absence déterminant une ablation fort variable. Ainsi nous avons pu montrer (11 - J.-M. AVENARD-E. ROOSE, 1972), à partir de mesures faites sur trois stations, que :

- En zone guinéenne (Bouaké, Côte d'Ivoire) les pertes en terre ont été très réduites et sont passées de 182,4 kg/ha/an en 1967 à près de 50 kg/ha/an en 1968-69, et à moins de 2 kg/ha/an en 1970-71, après que la parcelle ait été soustraite à l'action des feux.

- En zone sud-soudanienne (Korhogo, Côte d'Ivoire) l'ablation a été de 100 à 200 kg/ha/an selon l'importance du passage des feux.

- En zone soudanienne (Gonsé, Haute-Volta) cette ablation passe de 50 kg/ha/an lorsque la savane n'est pas brûlée à 150-200 kg/ha/an lorsque les feux précoces sont allumés.

La protection contre les feux et la reconstitution d'un couvert végétal de plus en plus dense qui en résulte montrent que ce couvert a absorbé de mieux en mieux l'énergie cinétique des gouttes de pluie et a diminué l'intensité et la compétence du ruissellement. La très bonne description qualitative qu'en a faite Y. MONNIER dans son ouvrage sur les "effets des feux de brousse" (60 - 1968) se trouve ainsi confirmée par des mesures précises : "Alors que le sol est nu, l'érosion est préparée par une dégradation mécanique, due soit aux mouvements qu'entraîne le rejet des plantes, soit au choc des gouttes de pluie en cas d'averse. Plus tard, cette action de désagrégation sera suivie d'une prise en charge des particules par les filets d'eau qui vont s'organiser selon la pente du terrain en serpentant entre les plages d'implantation des végétaux à touffes. On comprend aisément qu'une pluie sur sol dénudé soit ainsi particulièrement agressive puisque l'arrachage des éléments particuliers sous l'impact des gouttes de pluie se trouve immédiatement suivi d'une mobilisation par les filets de ruissellement".

## II. LES PROCESSUS ET LEURS EFFETS

Nous séparerons pour la commodité de l'exposé les processus qui affectent les versants et interfluves de ceux qui caractérisent les fonds de vallées, et plus particulièrement la dynamique fluviale d'une grande artère.

### 1. Les interfluves

Les conditions générales que nous venons de définir déterminent les modalités de la dynamique actuelle : l'eau, provenant des précipitations, et le vent, facteur devenant de plus en plus important vers le nord, servent d'énergie pour la mise en mouvement du matériel.

#### a) L'arrivée de la pluie sur le sol

Variable suivant le rôle d'écran joué par la couverture végétale et la résistance du sol, l'impact des gouttes de pluie constitue la première étape d'une mobilisation des formations superficielles. Les pluies orageuses intervenant en fin de saison sèche sont particulièrement incisives, alors que le sol est peu protégé : l'énergie des gouttes déclenche des processus de destruction des agrégats du sol, des petits cratères se forment avec rejaillissement de fines gouttelettes chargées de suspension. Ainsi que le note M. MIETTON (59 - 1980), "la meilleure façon d'apprécier la puissance de l'érosion pluviale est d'observer le phénomène sous des intensités maximales. On a alors l'impression de voir les mottes se tordre sous le choc ; elles sont véritablement cisailées et le matériel est préparé, qui sera emporté dès qu'une lame d'eau se mettra à ruisseler". Il est cependant très

difficile de séparer cet "effet splash" des premières manifestations du ruissellement, dès qu'une pente, si minime soit-elle, intervient. Une pellicule d'eau généralement discontinue se forme en effet, qui déplace les particules de projection, et les dépose quelques centimètres plus loin. Il y a ainsi formation d'un glaçage en taches qui forme, lors de l'assèchement, une pellicule de battance, dont la composition est identique au matériel sous-jacent (Fig. 4). L'humidité préalable et le couple intensité-durée de la pluie semblent des éléments importants, jouant de façon inverse dans ce processus.

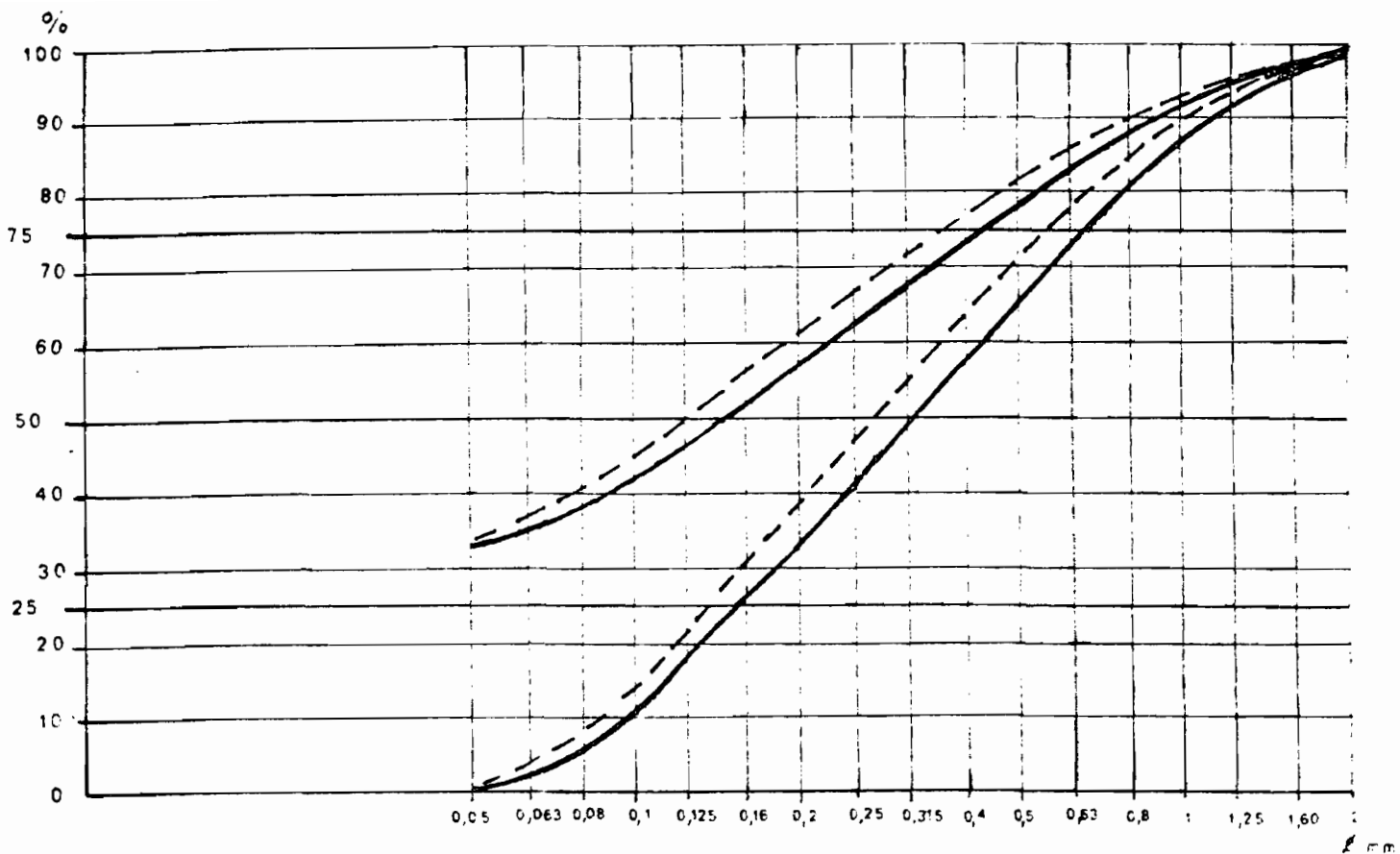
#### b) Vers une typologie du ruissellement

Les travaux que nous menons actuellement sont susceptibles de modifier la terminologie que nous adoptons ici, le rôle de la pellicule de "glaçage" (ou croûte de battance) n'étant pas encore parfaitement défini (cause ou conséquence du ruissellement ?), ni celui du ruissellement en "nappe".

Nos propositions se baseront donc essentiellement sur les descriptions qui ont déjà été faites par différents auteurs, que nous compléterons par certaines observations encore fragmentaires : une étude statistique, à partir de fiches à préperforations marginales permettant de recenser tous les caractères du milieu et d'analyses granulométriques, est en cours.

- Ruissellement aérolaire : "Quelles que soient ses modalités d'occurrence le ruissellement proprement dit est toujours précédé par la formation de plages d'engorgement et non d'une lame d'eau qui ne pourrait apparaître que sur une surface régulière et homogène. Ce premier stade est d'une durée variable : l'état de surface du sol, l'humidité préalable et les caractéristiques de la pluie se combinent pour déterminer le délai d'apparition du ruissellement" (59 - M. MIETTON, 1980). Ce ruissellement est caractérisé par un lavage du matériel fin qui aboutit à la formation de plages discontinues de quelques décimètres carrés, "les unes avec pavage de sables grossiers en surface, les autres avec une accumulation pelliculaire de feuilles et de brindilles" (89 - C.G.A., 1977). Nous sommes donc en présence d'une ablation sélective, certes peu importante mais qui, par ses actions répétées, pourrait être un élément d'explication de la présence d'une croûte de battance.

- Ruissellement pelliculaire (ou embryonnaire) : "Il se manifeste par un écoulement en petits filets d'eau sur les versants dont la pente se situe autour de 2 à 3°. Ces filets sont discontinus et s'écoulent sur de courtes distances..., ils transportent donc du matériel fin même sur les pentes faibles" (89 - C.G.A., 1977). L'amorce de triage (Fig. 5) est très caractéristique à cet égard. De la même façon, l'exhaussement des touffes, lorsqu'il existe une couverture herbeuse, ou des petites marches d'escalier sur les plages nues, attestent d'un façonnement de l'ensemble du versant.





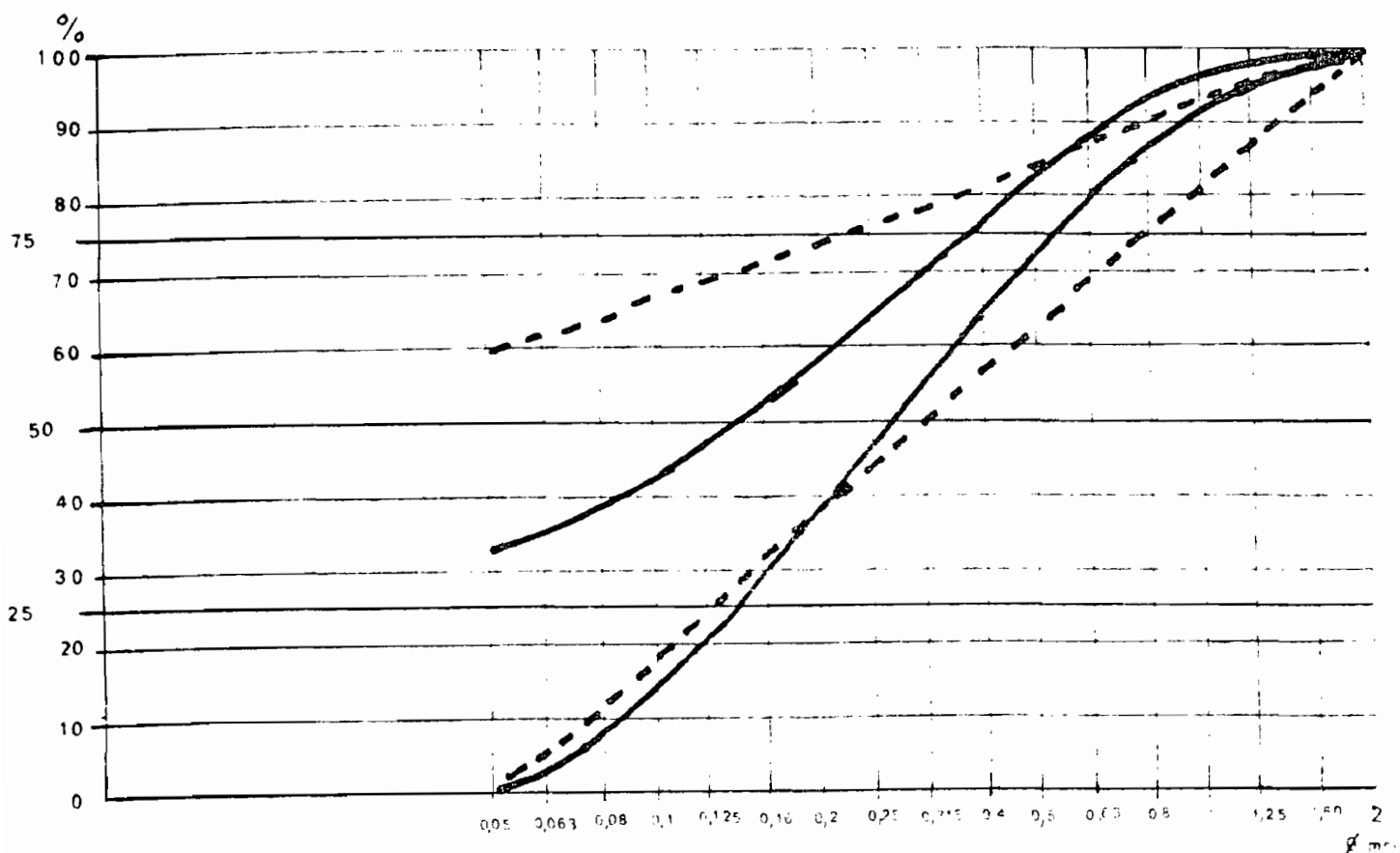
Profondeurs     0 - 2 cm       20 - 30 cm

Figure 4 : Courbes granulométriques moyennes d'échantillons de versants, avec pellicule de glaçage. Composition de la pellicule sensiblement identique au matériel sous-jacent.





Profondeurs:     0-2 cm -       10-30 cm

Figure 5 : Courbes granulométriques moyennes d'échantillons de versants. La diminution de la fraction inférieure à 2 microns et l'amorce de triage indiquent un ruissellement pelliculaire marqué.

- Ruissellement diffus : ce type de ruissellement correspond à une accentuation des caractères précédents : les ruisselets se généralisent, deviennent plus larges et peuvent transporter du matériel sableux sur d'assez longues distances, par étapes successives. Ce processus est suffisamment important pour déchausser les touffes de graminées, et dégager de larges plaques de sols nus où la végétation aura certaine difficulté à se réinstaller. La croûte importante qui se forme à la fin des averses s'imperméabilise et est attaquée lors des averses suivantes, en formant des micro-marches d'escalier (Fig. 6)

- Ruissellement concentré : des petites rigoles, individualisées, s'amorcent ; bien qu'il s'agisse d'un processus localisé, elles ne sont que difficilement effacées par les cultures et tendent soit à se perpétuer d'une année sur l'autre, soit à se déplacer. Les sillons ainsi creusés sont plus ou moins hiérarchisés et se terminent généralement par des petits épandages en bas de pente. Dans certains cas, ces ravineaux "peuvent aussi fonctionner selon la pente par un système de relais. Les ravineaux incisent la pente la plus forte (3 à 4°), puis s'étalent en épandage quand la pente s'adoucit. L'eau perd de sa compétence, s'étale en chenaux anastomosés sur ces épandages, puis se concentre à nouveau quand la pente est à nouveau suffisante" (89 - C.G.A., 1977).

#### c) Une résultante : le décapage généralisé

Ces divers types de ruissellement se trouvent généralement associés, soit dans le temps, soit dans l'espace : la résultante est une ablation plus ou moins insidieuse de l'ensemble du versant, posant des problèmes graves pour la mise en culture, et pas toujours perçus par les populations (Fig. 7).

#### d) La concentration des eaux : les entailles linéaires

Les entailles linéaires, que l'on rencontre en de nombreux endroits et qui sont une réalité de la dynamique actuelle, apparaissent cependant la plupart du temps dans des conditions que rien ne laisserait prévoir (ni changement de niveau de base, ni agressivité climatique exceptionnelle...). Sauf rares cas particuliers, il semble ici que ce soit la dégradation de la végétation par des actions anthropiques qui pourrait être le facteur déterminant : la rupture d'équilibre qui en résulte déclencherait une crise morphogénique remettant à son tour en question un équilibre régional (Fig. 8).

#### e) L'action du vent

L'importance de l'action du vent est difficilement mesurable quoique diverses manifestations permettent de ne pas la négliger. La déflation emporte en effet des particules fines et laisse sur place des sables et gravillons ferrugineux



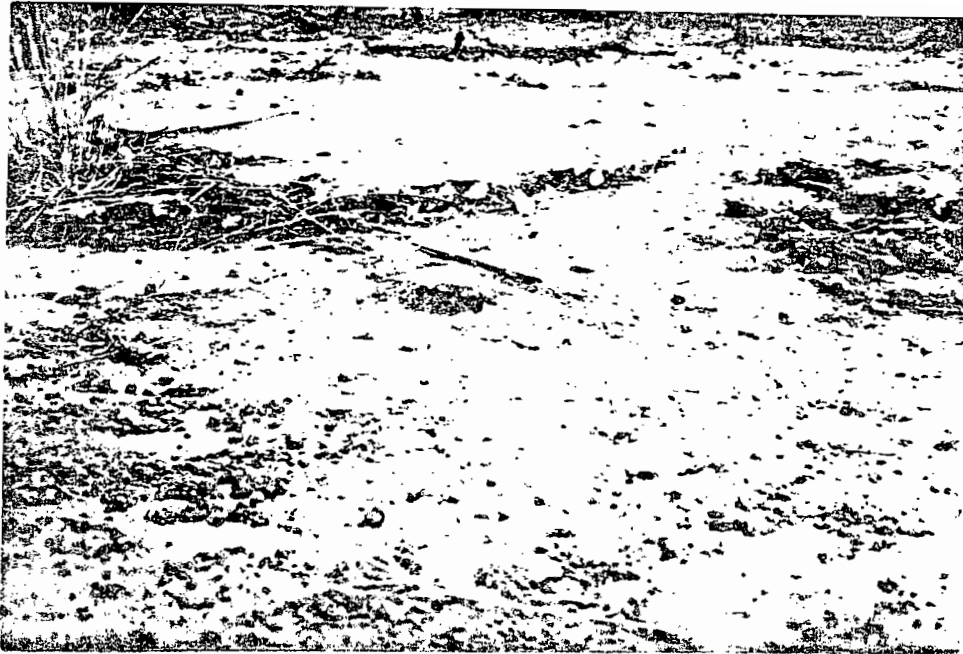


Figure 6 : Formation de micro-marches d'escalier dans la pellicule de glaçage.

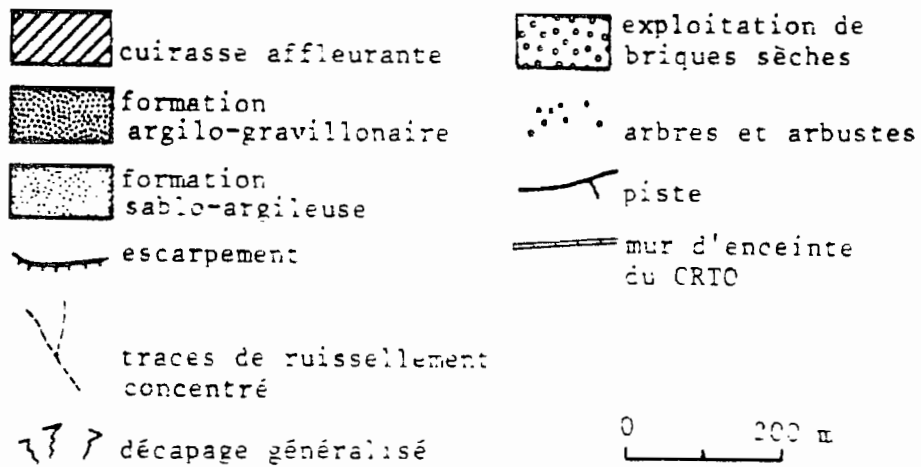
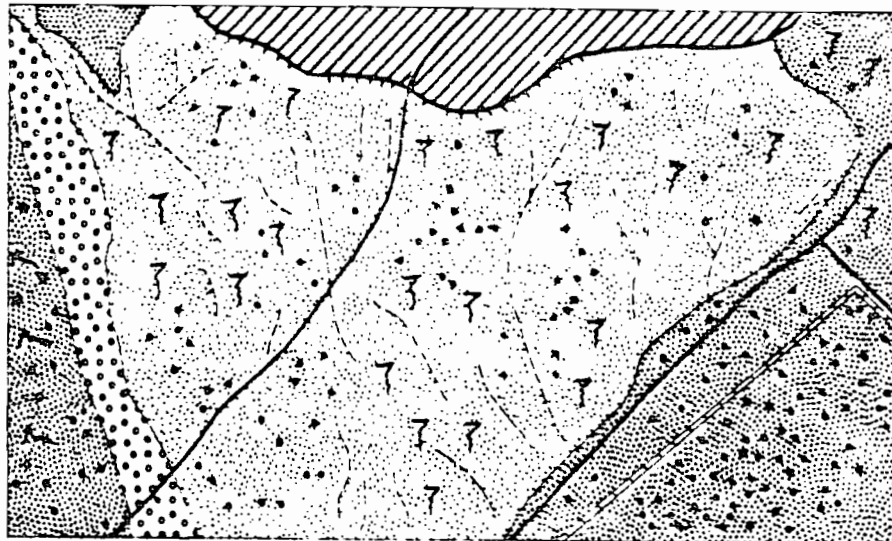


Figure 7 : Décapage généralisé dans la région de Cuagadougou, par association de plusieurs types de ruissellement.



a



b

Figure 8: Entailles linéaires (région de P6), avec recul des berges pouvant atteindre plusieurs mètres en une seule saison des pluies.

constituant des pavages en surface. Ces derniers jouent à leur tour un rôle déterminant dans les processus de ruissellement. Agissant essentiellement en saison sèche, cette action de déflation a ainsi pour effet de préparer le matériel. Les formes d'accumulation (de types nebkas) se rencontrent plus généralement dans la zone sahélienne, ce qui n'exclut pas, plus au sud, certaines actions localisées avec accumulation derrière les touffes de végétation naturelles ou les plants de culture. Là encore la dégradation du couvert végétal augmente les effets de l'activité éolienne.

## 2. La dynamique fluviale

L'action des cours d'eau en Afrique de l'Ouest, comme dans l'ensemble du domaine tropical, dépend aussi des milieux bioclimatiques, définis précédemment. L'un d'entre nous (P. MICHEL) a eu l'occasion d'étudier cette dynamique fluviale dans les bassins du Sénégal et de la Gambie (Fig. 9) lors de recherches géomorphologiques appliquées pour l'étude des alluvions en prospection minière et l'aménagement rural de la vallée alluviale du Sénégal (50, 52, 53, 55, 57 - P. MICHEL, 1959, 1962, 1966, 1968, 1973).

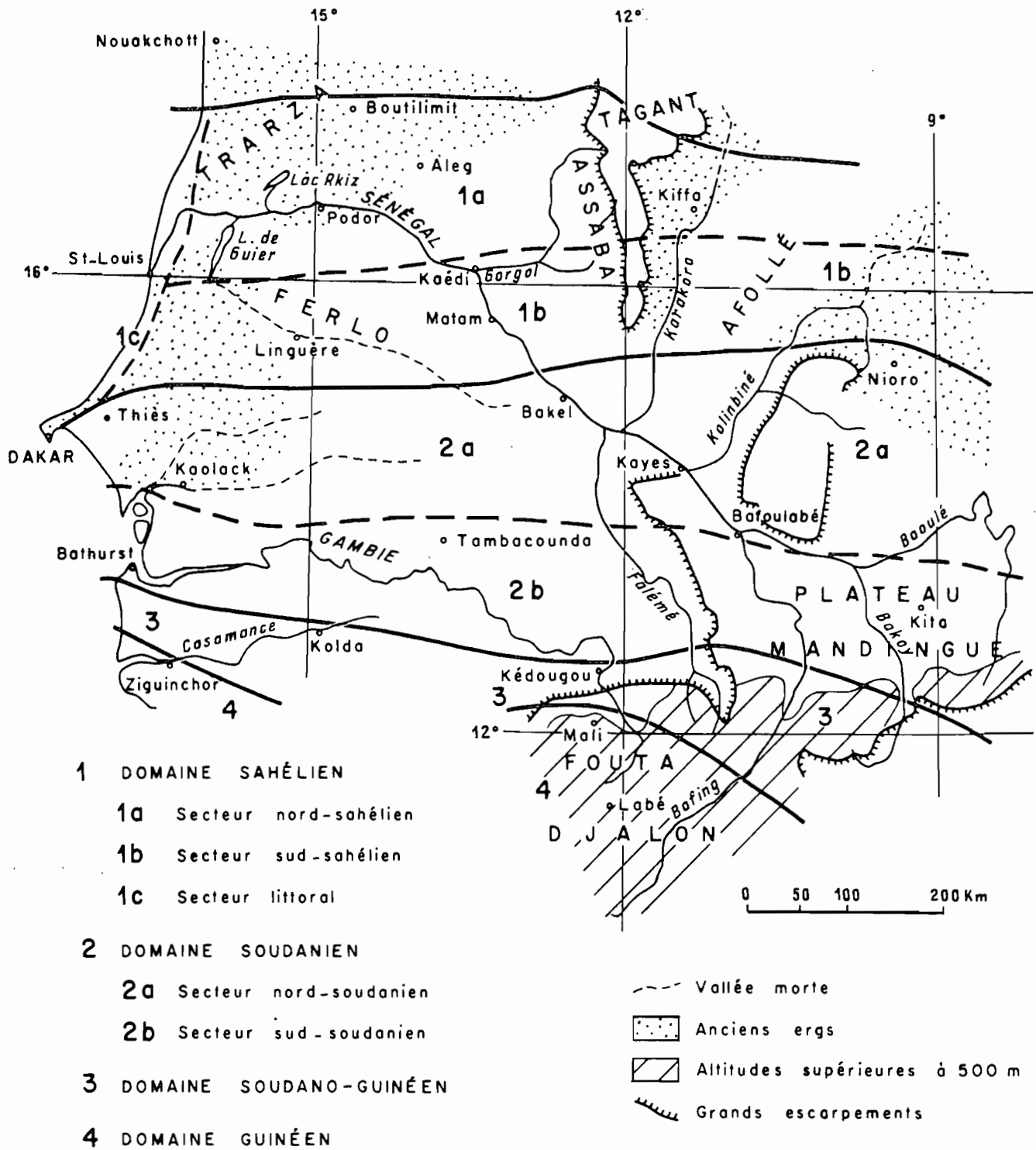
### a) La zone soudano-guinéenne

Dans cette zone où l'altération biochimique est très importante, les transports sur les interfluves s'effectuent surtout en solution dans l'eau. L'érosion ne fournit que très peu de débris grossiers et ils n'atteignent généralement pas les rivières.

Les cours d'eau descendent des massifs montagneux en franchissant les gradins successifs de roches dures par des séries de chutes et de rapides. L'allure de leurs profils en long est donc extrêmement irrégulière. Sur les bancs durs de grès quartzite ou de dolérite, le lit des grandes rivières se subdivise souvent en de nombreux bras enserrant des îles et des pointements rocheux. Dans certains secteurs les cours d'eau suivent les réseaux de diaclases qui traversent notamment les niveaux de grès quartzite : ils se rétrécissent et changent souvent de direction, traçant des coudes brusques. Ainsi leurs profils en travers sont aussi très variables d'un endroit à l'autre (57 - P. MICHEL, 1973, t. 2, p. 648-649, fig. 164).

Les rivières sont généralement bordées par la forêt-galerie, composée d'espèces hygrophiles verdoyantes. Ces arbres protègent les berges : leurs branches descendent jusqu'au niveau de l'étiage et freinent considérablement le fort courant de la crue. Le profil convexe des berges démontre l'absence d'érosion. La forêt-galerie s'installe aussi sur les îles et même sur certains seuils si le courant n'est pas trop rapide.

Figure 9 : DOMAINES MORPHOCLIMATIQUES



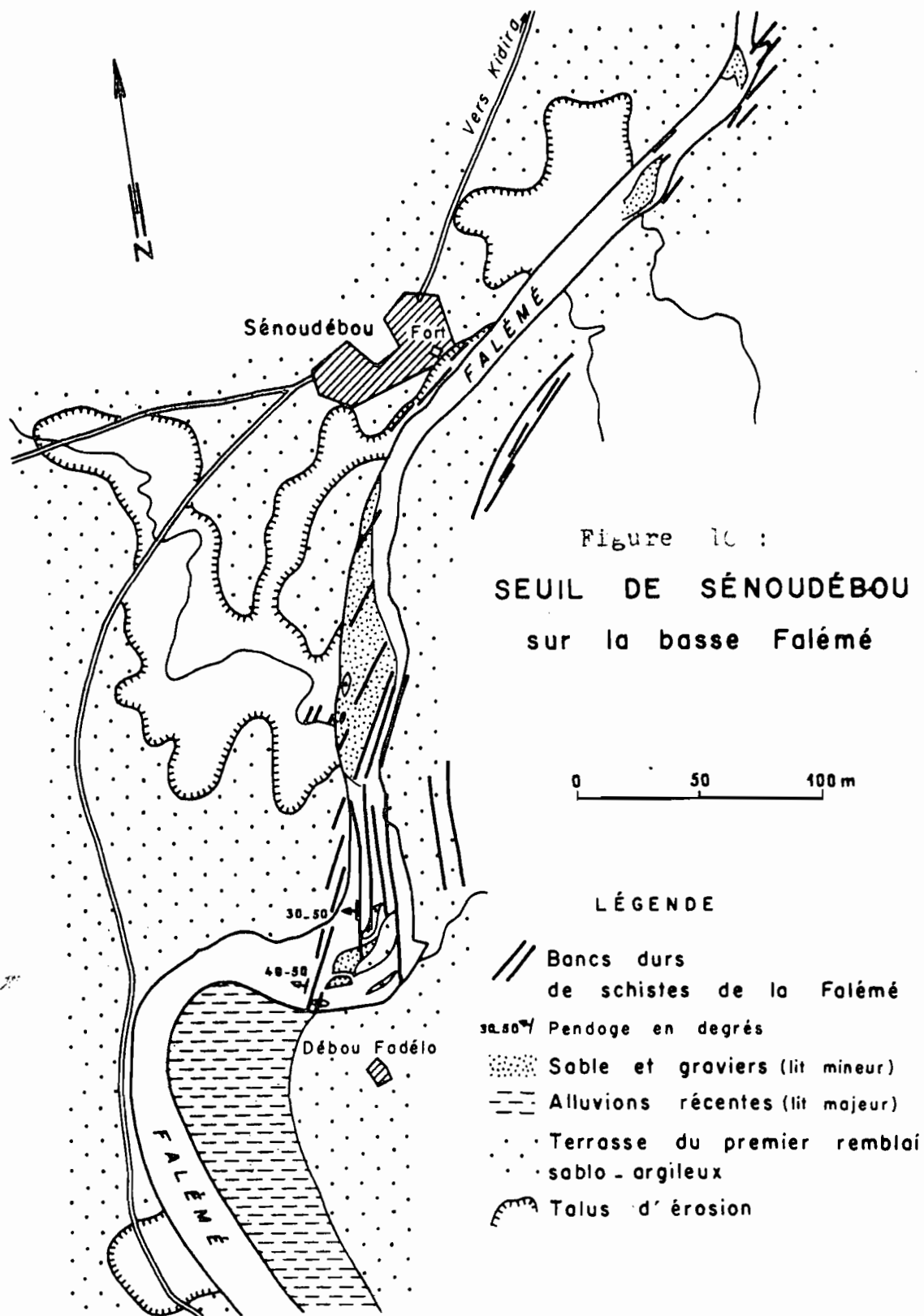
Ainsi la charge des cours d'eau en matériel détritique est très réduite ou nulle. Ils ne reçoivent pas d'apports grossiers des interfluves. L'érosion des berges est très ponctuelle, en aval de certains rapides ou chutes, et ne fournit que des éléments fins. C'est pourquoi le creusement des seuils est pratiquement nul. Les rivières ne possèdent pas d'abrasif. En outre, les seuils sont protégés par la patine ferromanganésique, noire, qui recouvre toutes les roches, même les quartzites. Cependant quelques seuils sont troués d'une multitude de petites marmites ; mais elles sont anciennes puisque certaines contiennent des galets cimentés en poudingue par les oxydes de fer (52 - P. MICHEL, 1962). Ces marmites semblent avoir été creusées au cours de phases plus sèches lorsque les cours d'eau charriaient des galets.

Actuellement on n'observe nulle part de dépôts de galets ; les bancs de sables et graviers sont très rares et se localisent immédiatement à l'aval d'un seuil. Malgré l'importance des débits en période de hautes eaux, il ne se produit aucun transit de sables ; seuls les éléments fins sont transportés au loin en suspension. Ainsi chaque seuil évolue d'une façon indépendante. C'est pourquoi les profils en long des cours d'eau restent très irréguliers.

#### b) La zone soudanienne

La fragmentation mécanique des roches et les transports par ruissellement sur les interfluves sont plus actifs dans cette zone. Les rivières coulent souvent dans des alluvions sablo-argileuses. Le long des cours d'eau, la forêt-galerie devient discontinue dans le secteur sud-soudanien et disparaît complètement dans le secteur nord-soudanien. D'ailleurs la végétation est aussi défrichée pour faire place à des cultures sous pluie ou de décrue. C'est pourquoi les cours d'eau peuvent éroder leurs rives par sapement latéral en période de hautes eaux. Ils attaquent à la fois le matériel fin des terrasses récentes et le niveau grossier sous-jacent (graviers sous berge), parfois cimenté par les oxydes de fer. La berge prend alors un profil nettement concave.

Les rivières en crue possèdent donc une charge solide importante. Ce matériel est transporté plus ou moins loin selon la taille des éléments. D'après les observations faites sur la Falémé, principal affluent du Sénégal (Fig. 9), sur la moyenne Gambie et sur certains de leurs affluents, les galets ne sont déplacés que sur une très courte distance. Les bancs de galets se trouvent, en effet, juste à l'aval des affleurements de graviers sous berge ou des lambeaux de poudingue de terrasses plus anciennes. L'identité des spectres pétrographiques et des cortèges de minéraux lourds entre le banc de galets et la terrasse érodée confirme qu'il s'agit d'un remaniement à très petite distance (50 - P. MICHEL, 1959). Par contre,



du sable grossier est transporté sur une assez longue distance par forte crue. Ainsi le lit de la basse Falémé est encombré par des bancs de sable et de gravier qui permettent de la traverser à gué pendant l'étiage ; le seuil de Sénoudébou arrête une grande quantité de ce matériel (Fig. 10). Lors de la forte crue de 1958, le Sénégal a sédimenté en plusieurs endroits entre Bafoulabé et Kayes (Fig. 9) une importante quantité de sable grossier bien trié qui renferme souvent de nombreux lits de minéraux lourds, surtout d'ilménite.

Ainsi dans la zone soudanienne, à la différence des régions plus humides, les cours d'eau disposent d'un certain abrasif pour attaquer les seuils rocheux qu'ils franchissent par des chutes ou des rapides. Le Bakoy et le Sénégal continuent à approfondir et à élargir les marmites de géant des seuils de Billy et du Félou (86 - J. TRICART, 1956). Les chenaux s'élargissent par recoupement des parois de marmites ; ils canalisent tout l'écoulement en période de basses eaux. La surface des rochers et les parois des marmites sont toujours couvertes d'une patine ferromanganésique. Le creusement semble être très lent. Son ampleur dépend de la lithologie. Ainsi dans les bancs de grès quartzites très durs des chutes de Gouina ne se sont formées que quelques petites marmites peu profondes. L'érosion y est extrêmement faible et ces chutes ne reculent guère.

Les cours d'eau importants ont bien calibré leur lit mineur dans les biefs. Les bancs de sables et de graviers se déplacent. Ce sont des rivières à fond mobile, comme celles du domaine tempéré. Le Baoulé et la Falémé dessinent des boucles plus ou moins grandes (Fig. 10). Il semble que les méandres apparaissent dans les régions septentrionales de la zone soudanienne lorsque le rapport débit/charge faiblit : la pente des cours d'eau et leur alimentation diminuent, tandis que leur charge augmente par sapement des berges et ravinement de terrasses ; ils déposent alors une partie de leur matériel au bord de la moindre convexité du lit où le courant ralentit. Ainsi se sont formés des trains de méandres qui s'agrandissent.

### c) La zone sahélienne

Dans cette zone la végétation très clairsemée ne freine plus du tout la dynamique fluviale. Le ruissellement superficiel intense engendre des crues brutales, mais souvent de courte durée. L'écoulement tarit plus ou moins vite, mais un underflow se poursuit dans les alluvions sableuses qui encombrant le lit.

Ainsi le plateau de l'Assaba, dans le Sud de la Mauritanie centrale, a été fortement disséqué par les branches supérieures du Gorgol, dernier affluent de droite du Sénégal (Fig. 9). Ces oueds ont exploité surtout le réseau de fractures

des grès. Ils coulent par endroits dans des gorges étroites et profondes. La pente de leur profil en long est assez élevée. Après la descente du rebord occidental de l'Assaba, ils entaillent les dépôts sableux de la plaine de piedmont. L'oued Boun-guel, par exemple, trace plusieurs méandres et ses crues sapent les rives concaves ; ses eaux sont donc très chargées en sable et limon (57 - P. MICHEL, 1973). Malgré la violence des crues, les principales rivières n'arrivent pas à évacuer la masse de matériel charrié par le réseau hydrographique dense et hiérarchisé. Elles se divisent par endroits en une série de chenaux instables, séparés par des levées et des grands bancs de sable où poussent souvent des fourrés d'Acacia nilotica. Ailleurs, ces cours d'eau serpentent au milieu de leur lit majeur en dessinant de nombreux méandres divagants. La pente de leur profil en long devient extrêmement faible. Après la jonction de ses deux branches principales, le Gorgol coule dans une petite vallée alluviale et rejoint le Sénégal à Kaédi.

Le Sénégal traverse la zone sahélienne en aval de Bakel pour rejoindre l'océan (Fig. 9). Il a façonné au Quaternaire récent une vallée alluviale, large de 10 à 25 km, en forme d'un grand arc de cercle (57 - P. MICHEL, 1973 - t. 2, p. 560-605 et t. 3 les cartes au 1/200.000e). C'est un fleuve allochtone, nourri par les pluies abondantes qui tombent sur son haut bassin. Mais l'ampleur de sa crue varie beaucoup d'une année à l'autre. Les eaux commencent à monter à partir de la fin juin. Leur écoulement est très lent à cause de la pente excessivement faible, de 0,02‰ en moyenne ! Ainsi le maximum de la crue est généralement atteint début septembre à Bakel, mais n'arrive que début novembre à Saint-Louis.

En début de crue, les eaux à forte turbulence sapent les rives concaves des méandres, formées généralement par les hautes levées post-nouakchottiennes sablo-limoneuses. Le fleuve abandonne les éléments les plus gros (sable moyen) dès que son courant ralentit, les déposant au pied de la rive convexe du méandre suivant. Ainsi il continue à agrandir ses sinuosités ou en crée de nouvelles après le recoupement d'un méandre. Les limons sont transportés en suspension sur des distances beaucoup plus grandes et une bonne partie de ce matériel arrive jusqu'à l'embouchure (55 - P. MICHEL, 1968).

L'importance de cette érosion latérale dépend du matériel des berges. Les eaux sapent facilement les sables et limons des levées post-nouakchottiennes ou subactuelles. Les niveaux d'argile, plus compacts, résistent mieux et restent en saillie. L'érosion la plus forte se produit dans les sables meubles des dunes ogoliennes fixées. Mais l'ampleur du sapement est aussi fonction de l'importance de la crue. L'érosion peut être catastrophique par très forte crue puisque la plupart des villages sont construits sur les parties hautes des levées de la rive concave. Ainsi la berge du fleuve à Moudéri a été érodée sur une largeur de 5 m



par la seule crue de 1964 et les flots ont englouti de nombreuses cases (53 - P. MICHEL, 1966). D'après diverses observations, l'érosion moyenne se chiffre à 1-1,50 m par an pour les rives concaves des méandres les plus importants du fleuve.

L'inondation du lit majeur s'effectue d'abord par les brèches des anciens deltas de rupture de levée. A mesure que le niveau de la crue monte, les eaux passent par les enlèvement des levées. Elles déposent alors des limons et des sables fins sur la rive convexe des méandres. Les cuvettes sont submergées progressivement. Elles restent inondées pendant 4 à 12 semaines selon l'importance de la crue. Les eaux plus ou moins stagnantes se décantent alors ; leurs éléments en suspension ou en solution précipitent progressivement.

Le niveau des eaux baisse par évaporation ou par vidange au cours de la décrue ; une partie s'infiltré et produit un engorgement temporaire des terres argileuses. Mais les eaux stagnent beaucoup plus longtemps dans certaines parties de cuvettes, plus basses et mal vidangées. La décantation s'y poursuit pendant une période beaucoup plus longue ; c'est pourquoi leur sol est nettement plus argileux. De nombreuses mares subsistent jusqu'en fin de saison sèche, malgré la très forte évaporation.

D'innombrables bancs de sable apparaissent dans le lit mineur du fleuve aux basses eaux en amont de Podor (Fig. 9). Ils occupent par endroits les deux tiers du lit à l'étiage, permettant ainsi de le traverser à gué. Souvent leur surface est modelée en une succession de "dunes hydrauliques" à forme de croissants, le flanc raide tourné vers l'aval. Certains niveaux de sable sont riches en minéraux lourds. L'abondance de l'ilménite indique d'importants apports de sable fin venant du haut bassin (57 - P. MICHEL, 1973). Plusieurs seuils rocheux s'avancent dans le lit du Sénégal lorsque le fleuve frôle le bord oriental de sa vallée. Ils sont formés de grès quartzite du Lutétien. Le fleuve n'a donc pas réussi à araser ces seuils et il semble incapable actuellement de creuser son lit en roches dures dans son parcours de Bakel à l'embouchure ; mais leur présence accélère l'érosion latérale en début de crue.

Après le retrait des eaux du lit majeur, les vertisols et sols hydromorphes des parties déprimées se fissurent et leur surface bosselée est découpée en polygones par le réseau de fentes de rétraction (modelé gilgai). Les cuvettes sur-salées (sebkhas) du secteur littoral de la région du Delta sont souvent soumises à une importante déflation éolienne. Elle se produit surtout en fin de saison sèche quand la terre argileuse est bien ameublie par la cristallisation du sel (84, 85 - J. TRICART, 1954, 1955). C'est aussi l'époque pendant laquelle soufflent des vents assez violents, alizés maritimes et "tornades" sèches. Une partie du ma-

tériel se dépose sur le bord sud-est des sebkhas en petits bourrelets d'agrégats de limon salé (lunettes). Les hautes levées fluvio-deltaïques post-nouakchottiennes de la basse vallée et du Delta, qui ne portent qu'une végétation très discontinue, sont aussi balayées par le vent en saison sèche. Les accumulations limono-sableuses forment des successions de nebkas aplaties fixées par de petites plantes herbacées. Ce microrelief éolien se développe souvent autour des villages où le tapis végétal a été détruit par surpâturage et piétinement.

### III. L'ACCELERATION ACTUELLE DUE A L'INTERVENTION DE L'HOMME

L'action de l'homme reste limitée, tant que les interventions ne dépassent pas une utilisation traditionnelle du milieu: l'homme est en effet un élément de ce milieu qui, de longue date, agit par ses feux et ses cultures. Mais la pression démographique, la réduction des jachères qui en résulte et, d'une façon générale, le déséquilibre introduit par la dégradation de la végétation entraînent une accentuation des processus morphogéniques et, en particulier des actions mécaniques que nous illustrerons par cinq exemples régionaux.

#### 1. Dégradation en milieu montagnard

L'intervention de l'homme peut rompre l'équilibre naturel fragile. C'est le cas par exemple dans les hauts massifs du Fouta Djallon central, principalement sur le plateau de Labé (Fig. 9). La population y est relativement dense: elle dépassait déjà 50 h/km<sup>2</sup> en 1950, ce qui est beaucoup pour une région rurale où les paysans pratiquent une culture sous pluie extensive. Or les plateaux couverts d'épaisses cuirasses sont très étendus, occupant jusqu'à 60 % des superficies dans certains secteurs! La plupart des terres cultivables sont défrichées, même sur des pentes fortes. De maigres savanes ont presque partout remplacé la belle forêt montagnarde. Les jachères du système agricole traditionnel sont de plus en plus écourtées à cause de la pression démographique grandissante.

Cette dégradation accélérée du couvert végétal a évidemment de graves répercussions sur le système morphogénique. Les pluies souvent brutales, atteignant parfois une intensité de 100 mm/h, tombent sur une terre dénudée ou mal protégée par un maigre tapis herbacé. Elles engendrent une érosion des sols dont les caractères et les mécanismes ont été examinés par des pédologues et des géographes (82 - A. SUDRES, 1947; 19 - P. BELLOUARD, 1948; 62, 63 - J. POUQUET, 1956 entre autres), depuis longtemps. J. TRICART (86 - 1956) notamment a analysé les étapes de l'évolution. Le ruissellement diffus décape d'abord certaines parties meubles des dépôts superficiels et fait apparaître des blocs qui pointent à la surface du sol. Puis de

petites rigoles amorcent une concentration des eaux. Elles s'approfondissent si les formations meubles sont assez épaisses. Ainsi des ravins entaillent vigoureusement des grands versants. A leur débouché dans la vallée ils construisent des cônes de déjection qui finissent par atteindre les cours d'eau. Ces ravins remontent progressivement leurs têtes jusqu'aux corniches de dolérite ou de cuirasse des hauts plateaux dénudés. Ainsi les niveaux en cours d'induration par les oxydes de fer viennent aussi en affleurement.

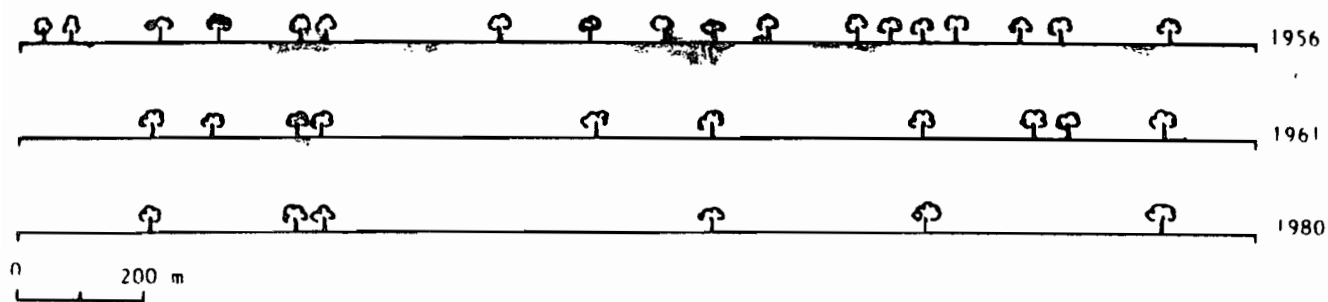
La dégradation du milieu naturel au Fouta Djallon central se répercute aussi sur la dynamique des rivières. Les nappes phréatiques sont moins alimentées et les sources tarissent plus vite en saison sèche. Le régime des cours supérieurs de la Gambie et du Sénégal, le haut Bafing (Fig. 9), et de leurs petits affluents devient plus torrentiel. Surtout leurs eaux se chargent en éléments grossiers, graviers et sables, et peuvent déclencher une érosion des seuils à l'aval, par creusement de marmites et sapement latéral. Or le plan d'aménagement du bassin du Sénégal prévoit la construction d'un grand barrage-réservoir sur le Bafing, à Manantali au Mali, pour la production d'hydroélectricité et l'irrigation dans la vallée alluviale en aval de Bakel. Ainsi une sédimentation accrue risque de se produire dans le lac de barrage.

## 2. La dégradation du milieu à la périphérie d'une ville

Nous avons montré, dans une publication récente (17 - J.-M. AVENARD, 1982), le caractère inquiétant de la dégradation du milieu à la périphérie de Ouaqadougou. En effet, la capitale de la Haute-Volta, située au coeur du "plateau mossi", a connu et connaît encore une forte croissance démographique qui fait que la population triple pratiquement tous les quinze ans, passant ainsi de 18.000 habitants en 1945 à 172.000 habitant en 1975 (dernier recensement). Cette croissance, qui s'explique plus par un apport extérieur que par un dynamisme interne, se traduit par une extension de la ville sous forme de rares lotissements, mais surtout à partir de zones d'habitat spontané, non loti.

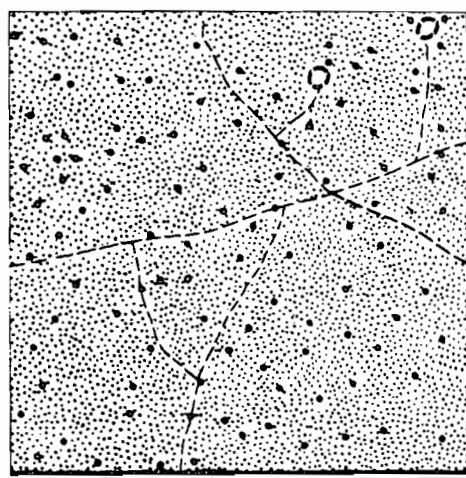
Mais en même temps, la pression démographique déjà forte sur l'ensemble du plateau mossi, est ici encore accentuée à la grande périphérie de la ville ; l'agriculture et l'élevage qui y sont pratiqués entraînent une surexploitation avec dégradation du capital sol. Enfin les besoins en bois (principal moyen d'énergie des foyers) de la ville n'ont pas épargné l'arbre. Une savane pauvrement arborée remplace une savane où les espèces ligneuses étaient nettement plus abondantes.

La rupture d'équilibre qui en résulte donne des formes très souvent convergentes, alors que le modelé, constitué par un plateau granitique à faibles



|      | Pourcentage approximatif de dégradation |      |      |
|------|---|------|------|
|      | 1956                                    | 1961 | 1980 |
| 1956 | /                                       | 50%  | 65%  |
| 1961 |   | /    | 30%  |
| 1980 |   |      | /    |

Figure 11 : Coupe à travers une savane cultivée. Comparaison du nombre d'arbres et arbustes sur trois missions aériennes.



1961



1980

0 200 m



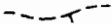






-  ferme mossi
-  construction en dur
-  piste piéton
-  piste en terre
-  route Ouagadougou-Niamev
-  habitat spontané non loti
-  végétation herbacée
-  sol pratiquement nu (rares touffes herbeuses)
-  arbres

Figure 12 : Comparaison des surfaces.

ondulations ne semblait pas prédisposer à une forte intensité de la morphogénèse actuelle. La moyenne pluviométrique est de l'ordre de 800 mm, avec cependant une forte irrégularité inter-annuelle, et de fortes pluies en début de saison des pluies (mai-juin).

#### a) La dégradation de la végétation

Les observations qualitatives ne manquent pas, qui prouvent que les formations végétales ont été fortement dégradées, tant dans les zones occupées par l'habitat, où l'arbre naturel (Karité, Néré...) a pratiquement disparu, que dans les zones à vocation agricole, où les espèces ligneuses deviennent de plus en plus rares. Mais la végétation herbeuse n'est pas plus épargnée, de nombreuses surfaces étant entièrement dénudées, sans qu'elles soient pour autant mises en construction.

Ces observations sont confirmées par la comparaison de plusieurs missions de photographies aériennes, prises à des dates différentes (1956, 1961, 1980) :

- Comparaison linéaire : nous avons tracé un certain nombre de lignes fictives, placées aux mêmes endroits sur chacune des missions aériennes, et noté les points tombant sur un arbre ou arbuste ; malgré les erreurs dues à la différence d'échelle de ces missions, nous obtenons un ordre de grandeur de la raréfaction des espèces ligneuses (Fig.11).

- Comparaison des surfaces : la méthode précédente est confirmée par cette comparaison, tandis qu'un contrôle sur le terrain de l'état actuel permet par ailleurs d'affiner les observations concernant la végétation herbacée. L'échantillon de la figure 12 a été pris en bordure de la route Ouagadougou-Niamey, à la limite de l'extension actuelle de l'habitat spontané non loti.

- Comparaison de certains bas-fonds : la dégradation de la végétation est particulièrement forte dans les bas-fonds. Des forêtgaleries de plus ou moins belle venue ont laissé la place à une végétation herbeuse très pauvre, ou même à des secteurs incultes, balayés par les crues (Fig.13).

#### b) Le décapage généralisé

Lié à une moindre protection du sol par suite d'une couverture végétale moins dense, le décapage important des versants, même sur pente faible, est un fait général. La mise en culture avec des modes de protection nuls ou insuffisants ne fait qu'amplifier le phénomène. En effet, comme dans de nombreuses autres régions, la technique ancestrale de la culture du mil qui consiste à brûler la paille dans un coin du champ laisse le sol à nu lors des premières pluies qui sont les plus agressives.


1956

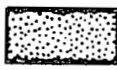



1980




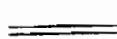
0 200 m


 végétation ligneuse  
(arbres et buissons)

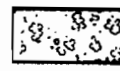
 savane arborée à boisée

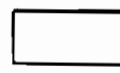
 zone d'épandage argileuse

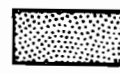
 ferme mossi

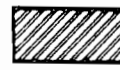
 route bordant le barrage


 arbre isolé

 végétation ligneuse  
(arbres et buissons)


 végétation herbeuse  
clairsemée ou sol nu


 lit majeur alluvial

 habitat spontané non loti

 exploitation de briques sèches

 piste

 lit mineur incisé

 incisions linéaires

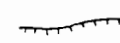
 sapement

Figure 13 : Comparaison d'un bas-fond entre 1956 et 1980  
(d'après photos aériennes)

#### - Décapage avec début de ruissellement concentré

Un décapage important s'observe sur les formations sablo-argileuses provenant de l'altération du granite, sur versant ou dans les amorces de dépression où la cuirasse a été déblayée. Des traces de ruissellement concentré apparaissent localement, sans que l'incision soit profonde (5 à 10 cm). Cet écoulement tend cependant à se concentrer dans des exutoires sensiblement plus encaissés.

Ce décapage est mis en évidence par la comparaison des courbes granulométriques de surface (1-2 cm) avec celles du dessous (10-30 cm). Un net triage caractérise l'échantillon de surface. Le même phénomène se retrouve dans les formations argilo-gravillonnaires où une pellicule de glaçage apparaît. Des études sont en cours pour mieux caractériser ce processus complexe.

#### - Décapage de la partie inférieure du versant

Un autre aspect du décapage caractérise les versants argilo-gravillonnaires, à induration en profondeur, et qui représentent la forme la plus générale de la région.

La pellicule de glaçage qui les recouvre généralement est démantelée par une succession de micro-marches d'escalier dans la partie inférieure du versant. Mais il faut noter que ce phénomène se place nettement au-dessus de la rupture de pente du versant : il s'agit d'une érosion régressive qui peut progresser de plusieurs mètres à chaque saison des pluies. Là encore une étude en cours de cette pellicule de glaçage permettra peut-être de préciser les choses.

#### - Décapage en nappe à faible incision

Sur long versant, à pente faible (1 à 2°), le ruissellement en nappe se concentre dans des zones préférentielles, mais n'incise pas profondément le bas du versant. Il s'étale au contraire très largement, entraînant un décapage par balayage extrêmement efficace.

#### c) Les entailles linéaires

Les entailles linéaires sont incontestablement les manifestations les plus visibles et les plus spectaculaires de la dynamique actuelle. Elles affectent la majorité des marigots de la zone considérée, les bas-fonds plats, de largeur variable, étant incisés par une entaille à berges raides. Cette entaille peut atteindre localement plusieurs mètres de profondeur (généralement 1 à 3 m). Mais une autre caractéristique de ces entailles est la remontée sur les versants, avec incision profonde, et une érosion régressive très rapide. Certaines têtes de ravins peuvent reculer de plusieurs mètres en une seule saison des pluies.

Nourries par un ruissellement quasi intégral qui s'exerce dans les zones d'habitat non loti, elles prennent souvent naissance à partir de pistes qui sont alors transformées en ravins. Mais les conséquences de ces entailles ne s'arrêtent pas là. Elles sont en effet la cause de la dégradation des milieux environnants, selon la localisation de ces zones d'habitat non loti :

- Le matériel arraché vient engraver les cultures maraichères situées en aval du barrage n° 3.

- L'érosion régressive déborde la zone d'habitat et affecte les terres agricoles (Fig. 14 ). Dans certains cas, ces entailles prennent le relais du décapage en nappe provenant des zones agricoles et aggravent la situation (Fig. 15).

#### d) Conclusion

La résultante globale de cette dégradation du milieu est la détérioration de la qualité de la vie dans Ouagadougou et à sa périphérie. Bien que des différences apparaissent entre les milieux urbanisés et les milieux ruraux, un point commun les réunit : l'exacerbation des processus naturels par une action anthropique négative :

- Dans les zones urbaine et périurbaine, les terrains qui seraient propices à l'installation d'un habitat structuré sont profondément affectés et seront difficilement récupérables dans l'avenir, alors que les conditions actuelles de circulation sont fortement perturbées (pistes se transformant en ravins, etc.).

- Dans les zones à vocation agricole, le décapage fait apparaître la cuirasse ou au moins l'horizon induré sous-jacent. Dans certains secteurs, particulièrement autour des villages, on pratique déjà une véritable culture sans sol : ce dernier est remplacé par une épaisse fumure animale sèche, mélangée à quelques éléments meubles souvent rapportés... Les surfaces ainsi traitées ne peuvent évidemment avoir une grande extension, et une grande partie du terroir est devenue inculte.

### 3. L'accélération du ravinement

Dans les environs de Kayes et près de la basse Falémé, en secteur nord-soudanien (Fig. 9 ), la terrasse du premier remblai sablo-argileux est entaillée par de nombreux ravins. Ses terrains plats aux sols profonds sont recherchés par les paysans. L'extension des cultures de mil et de l'arachide a accéléré le processus de ravinement et transformé de bonnes terres en badlands (51, 57, 58 - P. MICHEL, 1960, 1973, 1978).

Voyons comment s'effectue cette érosion. Le niveau des cours d'eau est encore bas en début de saison des pluies lorsque se produisent les premières averses





Figure 14 : Erosion régressive avec entaille linéaire débordant de la zone d'habitat, et affectant les terres agricoles.



Figure 15 : Tête d'entaille prenant le relais du décapage en nappe (Les gravillons et concrétions ferrugineuses transportés sont un puissant abrasif).

violentes qui tombent sur les terrains défrichés. Par suite de la forte dénivellation, les eaux ruisselées se concentrent très vite et creusent des ravins d'abord étroits. Les versants généralement subverticaux reculent ensuite parallèlement à eux-mêmes dans ce matériel assez fin et bien compacté.

Les effets du ravinement dans ces terrains rubéfiés, épais d'une dizaine de mètres, sont très spectaculaires aux alentours de Kayes, dont la population s'accroît rapidement. Il se développe surtout le long de la profonde entaille du Papara, petit affluent du Sénégal. L'érosion y a sculpté toute une série de canons miniatures, très digités, aux parois subverticales d'une hauteur de 5 à 6 m. Lorsque les ravins se rejoignent, la terrasse du premier remblai se réduit à quelques buttes témoins ou à de petites crêtes escarpées.

Ce processus s'amplifie encore. Ainsi le long de la basse Falémé les ravins s'élargissent parfois considérablement et forment alors de petits cirques à fond plat faiblement incliné vers la rivière, limités par des talus raides ; ces cirques s'agrandissent par recul des talus parallèlement à eux-mêmes (Fig. 10). Le fond plat et dénudé du cirque est façonné par le ruissellement diffus ; des traces d'écoulement sont encore visibles plusieurs jours après le passage d'une forte averse. Il n'est donc pas possible de cultiver les terrains de ces cirques d'érosion.

#### 4. L'aggravation de l'action du vent

Avant la récente sécheresse du Sahel, les remaniements éoliens étaient faibles sur les dunes ogoliennes fixées en bordure de la basse vallée du Sénégal. Ce n'est qu'aux endroits où le tapis herbacé était détruit par le surpâturage ou par le passage des hommes ou des bêtes que l'on observait une reprise du sable superficiel par le vent (55 - P. MICHEL, 1968). Sur les pistes des troupeaux qui convergent vers la vallée, le sable ameubli était parfois disposé en rides.

Mais la déflation éolienne était déjà beaucoup plus importante plus au Sud, sur les terrains sableux ondulés de l'ancien erg du Cayor, entre Thiès et Linguère (Fig. 9). Ces terres meubles sont cultivées depuis longtemps et les jachères sont de plus en plus écourtées. La culture appauvrit ces sols sableux (appelés dior) en matière organique. Les horizons superficiels perdent leur structure et deviennent très sensibles à la déflation éolienne. Pendant la longue saison sèche les alizés balaient ces terres dénudées et emportent les particules fines de la taille des limons et des sables fins. Ainsi la surface du sol se couvre progressivement d'un lit de sable grossier que le vent n'arrive pas à déplacer. La culture arachidière systématique sur le front pionnier des colons Mourides sur le bord sud-ouest du Ferlo a beaucoup amplifié cette déflation.

L'action du vent s'est encore aggravée avec la sécheresse du Sahel. Le couvert végétal s'est dégradé énormément. Ainsi dans une savane sahélienne du Ferlo septentrional, où la pluviométrie moyenne est de 350 mm, il n'est tombé en 1972 que 33 mm : d'après des observations précises de botanistes de l'ORSTOM, la strate herbacée formée de graminées a été totalement absente et la strate arborée a été très diminuée (53 % des Acacia senegal sont morts). Mais la végétation ligneuse a été décimée aussi par les éleveurs qui coupaient des branches d'arbustes et des buissons pour nourrir leur bétail affamé.

Ainsi des dunes fixées ogoliennes ont été remaniées en surface. A la bordure de l'erg ancien du Cayor, les dunes littorales semi-fixées de Lompoul sont totalement ravivées, à une latitude où la pluviométrie moyenne est de 450 mm (83 - Ch. TOUPET, P. MICHEL, 1979). L'extension rapide de l'agglomération dakaroise, à cause de l'exode rural, se traduit aussi par une action éolienne renforcée. Autour de la ville satellite de Pikine, construite sur des dunes semi-fixées, toute la végétation a été anéantie en quelques années. C'est pourquoi les vents de sable et les brumes sèches, très rares avant 1970, deviennent de plus en plus fréquents dans la région de Dakar.

Il importe donc d'étudier d'une manière précise cette action éolienne, comme les dynamiques du ruissellement et du ravinement. C'est le travail qu'a entrepris depuis une douzaine d'années M. SALL (72, 78, 79, 80 - 1971, 1978, 1979, 1982) au Sénégal occidental, par des observations et des mesures sur le terrain dans différentes unités naturelles, en les complétant par l'étude de photographies aériennes et d'images de satellites.

##### 5. Accélération de la dynamique actuelle...due à des travaux antiérosifs !

L'exemple du Yatenga, dans le nord-ouest de la Haute-Volta, montre les difficultés qu'il y a à maîtriser une dynamique actuelle insidieuse, si l'on ne prend pas en compte tous les éléments physiques et humains de ce milieu intertropical à saison sèche. Toute action négligeant cet aspect fait que l'homme se transforme en apprenti-sorcier.

Ainsi, autour de Ouahigouya, des moyens importants (1,5 milliard de francs CFA) et des techniques lourdes ont été mis en oeuvre pour lutter contre une érosion préoccupante dans cette zone à forte charge de population (100 h/km<sup>2</sup>) et de bétail. "On a creusé 40.000 km de fossés de diversion pour éliminer l'effet de la longueur des pentes ; 150 km de murettes en pierres sèches stabilisent les exutoires et les vallées ; 160 barrages et mares temporaires retiennent les eaux de ruissellement en amont des plaines fertiles ; on a augmenté la perméabilité

des sols par des passages au ripper et des plantations forestières" (69 - E. ROOSE, 1971).

Ces réalisations se sont soldées par un échec pour une raison essentielle : le facteur humain n'a pas été intégré, les techniques ayant été introduites sans se préoccuper des structures psychologiques des paysans et sans préparer ces derniers à un tel aménagement. "Le bulldozer peut certainement aménager le territoire, mais il reste impuissant à éduquer les masses" (E.ROOSE).

Nous n'insisterons pas ici sur les réflexions méthodologiques que peut inspirer une conception trop basée sur la technologie pour l'utilisation du milieu. Notre constatation, au-delà de toute polémique, est simplement de montrer la fragilité de cette zone : toute rupture d'équilibre entraîne une accentuation de la dynamique actuelle, les effets secondaires pouvant très rapidement devenir des facteurs principaux de dégradation comme l'illustrent les deux exemples des figures 16 et 17.



Figure 16 : Entaille linéaire due à un réseau de bourrelet anti-érosif non entretenu.



Figure 17 : Les déversoirs des banquettes anti-érosives produisent de nombreuses dégradations aux axes routiers...

## BIBLIOGRAPHIE

- 1 - ALEXANDRE J. - 1967 : L'action des animaux fouisseurs et des feux de brousse sur l'efficacité érosive du ruissellement dans une région de savane boisée. Congr. et Coll. Univers. de Liège, Belgique, t.40, pp.43-49.
- 2 - ASSELINE J., VALENTIN C. - 1977 : Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, Abidjan, Côte d'Ivoire, 34 p., 12 tabl. multigr.
- 3 - AUBERT G., MAIGNIEN R. - 1949 : L'érosion éolienne dans le Nord du Sénégal et du Soudan français. C.R. Conf. afr. Sols, GOMA, Bull. agr. Congo belge, vol. 40, n° 2, p. 1309-1316.
- 4 - AUBERT G. - 1962 : Les sols de la zone aride. Etude de leur formation, de leurs caractères, de leur utilisation et de leur conservation. In Unesco, Recherches sur la zone aride. Actes Coll. de Paris, vol. 19, p. 127-150.
- 5 - AUBREVILLE A. - 1947 : Erosion et bowalisation en Afrique Noire française. Agron. tropic., Fr., t. 2, n° 7-8, p. 339-357.
- 6 - AUBREVILLE A. - 1949 : Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Société d'Editions géographiques, maritimes et coloniales, Paris.
- 7 - AVENARD J.-M. - 1962 : La solifluxion ou quelques méthodes de mécanique des sols appliquées au problème géomorphologique des versants. Centre de Documentation Universitaire, Paris, 164 p.
- 8 - AVENARD J.-M. - 1969 : Réflexions sur l'état de la recherche concernant les problèmes posés par les contacts forêts-savanes, essai de mise au point et de bibliographie. ORSTOM, Paris, sér. Initiations-Documentations techniques, n° 14, 154 p.
- 9 - AVENARD J.-M. - 1971 : La répartition des formations végétales en relation avec l'eau du sol dans la région de Man-Touba. ORSTOM, Paris, sér. Travaux et Documents, 12, 159 p.
- 10 - AVENARD J.-M., ELDIN M., GIRARD G., SIRCOULON J., TOUCHEBEUF P., GUILLAUMET J.-L., ADJANOHOUN E., PERRAUD A. - 1971 : Le milieu naturel de Côte d'Ivoire, Mémoire ORSTOM n° 50, Paris, 391 p., + cartes h.t.
- 11 - AVENARD J.-M., ROOSE E.-J. - 1972 : Quelques aspects de la dynamique actuelle sur versants en Côte d'Ivoire. ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé, 25 p. multigr. (Communication présentée au 22e Congr. International de Géographie, Canada, août 1972).
- 12 - AVENARD J.-M. - 1972 : Rôle des régimes hydriques des sols dans l'Ouest de la Côte d'Ivoire. Annales de Géographie, n° 446, LXXXI, pp. 421-450.
- 13 - AVENARD J.-M., BONVALLOT J., LATHAM M., RENARD-DUGERDIL M., RICHARD J. - 1972 : Aspects du contact forêt-savane dans le centre et l'Ouest de la Côte d'Ivoire : étude descriptive. ORSTOM, Paris, sér. Travaux et Documents, n° 35, 254 p., 1974.
- 14 - AVENARD J.-M., BONVALLOT J., LATHAM M., RENARD-DUGERDIL M., RICHARD J. - 1972 : Le contact forêt-savane en Côte d'Ivoire. Annales de Géographie, n° 453, LXXXII, pp. 543-544.
- 15 - AVENARD J.M. - 1972 : Evolution géomorphologique au Quaternaire dans le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. Revue de Géomorphologie Dynamique, XXII, n° 4, pp. 145-160.

- 16 - AVENARD J.-M. - 1977 : Cartographie géomorphologique dans l'Ouest de la Côte d'Ivoire. ORSTOM, sér. Notices explicatives, n° 71, 99 p., 3 cartes h.t.
- 17 - AVENARD J.-M. : 1982 : La dégradation du milieu à la périphérie de Ouagadougou (Haute-Volta). ULP. Strasbourg, 20 p. multigr.
- 18 - BEARD J.-B. - 1966 : A comparison of mulches for erosion control and grass establishment on light soil. Q. Bull. Mich. St. Univ. agric. Exp. Stn 48, p. 369-376.
- 19 - BELLOUARD P. - 1948 : Erosion des sols du Sénégal oriental, du Soudan occidental, du Fouta Djallon. Bull. agric. Congo belge, vol. 40, pp. 1299-1308.
- 20 - BERTRAND R. - 1967 : L'érosion hydrique. Nature et évolution des matériaux enlevés. Relation et conséquences sur le sol érodé (Station de Bouaké). Colloque sur la Fertilité des Sols Tropicaux, Tananarive (19-25/11/67), n° 107, p. 1296-1301, 4 réf.
- 21 - BERTRAND R. - 1967 : Etude de l'érosion hydrique et de la conservation des eaux et du sol en pays Baoulé. Coll. sur la Fertilité des Sols Tropicaux, Tananarive (19-25/11/67), n° 106, p. 1281-1295, 9 réf.
- 22 - BIROT Y., GALABERT J., ROOSE E., ARRIVETS J. - 1968 : Deuxième campagne d'observations sur la station de mesure de l'érosion de Gampela : 1968. Rapport multigr., CTFT, 40 p.
- 23 - BONVALLOT J. - 1972 : Utilisation des courbes granulométriques pour la cartographie des phénomènes de dynamique actuelle. Cahiers ORSTOM, sér. Sciences Humaines, vol. IX, n° 2.
- 24 - BOUGERE J. - 1978 : Saison sèche, saison humide : approche méthodologique pour les régions à longue saison sèche. Bull. Ecologie, t. 9, 4, pp. 301-305.
- 25 - BRUNET-MORET Y. - 1963 : Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale : République de Haute-Volta. Rapport multigr., ORSTOM, Comité Inter-Etats d'Etudes Hydrauliques, 23 p.
- 26 - CHARREAU C., SEGUY L. - 1969 : Mesure de l'érosion et du ruissellement à Séfa en 1968. Agron. trop., Fr., t. 24, n° 11, pp. 1055-1097.
- 27 - CHARREAU C. - 1969 : Influence des techniques culturales sur le développement du ruissellement et de l'érosion en Casamance. VIIe Congrès International du Génie Rural, CNRA, Bambey, 13 p.
- 28 - CHARREAU C., NICOU R. - 1971 : L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest-africaine et ses incidences agronomiques. Agron. trop., 26, 9, pp. 903-978 et 11, pp. 1183-1247.
- 29 - COINTEPAS J.-P. - 1956 : Premiers résultats des mesures de l'érosion en Moyenne Casamance. Congr. Intern. Sciences du Sol, Paris, vol. D., pp. 569-576.
- 30 - COLLINET J., LAFFORGUE A. - 1978 : Mesures du ruissellement et d'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sols de Haute-Volta. Centres ORSTOM d'Adiopodoumé, Abidjan.
- 31 - C.T.F.T. - 1971 : Défense et restauration des sols. Station de Gampela. Rapport annuel 1971. Haute-Volta, Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et des Eaux et Forêts, C.T.F.T., 1971, 18 p. multigr.
- 32 - C.T.F.T./H.V. - 1973 : Rapport de synthèse 1972. C.T.F.T. Ministère Agric. de Haute-Volta. Ouagadougou, 46 p., multigr.

- 33 - DA DAPOLA E. - 1980 : Contribution à l'étude géographique des paysages voltaïques (Monographie de la région de Gaoua). Mémoire de Maîtrise, Université de Ouagadougou, ESLSH, Géographie, 152 p.
- 34 - DELWAULLE J.-C. - 1973 : Résultats de six années d'observations sur l'érosion au Niger. Bois et Forêts des Tropiques, 150, pp. 15-37.
- 35 - DRESCH J., ROUGERIE G. - 1960 : Observations morphologiques sur le Sahel du Niger. Rev. Géom. Dyn., Fr., t. 11, n° 4-6, pp. 49-58.
- 36 - FAUCK R. - 1954 : Les facteurs et les intensités de l'érosion en moyenne Casamance. Congr. Intern. Science du Sol, Léopoldville, t.3, pp.753-793.
- 37 - FOURNIER F. - 1954 : Les parcelles expérimentales. Méthode d'étude expérimentale de la conservation du sol, de l'érosion, du ruissellement. Rapp. Off. Rech. Sc. Techn. O.-Mer, Paris, n° 1623, 70 p. multigr., 13 fig.
- 38 - FOURNIER F. - 1955 : Les facteurs de l'érosion du sol par l'eau en Afrique Occidentale Française. C.R. Acad. Agric. Fr., p. 660-665.
- 39 - FOURNIER F. - 1956 : Les formes et types d'érosion du sol par l'eau en Afrique Occidentale Française. C.R. Acad. Agric. Fr., t. 42, p. 215-221.
- 40 - FOURNIER F. - 1958 : Etude de la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. Thèse Lettres Paris, Presses Univers. de France, Paris (1960), 203 p., 6 pl. h.t., tabl., graph.
- 41 - FOURNIER F. - 1962 : Carte du danger d'érosion en Afrique au Sud du Sahara (fondé sur l'agressivité climatique et la topographie). C.E.E./CCTA. Bur. Interafricain des sols, 4 p. + carte.
- 42 - FOURNIER F. - 1968 : La recherche en érosion et conservation des sols sur le continent africain. Sols Africains, vol. 12, n° 1, pp. 5-53.
- 43 - GALABERT J., MILLOGO E. - 1972 : Indice d'érosion par la pluie en Haute-Volta. C.T.F.T., Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et des Eaux et Forêts.
- 44 - GODEFROY J., MULLER M., ROOSE E. - 1970 : Estimation des pertes par lixivation des éléments fertilisants dans un sol de bananeraie de basse Côte d'Ivoire. Fruits, 25, 6, pp. 403-423.
- 45 - JAEGER P. - 1969 : Vers une destruction accélérée de la savane soudanaise. Nature, Fr., n° 3300, pp. 155-157.
- 46 - KALMS J.-M. - 1975 : Influence des techniques culturales sur l'érosion et le ruissellement en région centre de Côte d'Ivoire. I.R.A.T., Bouaké, 9 p. multigr. (Coll. sur la conservation et l'aménagement du sol dans les tropiques humides, Ibadan, 30 Juin-4 Juillet 1975).
- 47 - LAFFORGUE A. - 1977 : Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelles. Application à une exploitation méthodique des données obtenues sous pluies simulées. Cahiers ORSTOM, Hydrologie 14, 4, 299-344.
- 48 - LAFFORGUE A., NAAH E. - 1976 : Exemple d'analyse des facteurs de ruissellement sous pluies simulées. Cahiers ORSTOM, Hydrologie, 13, 3.
- 49 - LE BUANEC B. - 1972 : Dix ans de culture motorisée sur un bassin-versant du centre Côte d'Ivoire. Evolution de la fertilité et de la production. Agron. Trop., 27, 11, pp. 1191 à 1211.
- 50 - MICHEL P. - 1959 : Rapport de mission au Soudan occidental et dans le Sud-Est du Sénégal, fasc. 2 : dépôts alluviaux et dynamique fluviale. Arch. Bur. Rech. géol. min., Dakar, 74 p. multigr.
- 51 - MICHEL P. - 1960 : Note sur l'évolution morphologique des vallées de la Koulimbini, du Karakoro et du Sénégal dans la région de Kayes. Rapp. Bur. Rech. géol. min., Dakar, 18 p. multigr.



- 52 - MICHEL P. - 1962 : Observations sur la géomorphologie et les dépôts alluviaux des cours moyens du Bafing et du Bakoy (Rép. du Mali). Rapp. Bur. Rech. géol. min., Dakar, 39 p. multigr.
- 53 - MICHEL P. - 1966 : Les applications des recherches géomorphologique en Afrique occidentale. Rev. Géogr. Afr. occid., Dakar, n° 3, pp. 37-60.
- 54 - MICHEL P. - 1968 : Morphogenèse et pédogenèse. Exemples d'Afrique occidentale. Sols afric., v. 13, pp. 171-194.
- 55 - MICHEL P. - 1968 : Le façonnement actuel de la vallée du Sénégal et de ses bordures, de Bakel à Richard-Toll. Com. Trav. hist. sci., Paris, Bull. Sect. Géogr., t. 80 (1967), Hydrologie continentale, p. 447-
- 56 - MICHEL P. - 1969 : Les grandes étapes de la morphogenèse dans les bassins des fleuves Sénégal et Gambie pendant le Quaternaire. (Comm. 6e Congr. Panafr. Préhist. Et. Quatern., Dakar 1967). Bull. IFAN, t. 31, n° 2, pp. 293-324.
- 57 - MICHEL P. - 1973 : Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique. Mémoire ORSTOM n° 63, 3 tomes, Paris, 752 p.
- 58 - MICHEL P. - 1978 : La dynamique actuelle de la géomorphologie dans le domaine soudanien de l'Ouest africain : l'exemple du Mali occidental et du Sénégal oriental. In : Géomorphologie dynamique dans les régions intertropicales. Coll. Lubumbashi, 1975. Géo-Eco-Trop., vol. 2, n° 1, p. 1-20.
- 59 - MIETTON M. - 1980 : Recherches géomorphologiques au Sud de la Haute-Volta. La dynamique actuelle dans la région de Pô-Tiébébé. Univ. de Grenoble 1, UER de Géographie, Thèse 3ème Cycle, 235 p. + annexes.
- 60 - MONNIER Y. - 1968 : Les effets des feux de brousse sur une savane préforestière de Côte d'Ivoire. Etudes Eburnéennes, n° IX, Abidjan, 260 p.
- 61 - POULAIN J.-P., ARRIVETS J. - 1971 : Effets des principaux éléments fertilisants autres que l'azote sur les rendements des cultures vivrières de base (sorgho, mil, maïs) au Sénégal et en Haute-Volta. Séminaire CSTR/Hv, 31 p. multigr.
- 62 - POUQUET J. - 1956 : Le plateau de Labé (Guinée). Remarques sur le caractère dramatique des phénomènes d'érosion des sols et sur les remèdes proposés. Bull. Inst. fr. d'Afrique Noire, A, Sénégal, t. 17, n° 1, pp. 1-16.
- 63 - POUQUET J. - 1956 : Aspects morphologiques du Fouta Djallon, régions de Kindia et de Labé, Guinée. Caractères alarmants des phénomènes d'érosion des sols déclenchés par les activités humaines. Rev. Géogr. Alpine, Fr., n° 2, pp. 231-245.
- 64 - RODIER J., AUVRAY C. - 1965 : Estimation des débits de crues décennales pour les bassins-versants de superficie inférieure à 200 km<sup>2</sup> en Afrique occidentale. Rapp. ORSTOM-CIEH, 30 p. multigr.
- 65 - ROOSE E.-J. - 1967 : Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal. Agron. trop., 22, 2, pp. 123-152.
- 66 - ROOSE E.-J. - 1968 : Mesure de l'érodibilité d'un sol (facteur K) sur la parcelle de référence de Wischmeier. Deuxième projet du protocole standard et sa discussion. Note multigraphiée ORSTOM Abidjan, 4+6 p.
- 67 - ROOSE E., BIROT Y. - 1970 : Mesure de l'érosion et du lessivage oblique et vertical sous une savane arborée du plateau mossi (Gonsé-Haute-Volta). 1. Résultats des campagnes 1968-69. Rapp. multigr., C.T.F.T., ORSTOM, Abidjan, 148 p.

- 68 - ROOSE E.-J. - 1971 : Influence des modifications du milieu naturel sur l'érosion, le ruissellement, le bilan hydrique et chimique, suite à la mise en culture sous climat tropical. Synthèse des observations en Côte d'Ivoire et en Haute-Volta. Rapp. multigr., ORSTOM, Abidjan, 22 p. Communic. au Séminaire des sols tropicaux, Ibadan, mai 1972, 22 p. multigr.
- 69 - ROOSE E.-J., BERTRAND R. - 1971 : Contribution à l'étude de la méthode des bandes d'arrêt pour lutter contre l'érosion hydrique en Afrique de l'Ouest. Résultats expérimentaux et observations sur le terrain. Agron. trop., 26, 11, pp. 1270-1283.
- 70 - ROOSE E.-J. - 1972 : Contribution à l'étude de l'appauvrissement de quelques sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux situés entre Abidjan et Ouagadougou par l'utilisation de méthodes expérimentales de terrain. ORSTOM Bull. liaison, thème A, n° 1, p. 19-41. Communic. à la journée des pédologues de l'ORSTOM, 28 sept. 1971.
- 71 - ROOSE E.-J. - 1972 : Comparaison des causes de l'érosion et des principes de lutte antiérosive en région tropicale humide, tropicale sèche et méditerranéenne. Communic. aux Journées d'Etude du Génie Rural à Florence du 12-16/7/1972, pp. 417-441.
- 72 - ROOSE E.-J. - 1973 : Dix-sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse Côte d'Ivoire. Contribution à l'étude de l'érosion hydrique en milieu inter-tropical. Thèse, Abidjan, 124 p.
- 73 - ROOSE E.-J., ARRIVETS J. et POULAIN J.-F. - 1974 : Etude du ruissellement, du drainage et de l'érosion sur deux sols ferrugineux de la région Centre Haute-Volta. Bilan de trois années d'observation à la station de Saria. Rapp. ORSTOM/Abidjan-IRAT/Haute-Volta, 83 p., multigr.
- 74 - ROOSE E.-J. - 1975 : Application de l'équation de prévision de l'érosion de Wischmeier et Smith en Afrique de l'Ouest. ORSTOM, Abidjan, 22 p. multigr. (Colloque sur la conservation et l'aménagement du sol dans les tropiques humides, Ibadan, 30 juin-4 juillet 1975).
- 75 - ROOSE E.-J. - 1977 : Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt ans de mesures en petites parcelles expérimentales. Trav. et Documents ORSTOM, 78, 108 p.
- 76 - ROUGERIE G. - 1954 : Méthode d'étude expérimentale des phénomènes d'érosion en milieu naturel. Rev. Géom. Dynam., Fr., Paris, t. 5, n° 5, pp. 220-227.
- 77 - SALL M. - 1971 : Dynamique et morphogenèse actuelles (Contribution à l'étude géomorphologique du Sénégal occidental). Thèse 3ème Cycle, Univ. Dakar, 290 p. multigr.
- 78 - SALL M. - 1978 : Les processus géomorphologiques actuels dans l'environnement des campagnes de la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal). In : Géomorphologie dynamique dans les régions intertropicales. Coll. de Lubumbashi 1975. Géco-Eco-Trop, vol. 2, n° 1, p. 21-30.
- 79 - SALL M. - 1979 : Hydrologie et géomorphologie du Delta du Sénégal et de ses bordures (Aftout es Sahéli et Ferlo nord-occidental) d'après les images Landsat du 30.9.72. Photointerprétation, 79-5, numéro spécial Sénégal, p. 29-37.
- 80 - SALL M. - 1982 : Dynamique et morphogenèse actuelles au Sénégal. Thèse d'Etat, Strasbourg (à paraître).

- 81 - SANOU D. - 1981 : Etude comparative entre une parcelle pourvue de bourrelets anti-érosifs et des parcelles traditionnelles à Sirgui (Kaya) : introduction aux problèmes de dynamique érosive. Mémoire de maîtrise, Univ. de Ouagadougou, ESLS, Géographie, 102 p.
- 82 - SUDRES A. - 1947 : La dégradation des sols au Fouta Djallon. Agron. Trop., Fr., t. 2, pp. 226-246.
- 83 - TOUPET Ch., MICHEL P. - 1979 : Sècheresse et aridité. L'exemple de la Mauritanie et du Sénégal. Géo-Eco-Trop., vol. 3, n° 2, p. 137-157.
- 84 - TRICART J. - 1954 : Influence des sols salés sur la déflation éolienne en Basse-Mauritanie et dans le delta du Sénégal. Revue Géom. Dyn., Fr., t. 5, n° 3, p. 124-132.
- 85 - TRICART J. - 1955 : Nouvelles observations sur les sebkhas de l'Aftout es Sahel mauritanien et du delta du Sénégal. Revue de Géom. Dyn., t. 6, n° 4, p. 177-187.
- 86 - TRICART J. - 1956 : Dégradation du milieu naturel et problèmes d'aménagement au Fouta Djallon (Guinée). Revue de Géogr. Alpine, n° 1, p. 7-36.
- 87 - TRICART J. - 1956 : Types de fleuves et systèmes morphologiques en Afrique occidentale. Com. Trav. hist. sc. Bull. Sect. Géogr., v. 68, pp. 303-344.
- 88 - TRICART J., CAILLEUX A. - 1965 : Le modelé des régions chaudes (Forêts et savanes). Traité de géomorphologie, t. V, SEDES, Paris, 322 p.
- 89 - ULP-CGA (BLANCK J.-P., CLOOTS-HIRSCH A.-R., GOBERT A.) - 1977 : Unité écologique expérimentale de la région de Maradi (Niger). DGRST-ULP Strasbourg, 67 p. + annexes.
- 90 - VALENTIN C. - 1978 : Divers aspects des dynamiques actuelles de quelques sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire. Recherches méthodologiques. Résultats et interprétation agronomiques. ORSTOM, Abidjan, 141 p.
- 91 - VALENTIN C. - 1978 : Problèmes méthodologiques de la simulation des pluies. Application à l'étude de l'érodibilité des sols. In : Colloque sur l'érosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen, Strasbourg-Colmar, 20-23 sept. ULP Strasbourg et INRA, pp. 117-122.
- 92 - VOGT J. - 1959 : Aspects de l'évolution morphologique récente de l'Ouest africain. Annales de Géogr., n° 367, pp. 193-206.
- 93 - VOGT J. - 1961 : Badlands du Nord-Dahomey. Actes du 85ème Congr. nat. Soc. sav., Chambéry-Annecy 1960, Sect. géogr., pp. 227-239.