

Vol. XXII, n° 2 - 1986

FR. ISSN 0029 7229

CAHIERS ORSTOM

An abstract painting depicting a soil profile. The background is a solid teal color. A large rectangular area in the center is filled with horizontal and vertical brushstrokes in various colors: dark brown, reddish-pink, bright yellow, and light green. The colors transition from dark brown at the top to light green at the bottom, suggesting different soil layers. The overall style is expressive and textured.

PEDOLOGIE



Éditions de l'ORSTOM
INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

Depuis 1962, les Éditions de l'ORSTOM publient :

Dans les cahiers de Pédologie, des travaux consacrés à l'étude des sols : morphologie, caractérisation physico-chimique et minéralogique, classification, relation entre sols et géomorphologie, problèmes liés aux sels, à l'eau, à l'érosion, à la fertilité.

En dehors des articles des cahiers, les études sont publiées sous forme de documents divers, dont la liste figure au catalogue des éditions de l'ORSTOM.

COMITÉ SCIENTIFIQUE

- | | |
|---|--|
| G. AUBERT, Membre de l'Académie d'Agriculture (France) | N. LENEUF, Professeur à l'Université de Dijon (France) |
| P. AUDRY, Directeur de Recherches à l'ORSTOM | J.C. LEPRUN, Directeur de Recherches à l'ORSTOM |
| J. BOULAIN, Professeur à l'Institut National Agronomique Paris-Grignon (France) | A. MELFI, Directeur de l'Institut de Géo-sciences à l'Université de Sao Paulo (Brésil) |
| G. CALLOT, Directeur de Recherches à l'INRA | G. MILLOT, Membre de l'Académie des Sciences (France) |
| C. CHEVERRY, Professeur à l'ENSA de Rennes | R. MOREAU, Chargé de Recherches à l'ORSTOM, Responsable de l'UR 509 |
| P. DUBREUIL, Vice-président de la Commission Hydrologie-Pédologie | G. MURDOCH, Head, Soil Science and Geomorphology Section (Royaume Uni) |
| P. DUCHAUFOR, Directeur Honoraire du Centre de Pédologie biologique, Vandœuvre-les-Nancy | A. OSMAN, Directeur de la Division Science du Sol A.C.S.A.D. (Syrie) |
| R. DUDAL, Professeur à l'Université Catholique de Louvain | M. RIEU, Directeur du Centre ORSTOM de Bondy |
| H. FAURE, Professeur à l'Université de Marseille (France) | M. ROBERT, Directeur de Recherches à l'INRA |
| E. FERNANDEZ-CALDAS, Professeur d'Edaphologie à l'Université de La Laguna à Ténérife, Iles Canaries (Espagne) | A. RUELLAN, Directeur Général de l'ORSTOM |
| A. FINCK, Professeur à l'Université de Kiel (R.F.A.) | K.F. SEDDOH, Recteur de l'Université de Lomé (Togo) |
| M. GAVAUD, Directeur de Recherches à l'ORSTOM | G. STOOPS, Professeur à l'Université de Gand (Belgique) |
| M.C. GIRARD, Maître de Conférences à l'INA-PG | G. SYS, Professeur à l'Université de Gand (Belgique) |
| S. HENIN, Membre de l'Académie d'Agriculture (France) | Y. TARDY, Professeur à l'Université L. Pasteur de Strasbourg |
| A. HERBILLON, Professeur à l'Université de Nancy I | F. TOUTAIN, Directeur de Recherches au CNRS Nancy |
| F.X. HUMBEL, Directeur de Recherches à l'ORSTOM | J. TRICHEL, Professeur à l'Université d'Orléans (France) |
| M. JAMAGNE, Chef du Service des sols et de la carte pédologique de France | A. VAN WAMBEKE, Professeur à l'Université Cornell (U.S.A.) |
| J. KILIAN, Chef de l'Unité Pédologique à l'IRAT | B. VOLKOFF, Directeur de Recherches à l'ORSTOM, Responsable de l'UR 104 |

Rédacteur en chef : G. PEDRO, Président de la Commission Hydrologie-Pédologie ORSTOM

Secrétaire de Rédaction : P. WILLAIME, ORSTOM, 70-74 route d'Aulnay, 93140 Bondy.

Tarif d'abonnement (4 numéros par volume)

Subscription price (4 issues per volume)

France : 200 F

Étranger / Foreign : 250 F

(Port avion en sus / plus air postage).

Veuillez adresser votre commande à votre librairie ou aux* / Please send your order to your bookseller or to*

* Éditions de l'ORSTOM

Librairie-Vente-Publicité

70-74, Route d'Aulnay - 93140 BONDY, France

Paiement par virement postal à l'ordre de** (ou par chèque barré) / Please pay by giro transfer to** (or by crossed check)

** Service des Publications de l'ORSTOM

CCP : 22.272.21 Y PARIS

Volume XXII
N° 2 — 1986

CAHIERS ORSTOM
série PÉDOLOGIE



**Ce numéro spécial traite de problèmes
liés à l'érosion et à la conservation de
l'eau et des sols.**

Éditions de l'ORSTOM
INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION
PARIS - 1987

Manuscrits acceptés par le Comité de Rédaction le 4 août 1986 et déposés au Secrétariat des Editions le 6 août 1986

Photo 1^{re} page — Cliché ROOSE

Formes d'érosion diverses dans les Monts de Beni Chougrane près de Mascara (Algérie)

.....
« La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle fait sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal. »

Avant-propos

Monsieur PÉDRO, Président de la Commission Scientifique « Hydrologie-Pédologie » de l'ORSTOM, a bien voulu encourager la réalisation d'un cahier sur le thème « Erosion-conservation de l'eau et des sols ». Vous trouverez dans ce numéro spécial, non pas une synthèse sur les processus d'érosion, mais une douzaine de communications centrées sur l'efficacité des méthodes antiérosives présentées, pour la plupart, à la dernière réunion du « Réseau Erosion ».*

Certains lecteurs seront surpris de trouver dans ce « Cahier de Pédologie » des interventions de disciplines aussi diverses que l'hydrologie, l'agro-pédologie, la géographie physique ou humaine, la sociologie, etc... Ceci répond aux vœux de la réforme de l'ORSTOM, d'aborder les thèmes de recherche dans une optique interdisciplinaire branchée sur les problèmes urgents posés par le développement. Or, l'érosion n'est pas seulement une chaîne de processus pédologiques très actifs en montagne et sur les terres exploitées par l'homme (dégradations physiques et chimiques, appauvrissement en fines et en nutriments, décapage de l'horizon humifère, etc.) ; c'est aussi un signal d'alarme pour le gestionnaire des eaux et des sols, signal qui révèle un déséquilibre plus ou moins aigu entre le milieu (physique, biologique et humain) et son mode d'exploitation.

L'efficacité des méthodes de lutte antiérosive dépend non seulement d'une bonne définition du milieu physique, mais aussi de l'adaptation des techniques proposées et de l'accueil qui leur est réservé par les populations bénéficiaires : tout ceci montre bien l'importance d'une approche interdisciplinaire.

Les articles proposés sont variés et concernent 4 zones écologiques :

Zones tempérées

Problématique de la dégradation des sols en milieu cultivé océanique (MONNIER *et al.*...).

Coût de l'érosion chronique et exceptionnelle dans le vignoble alsacien (VOGT *et al.*...).

Analyse de la réussite de l'approche R.T.M. en France et de son échec dans les P.V.D. (LILIN).

Zones méditerranéennes

Efficacité des banquettes algériennes (AUBERT, HEUSCH).

Petits ouvrages de rétention des eaux dans le Sud tunisien (BONVALLOT).

Zones soudano-sahéliennes

Vingt ans de lutte antiérosive au Burkina Faso (MARCHAL, MIETTON).

Analyse comparée de l'efficacité des diguettes de diversion et des microbarrages perméables (ROOSE).

Zones latino-américaines

Effet du défrichement et des cultures fourragères sur le ruissellement et l'érosion à l'échelle de la parcelle et du microbassin : ECEREX en Guyane (FRITSCH et SARRAILH).

* *Réseau Erosion* : créé en 1982, il rassemble aujourd'hui une centaine d'équipes de chercheurs francophones d'Europe et des pays en développement. *Objectif* : coopérative en vue de faire circuler rapidement les informations dans le domaine de l'érosion, et... plus tard, soutenir certaines démarches et certains programmes. *Activités* : un bulletin de liaison et une réunion annuelle en septembre. *Organisation* : un animateur (1) et un conseil de 6 membres représentant les principaux instituts intéressés.

(1) E. ROOSE. UR 509 ORSTOM B.P. 5093 Montpellier 34033.

Effets de l'érosion et méthodes de lutte antiérosive — Exemples pris dans divers milieux :

tempéré



1. Dégradation et engorgement des horizons superficiels, suite aux modifications du système de cultures, provoquant ruissellement sur les plateaux et érosion sur les pentes. (Région Nord-Pas-de-Calais — France).



2. Erosion en nappe ravinante. (Région Nord-Pas-de-Calais — France).

méditerranéen



3. Aménagement non entretenu : « Levee Monjauze » en cours de dégradation. (Béni Slimane — Algérie).



4. Aménagement efficient et productif. (Bel Mezioude — Algérie).

tropical



5. Formation sur sol ferrugineux tropical d'une chappe imperméable de 20 à 50 mètres de diamètre par érosion d'une grande termitière. (Kaniko — Sud-Mali).



6. Méthodes de lutte traditionnelle (cordon de pierres), pour limiter l'érosion en nappe. (Kaniko — Sud-Mali).
Clichés E. ROOSE.

Effet des pratiques culturales testées sous différents climats du N.E. brésilien (LEPRUN *et al.*).

Répartition des processus d'érosion, des risques et des méthodes traditionnelles de lutte en Equateur (De NONI *et al.*).

Enfin une revue bibliographique permettant de mieux cerner les apports de la télédétection dans le domaine de l'érosion et de la conservation des sols, clôture ce numéro spécial.

Après 7000 ans de lutte antiérosive, on peut se demander ce qu'il reste encore à apprendre sur les processus d'érosion et sur les moyens de lutte à développer ? De la lecture de l'ensemble de ces articles il ressort :

— que rebondit encore la querelle entre les deux écoles principales :

(a) importance majeure du ruissellement qui provoque les phénomènes de ravinement les plus impressionnants (lutte organisée autour des structures : banquettes, déversoirs, murets, etc...).

(b) importance de la cause primaire : l'énergie des gouttes de pluie (lutte organisée autour des techniques culturales et la naissance du ruissellement).

— qu'après bien des échecs dans les PVD des méthodes antiérosives mécaniques mises au point dans la Grande Plaine Américaine, une analyse plus fine montre l'efficacité des méthodes traditionnelles (ex. : tabias, cordons de pierres, haies vives, etc.) plus simples, moins sophistiquées, à la portée d'un grand nombre d'agriculteurs.

— que l'on ignore encore bien des choses sur l'adaptation des techniques aux milieux écologiques et humains, sur le rôle des hommes et l'accueil réservé aux techniques, sur le coût de l'érosion et le coût des méthodes de lutte.

Espérons que ce Cahier ouvrira la voie à un dialogue fructueux entre les disciplines concernées par la mise en valeur et la conservation du potentiel hydrique et du capital foncier.

Eric ROOSE

Réflexions sur l'érosion hydrique en conditions climatiques et topographiques modérées : Cas des systèmes de grande culture de l'Europe de l'Ouest

G. MONNIER (1), J. BOIFFIN (2) et F. PAPY (3)

Institut National de la Recherche Agronomique

(1) Station de Science du Sol, Centre de Recherche Agronomique B.P. 91 — 84140 Montfavet, France — (2) Laboratoire d'Agronomie, INA-PG Centre de Paris, 16, rue Claude Bernard — 75231 Paris Cedex 05 — (3) Unité SAD, INA-PG Centre de Grignon 78850 Thiverval — Grignon.

RÉSUMÉ

On s'intéresse ici aux phénomènes de ruissellement et d'érosion susceptibles d'intervenir en Europe du Nord et de l'Ouest, sur pentes faibles et en conditions climatiques modérées. Ces phénomènes se caractérisent par la disjonction dans l'espace :

— de la formation d'un ruissellement diffus, non nécessairement érosif, lié à des processus de dégradation structurale de la surface du sol.

— de la concentration du ruissellement provenant d'un vaste impluvium sur des cheminements localisés où peut alors intervenir une érosion sévère.

Après avoir proposé une description du processus général de formation locale du ruissellement, les auteurs analysent l'influence du système de culture. Celui-ci peut intervenir à plusieurs niveaux :

— à court terme, d'abord par la modification de l'état du sol par les techniques culturales et ses conséquences sur l'infiltrabilité, la dégradation superficielle, les modalités de concentration du ruissellement et la sensibilité du terrain au ruissellement concentré. Ensuite, par le calendrier et la vitesse de recouvrement du sol par la culture.

— à plus long terme, le système de culture peut modifier les propriétés du sol qui participent à la sensibilité, à la dégradation superficielle et notamment à la stabilité structurale. L'évolution du statut organique dans ces différentes composantes peut être, dans certaines circonstances, un facteur de risque important.

Il apparaît, en définitive, que les processus de dégradation considérés ne sont redevables, ni des outils de prédiction, ni des moyens de lutte classiques.

MOTS-CLÉS : Erosion — Systèmes de culture — Battance — Ruissellement.

ABSTRACT

REFLECTIONS ON WATER EROSION UNDER MODERATE CLIMATIC AND TOPOGRAPHIC CONDITIONS: CASE OF THE INTENSIVE CROPPING SYSTEMS OF NORTHWESTERN EUROPE

The following paper is focussed on runoff and erosion as they occur in large areas of Northwestern Europe, i.e. on gentle slopes and under moderate climatic conditions. These two phenomena can be characterized by a marked spatial separation between :

— the generation of a non-erosive overland flow, related to structural degradation of the soil surface ;

— the concentration of run-off from large catchment areas to restricted channels where severe rilling and gullyng can occur even with very low slope angles.

After a description of the general process leading to overland flow, we examine the main ways by which the cropping system can interfere with erosion risks :

— In the short term, (a) by modifying the structural state of the soil surface and its evolution, which determine infiltrability, run-off concentration and soil sensitiveness to rill formation ; (b) through the chronology and rate of soil covering by the crop canopy.

— in the long term, by modifying the physical properties of the soil which control the soil susceptibility to structural degradation, and especially aggregate stability.

Under given circumstances, the evolution of different aspects of the organic status can lead to a significant increase in erosion risks.

Considering the processes which control erosion of cultivated soils under moderate climatic and topographic conditions, it appears that some classical approaches are not relevant to predict and control erosion risks in the North-western European context.

KEY WORDS : Erosion — Cropping systems — Soil crusting — run-off.

POSITION DU PROBLÈME

Les conditions climatiques, topographiques et d'occupation des sols rendent compte de la gravité des phénomènes d'érosion hydrique dans les régions méditerranéennes de l'Europe occidentale ainsi que, plus occasionnellement, dans les vignobles, vergers ou même cultures annuelles, implantés sur de fortes pentes sous des climats a priori moins agressifs. De telles conditions sont redevables des moyens classiques de prédiction de perte en terre et de lutte contre l'érosion.

A côté de ces situations, on assiste à une montée des préoccupations relatives à l'érosion dans de vastes régions du Nord-Ouest de l'Europe qui ne sont caractérisées ni par de fortes pentes ni par la fréquence élevée de pluies intenses : une pluie journalière de 40 mm a un temps de retour de 5 à 10 ans dans l'Ouest de la France et de 2 à 3 mois dans le Midi méditerranéen.

Un rapide survol des zones concernées (cf. Soil Erosion, 1982) suggère que de telles situations résultent en général de la conjonction de 3 séries de critères :

— des critères géomorphologiques : substrats géologiques tendres (craie, sables tertiaires,...) entraînant un modelé mollement ondulé avec des pentes à la fois faibles et longues qui n'introduisent aucune contrainte à la mécanisation ou à l'agrandissement des parcelles cultivées.

— des critères portant sur les propriétés hydrologiques de surface de la couverture pédologique, le plus souvent, en pareil cas, à dominante limoneuse.

— des critères liés à l'utilisation agricole des terrains concernés et à son évolution : remembrement du parcellaire et régression des prairies sont des tendances marquantes — sur lesquelles nous ne reviendrons pas — dans ces zones où prédominent des systèmes de pro-

duction à base de céréales et cultures industrielles ou d'élevage intensif.

Les dégâts se manifestent par l'apparition désormais régulière de rigoles ou ravines, principalement localisées dans des thalwegs même peu accentués traversant les parcelles et dans les zones de fourrière ; enfin, et seulement dans les cas les plus graves, de manière plus diffuse dans les empreintes laissées en surface par les passages d'engins agricoles. La gêne apportée aux opérations culturales et les nuisances enregistrées en aval dans les zones d'habitation sont des facteurs de sensibilisation aussi, voire plus, importants, que les pertes en terre proprement dites.

Ainsi, l'examen des principaux facteurs de répartition des zones concernées, et des formes qu'y prend l'érosion, montre que deux processus jouent un rôle essentiel :

— l'apparition d'un excès d'eau superficiel, même avec des pluies d'intensité faible ; le ruissellement qui peut en résulter reste diffus et non érosif sur la majeure partie de l'impluvium ;

— la concentration de ce ruissellement correspondant à des surfaces d'impluvium particulièrement importantes ce qui permet d'atteindre des débits unitaires érosifs dans ces zones de concentration.

Ces processus peuvent intervenir de façon nettement disjointe et à relativement grande distance au sein de l'impluvium.

Notre objectif est ici, en nous plaçant a priori dans un contexte répondant à ces considérations, de proposer quelques éléments de réflexion centrés sur :

— la formation et l'importance du ruissellement ;
— l'influence exercée par les systèmes de culture dans leurs différentes composantes sur le fonctionnement de l'impluvium.

PROCESSUS LOCAL DE FORMATION DU RUISSELLEMENT

Principaux déterminants du régime d'infiltration et de son évolution

Rappelons que la répartition de l'eau de pluie entre infiltration et excès d'eau superficiel (détenu dans des flaques ou ruisselé) dépend à chaque instant de l'intensité pluviométrique et du fonctionnement hydrodynamique du sol qui dépend lui-même de son état physique (hydrique et structural).

Dans le cas des sols cultivés, les conditions d'homogénéité et de stabilité de l'état structural ne sont, en pratique, jamais réalisées que sur de courtes périodes.

D'une part, la succession des opérations culturales de toute nature induit de très fortes discontinuités dans l'évolution chronologique de la porosité des couches de surface, la formation d'hétérogénéités verticales et(ou) latérales et notamment de couches plus ou moins continues à faible perméabilité.

D'autre part, la dégradation par la pluie, plus ou moins rapide et poussée, de la structure fragmentaire superficielle résultant du travail du sol aboutit à une diminution de la porosité dans l'ensemble des couches travaillées mais surtout à la formation de croûtes superficielles, dont nous verrons que la présence diminue fortement l'infiltrabilité du sol.

Dans le premier cas, un calcul d'ordre de grandeur fait apparaître que, dans les conditions climatiques modérées envisagées ici, les épisodes pluvieux d'une hauteur cumulée suffisante pour saturer le compartiment susjacent aux couches imperméables et provoquer un ruissellement superficiel sont peu fréquents. En effet, pour des conditions initiales probables d'humidité volumique d'une couche superficielle travaillée, la hauteur d'eau nécessaire pour provoquer la saturation est d'environ 4 à 5 mm par cm d'épaisseur de la couche concernée soit, pour une épaisseur de 5 cm correspondant à un lit de semence, une hauteur minimale de pluie de l'ordre de 20 à 25 mm tombée dans un temps suffisamment court pour que l'on puisse négliger les transferts vers les couches sous-jacentes et l'évaporation.

Or l'utilisation de la formule de Montana (PINGUET, 1985) à la moitié nord-ouest de la France sur un pas de temps de 2 h fournit, avec une précision convenable ($P = 0,95$), des temps de retour de 2 ans pour 20 mm à 10 ans pour 30 mm/2 h.

Sans exclure l'occurrence accidentelle d'un tel processus de formation du ruissellement, on doit constater que ce dernier — ou la formation de flaques en terrain plat — sont susceptibles d'intervenir à l'occasion de pluies d'une hauteur très inférieures, voire dès le début d'un épisode pluvieux.

Il faut admettre que l'infiltration est alors dépendante des transformations morphologiques de l'extrême sur-

face du sol intervenues sous l'action physique ou mécanique de pluies antérieures (croûtes) ou sous l'effet des passages de roues dont les empreintes restent en surface et ne sont pas retravaillées.

Processus général de dégradation structurale de la surface du sol

BOIFFIN (1984, 1985) s'appuyant sur l'étude expérimentale du comportement in situ de sols limoneux a proposé une analyse du processus de transformation morphologique des couches superficielles en conditions climatiques naturelles. En bref, il a montré que dans une première phase dont la durée peut être très variable, la surface du sol, initialement motteuse et « ouverte » est progressivement occupée par une croûte structurale de quelques mm d'épaisseur et à compacité élevée et que son infiltrabilité diminue. Lorsque l'intensité des pluies dépasse l'infiltrabilité ainsi réduite pendant une durée suffisante pour que l'excès d'eau atteigne quelques mm, le flaquage ou le ruissellement interviennent : c'est le début d'une deuxième phase au cours de laquelle se forment des croûtes de dépôts.

En utilisant une variabilité provoquée expérimentalement et(ou) liée à la diversité des séquences climatiques naturelles intervenues au cours des différentes périodes d'étude, cet auteur a pu mettre en évidence :

— d'une part la généralité de ce processus de dégradation en deux phases dont la monotonie n'est interrompue que par des événements « accidentels » d'origine climatiques (phase de dessiccations, gel), culturales (interventions mécaniques) ou biologiques (faune du sol) ;

— d'autre part, le rôle de différents paramètres caractérisant l'état initial du sol et les pluies sur la cinétique et l'intensité de réalisation du processus de dégradation.

Ainsi, dans l'une et l'autre phase, les vitesses d'extension et d'épaississement des croûtes sont contrôlées par la morphologie de la surface et par la quantité de particules de sol déplacées par la pluie.

BOIFFIN propose un modèle de remplissage interstitiel pour représenter de façon simplifiée l'évolution de l'état de surface au cours de la première phase. Ce modèle introduit un indicateur morphologique du stade de dégradation : la taille limite (D_{lim}) séparant les mottes qui sont déjà — ou pas encore — incorporées aux croûtes structurales.

Selon le modèle, ce paramètre est relié d'une part à l'aire et à l'épaisseur des croûtes, d'autre part à la quantité cumulée de particules déplacées. De plus, l'accroissement de la valeur de D_{lim} au cours de la progression de la formation de la croûte structurale est étroitement corrélé :

— avec la diminution de l'infiltrabilité ;

— avec l'énergie cinétique de la pluie cumulée par classe d'intensité (indices KE).

Les coefficients de cette dernière relation expriment la

détachabilité du sol en fonction de la stabilité structurale, de l'aptitude à la fissuration et de l'histoire hydrique de la surface des mottes.

Principaux paramètres de la dégradation structurale superficielle

A l'aide des outils morphologiques mis en place et en utilisant une variabilité expérimentale provoquée, on peut mettre en évidence l'influence des facteurs liés au sol (état initial, détachabilité) et au climat (énergie cinétique des pluies, succession des états hydriques de la surface du sol).

ETAT STRUCTURAL INITIAL

Il peut être décrit par la distribution dimensionnelle des mottes.

La comparaison entre les courbes (1) (structure initiale fine) et (2) (structure initiale grossière) de la figure 1 montre la très forte influence de l'état initial sur l'extension des plaques structurales, exprimée ici en fonction de la hauteur de pluie cumulée. La courbe (2) fait, de plus, apparaître une accélération de la désagrégation en présence d'un obstacle à la circulation de l'eau situé à faible profondeur.

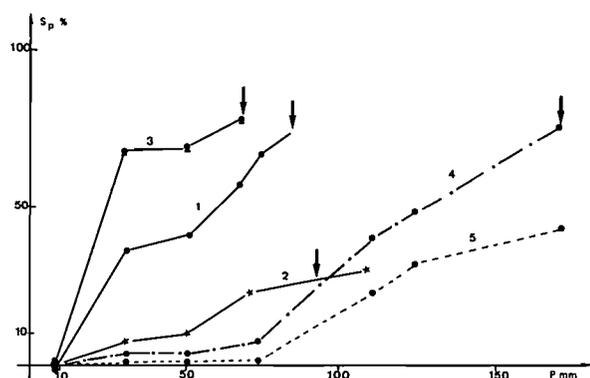


Fig.1. — Evolution du taux de recouvrement de la surface par des plaques structurales (S_p) en fonction des hauteurs de pluies cumulées.

(1) structure initiale fine, (2) structure initiale motteuse, (3) structure initiale fine avec obstacle au drainage interne, (4) structure initiale fine avec interception de 70 % de l'énergie de la pluie, (5) structure initiale fine avec interception de 80 % de l'énergie de la pluie.

Les flèches indiquent l'apparition des croûtes de dépôt.

FACTEURS DE DÉTACHABILITÉ DU SOL

La mobilisation de particules solides préalable à leur déplacement par rejaillissement (effet de « splash ») peut être obtenue par différents processus :

— *La désagrégation des assemblages* par éclatement. Ce processus intervient principalement sur sol sec au cours d'une humectation avec de l'eau libre ou à faible poten-

tiel. Son intensité est commandée d'une part par la stabilité structurale intrinsèque du matériau terreux à travers ses composantes principales de cohésion à l'état humide et de mouillabilité (HÉNIN et MONNIER, 1956 ; MONNIER, 1965), d'autre part par l'état initial hydrique et structural (BOIFFIN, 1984). Il apparaît donc que l'intensité du processus de désagrégation dépend à la fois de facteurs stables liés à la constitution du sol et des facteurs techniques et climatiques qui commandent son état physique au début de la pluie, l'énergie cinétique des gouttes de pluies n'étant pas la seule, voire même la principale condition d'agressivité.

— *La fragmentation par fissuration*. Elle intervient au cours des phases d'humectation et de dessiccation. Ce processus qui peut conduire à l'apparition de fragments de taille inframillimétrique est contrôlé par le gonflement potentiel des matériaux. Dans les terres argileuses, riches en smectite, par ailleurs stables vis-à-vis de la désagrégation, il est le seul processus de division reconnu. Pour les sols moins argileux, il peut précéder et dans ce cas accélérer le processus de désagrégation.

On voit donc que le type de particules mobilisées et donc leur masse dépendent à la fois de propriétés intrinsèques aux matériaux et du régime hydrique auquel ils ont été soumis avant la pluie responsable directe de la dégradation.

CRITÈRES D'EFFICACITÉ DES PLUIES VIS-À-VIS DE LA DÉGRADATION SUPERFICIELLE

La figure 1 montre que pour des états initiaux à structure fine, l'extension des plaques structurales peut atteindre près de 75 % de la surface totale pour des pluies cumulées ne dépassant pas quelques dizaines de mm. La comparaison des courbes (4) et (5) avec la courbe (1) montre clairement, par ailleurs, l'influence de l'énergie cinétique des gouttes. Cette influence est précisée par les caractéristiques des régressions linéaires reliant l'indicateur morphologique D_{lim} aux indices KE_x d'érosivité (tabl.1).

On peut observer à cet égard que la prise en compte de pluies de faible intensité, fréquentes dans les conditions géographiques envisagées ici, est satisfaisante et ceci d'autant plus que le sol considéré est plus instable. Par ailleurs, pour un même prédicteur, ici KE_5 , la pente de la régression est significativement plus élevée dans le cas du sol le plus instable.

Conséquences de la dégradation structurale sur l'infiltrabilité

Les croûtes structurales résultent du réarrangement dans les interstices entre mottes des particules détachées et du compactage dynamique de ce matériau par la pluie. Aussi bien les mesures de densité sur fragments que l'observation micromorphologique montrent qu'il s'agit d'une fine couche à organisation très compacte.

TABLEAU I
Relations entre l'indicateur D_{lim} (cm) et les indices KE_x (1) d'érosivité ($J. m^{-2}$)

Site	Prédicteur	Régressions linéaires			Nombre de résultats
		Ordonnée à l'origine	Pente	r^2	
P Limon argileux instable	KE_5	-0,15	0,0028	0,725	106
	KE_{10}	-0,14	0,0110	0,752	106
M limoneux très instable	KE_5	-0,17	0,0052	0,647	119
	KE_{10}	0,93	0,0048	0,312	119

(1) Seuil d'intensité ($mm h^{-1}$) au-dessus duquel l'énergie des pluies est cumulée, de l'exposition des sols jusqu'à la détermination de D_{lim} .

La décroissance enregistrée au cours de la totalité du processus est de plus d'un ordre de grandeur : à partir d'infiltrabilités initiales de l'ordre de 20 à 50 mm/h, on atteint finalement, en présence de croûtes sédimentaires bien développées, des valeurs de l'ordre de 1 mm/h.

Cette influence de l'altération morphologique au cours

de la phase I sur l'infiltrabilité peut être précisée en recherchant les relations entre l'infiltrabilité directement mesurée à différents stades de la dégradation par la méthode des taches saturées (BOIFFIN et MONNIER, 1985) et des indicateurs morphologiques (Sp et D_{lim}) relevés aux mêmes périodes (tabl.2).

TABLEAU II
Relations statistiques entre l'infiltrabilité mesurée I ($mm h^{-1}$) et des critères morphologiques.

Sites	Critères Morphologiques	
	Sp (%)	D_{lim} (cm)
Palaiseau (P) 20 % d'argile	$I = 10,0 \exp(-0,029 Sp)$ $n = 11$ $r^2 = 0,78$	$I = 10,1 \exp(-1,20 D_{lim})$ $n = 11$ $r^2 = 0,89$
Montluel (M) 10 % d'argile	$I = 44,9 \exp(-0,019 Sp)$ $n = 12$ $r^2 = 0,78$	$I = 42,0 \exp(-0,64 D_{lim})$ $n = 12$ $r^2 = 0,90$

On peut constater que les coefficients r^2 sont très élevés surtout dans le cas de D_{lim} qui est, rappelons-le, relié non seulement à l'extension des plaques mais aussi à leur épaisseur.

Par ailleurs, on observe que pour un même état de surface (par exemple, 100 % de la surface occupée par une croûte structurale), l'infiltrabilité calculée est très inférieure dans le cas du sol limono-argileux P (0,6 mm/h) que dans celui du sol limoneux M (6,6 mm/h). Ce fait peut être rapproché des densités sèches de croûte (1,75 et 1,58 respectivement) liées aux différences texturales (FIES et STENGEL, 1981).

La baisse d'infiltrabilité enregistrée est donc suffisante dans des conditions fréquentes de sol et de climat

pour entraîner, dès le début de pluies d'intensité faible l'apparition d'excès d'eau superficiels. La répartition de ces excès d'eau entre flaques et ruissellement dépend outre la durée de la pluie et la pente générale du terrain, du modelé microtopographique local.

INFLUENCE DU SYSTÈME DE CULTURE

Le système de culture peut être défini comme l'ensemble constitué par la succession des cultures sur une parcelle et les techniques culturales qui leur sont appliquées.

Dans la conception classique de l'équation universelle de perte en terre, (WISCHMEIER, 1960, WISCHMEIER et

SMITH, 1965), l'influence du système de culture est exprimée par l'intermédiaire des facteurs K (« érodibilité » qui prend en compte notamment l'influence de la teneur en matière organique du sol et des principales discontinuités structurales au sein du profil) et C (« cropping management » dont les variations sont essentiellement déterminées par le calendrier de recouvrement du sol et le mode de gestion des résidus de récolte). Si l'on se réfère aux conditions particulières que nous nous sommes définies, on remarquera que l'application de l'équation universelle de perte en terre devient assez malaisée car elle prend en compte des caractéristiques du système de culture (comme d'ailleurs du sol et de la pluie) sans distinction explicite entre les processus et caractères qui influent respectivement sur la naissance du ruissellement, sur les modalités de sa concentration et sur l'érosivité des écoulements concentrés.

A partir de l'analyse présentée au paragraphe « processus local de formation du ruissellement », nous nous proposons donc d'examiner l'influence des différentes composantes du système de culture sur les processus de dégradation structurale et ses conséquences hydrologiques ; et ceci en nous appuyant principalement sur l'exemple de la grande culture pratiquée dans le nord-ouest de la France (BOIFFIN *et al.*, non publié).

Modification de l'état du sol par les techniques culturales

Toute opération culturale induit une modification, plus ou moins localisée, voulue ou non, de l'état structural du sol. Vis-à-vis du fonctionnement de l'impluvium, les conséquences se ramènent aux éventualités suivantes :

ACCROISSEMENT INSTANTANÉ DE L'INFILTRABILITÉ PAR AMEUBLISSEMENT SUPERFICIEL. Les techniques concernées sont principalement celles du travail du sol visant à l'implantation des cultures (labour, façons superficielles), mais aussi celles décidées en fonction de la lutte contre les adventices (déchaumages, binages, nouveau labour).

Compte tenu des calculs d'ordre de grandeur précédemment effectués, l'effet de compactage éventuel à la base du lit de semence engendré par un nombre excessif de façons superficielles nous paraît moins déterminant vis-à-vis de l'infiltrabilité que vis-à-vis des risques d'entraînement de la couche susjacente par le ruissellement lui-même.

DIMINUTION BRUTALE DE L'INFILTRABILITÉ lors des passages de roues dont les empreintes restent en surface. La gravité des conséquences de ces passages dépend de la proportion des surfaces affectées, des conditions

hydriques dans lesquelles elles s'effectuent et des pressions et charges mises en jeu. Les principales opérations en cause sont celles effectuées après la dernière opération de travail du sol précédant l'implantation, c'est-à-dire :

- les semis par eux-mêmes, sauf si un outil de travail du sol est attelé entre le tracteur et le semoir ce qui est une solution de plus en plus fréquente pour les semis en ligne à forte densité (céréales, colza, lin, ...). Dans les autres cas, les proportions de surface affectées dépendent de la largeur du semoir ainsi que des caractéristiques et des voies relatives du tracteur et du semoir ;
- les traitements phytosanitaires et la fertilisation appliqués en couverture après le semis ;
- les chantiers de récolte parmi lesquels les plus agressifs sont ceux effectués à l'automne (betterave, pomme de terre, maïs-ensilage) en raison des surfaces affectées, du poids des matériels et de l'humidité du sol ;
- les épandages d'amendements organiques (fumiers, lisiers, boues...) qui interviennent entre deux cultures et sont également très dégradants sauf si le sol est gelé.

INTERFÉRENCE DÉFAVORABLE (accélération) OU FAVORABLE (ralentissement) AVEC LA DÉGRADATION SUPERFICIELLE DUE AUX PLUIES. L'accélération est principalement le fait d'un affinement trop poussé de l'état de surface lors de l'ameublissement ou du passage d'un rouleau qui réduit en outre la rugosité et donc la détention en surface de l'excès d'eau (BURWEIL & LARSON, 1969). Le ralentissement peut être obtenu, notamment, par le maintien d'une couverture de résidus organiques en surface (semis direct, déchaumage très superficiel).

ACTION SUR LES MODALITÉS DE CONCENTRATION DU RUISSÈLEMENT. De nombreux auteurs (par ex : LAFLÉN & COLVIN, 1981) ont montré que le maintien des résidus en surface pendant les périodes d'intercultures, ou le couvert végétal lui-même, contribuent à diviser, ralentir et étaler les écoulements. C'est un des effets bénéfiques du non-labour vis-à-vis de l'érosion.

INFLUENCE SUR LA SENSIBILITÉ DU TERRAIN AU RUISSÈLEMENT CONCENTRÉ. Celle-ci est beaucoup plus élevée pour un terrain ameubli surtout si cet ameublissement est superficiel et repose sur une couche compacte. Ainsi, le rôle des techniques de travail du sol (binage par exemple) peut être apprécié de façon très différente selon que l'on se situe en amont ou au niveau des zones de concentration du ruissellement.

Action sur la couverture du sol et sur la vitesse de recouvrement par la culture

Chaque culture se caractérise — et se distingue des autres — par le calendrier d'occupation et de recouvre-

ment du sol et, donc, de protection vis-à-vis des impacts de gouttes de pluie. En outre, la vitesse de recouvrement du sol par le couvert végétal est, pour une culture donnée, principalement contrôlée par :

- la date de semis et le régime thermique qui en résulte ; le retard des dates de semis est de ce point de vue un facteur d'accélération au printemps et de ralentissement à l'automne ;
- la densité de semis qui a tendance à fortement augmenter pour les céréales ces dernières années.

La fertilisation et le choix de la variété peuvent également jouer un rôle (GUMBS & LINDSAY, 1982).

En fait, le problème est de savoir si la couverture du sol joue, dans les conditions que nous nous sommes fixées, un rôle aussi important qu'il est admis classiquement. BOLLINE (1982) a montré que l'ajustement des périodes de recouvrement du sol et des pluies d'orages de juin rendait compte, dans des conditions de climat océanique et de sol limoneux, de quantités de « splash » annuelles beaucoup plus importantes sous betteraves que sous céréales d'hiver. Mais dans les conditions où c'est la genèse du ruissellement qui est le problème clé, on est amené à relativiser l'effet bénéfique de la couverture du sol.

Lorsque l'infiltrabilité du sol est devenue très faible un recouvrement de 100 % ne peut empêcher la formation d'un excès d'eau superficiel même s'il contribue à le réduire en stockant et canalisant une partie de la

pluie vers le lieu d'infiltration privilégiée qu'est le collet (De PLOEY, 1982). Il est vrai qu'un couvert végétal qui s'établit très rapidement après le semis peut effectivement protéger la surface du sol de la dégradation, mais cette situation est probablement assez rare, compte tenu des vitesses de déroulement des phases de croûtes observées et des vitesses d'établissement des couverts végétaux les plus courants ; toutefois, le colza à l'automne et le lin au printemps peuvent jouer ce rôle protecteur.

Calendrier cultural et chronologie des événements érosifs

Outre son calendrier d'occupation des sols, chaque culture se distingue des autres, avec une certaine variabilité selon les agriculteurs et les parcelles, par la nature et la répartition dans le temps des opérations culturales. De la succession des cultures sur une même parcelle et des modalités de gestion des intercultures (lutte contre les adventices, gestion des résidus, maintien ou non de surfaces portantes pour les épandages d'engrais et amendements) résulte ainsi l'évolution chronologique de l'infiltrabilité. Cette évolution hydrologique comporte :

- des variations instantanées dans un sens ou l'autre liées aux opérations culturales ;
- des phases de décroissances progressives liées à la dégradation structurale due aux pluies, les plus longues étant celles qui démarrent au semis puisque sauf

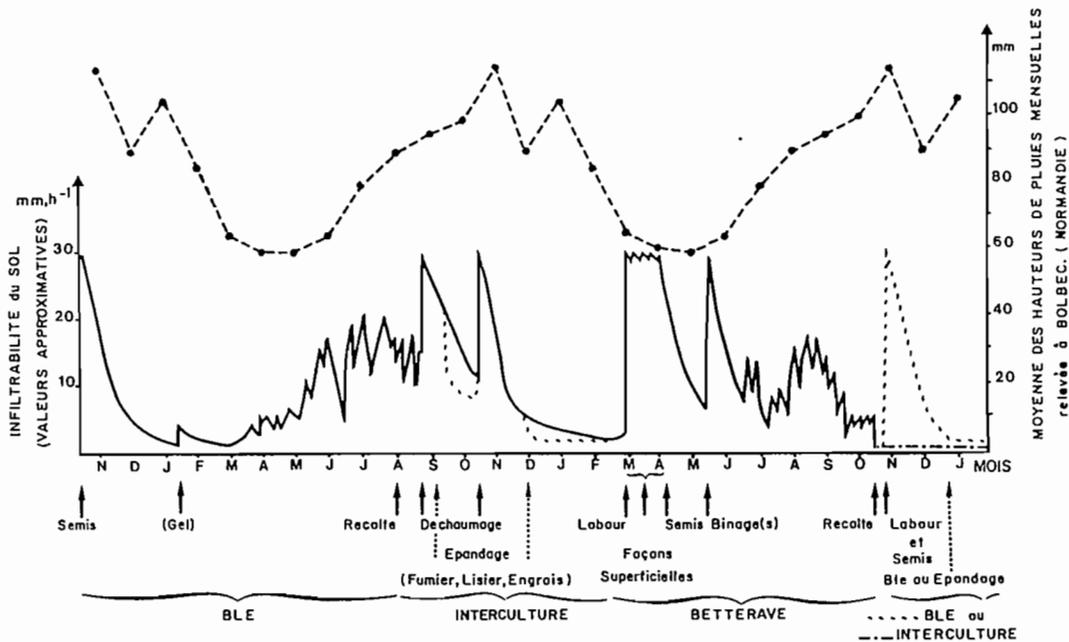


Fig.2. — Allure de variation de l'infiltrabilité et des hauteurs de pluies au cours de 2 cycles culturaux dans le nord-ouest de la France. (Sol limoneux, succession blé-betterave.)

exception (betterave, pomme de terre) il n'y a plus d'opération de travail du sol jusqu'après la récolte ; — des phases de réaугmentation provoquées par la dessiccation du profil sous l'effet de l'évapotranspiration.

L'ensemble de cette évolution doit être confrontée à la répartition chronologique des pluies. A partir d'ordres de grandeur connus, nous avons représenté sur le schéma de la figure 2, deux cas fictifs mais vraisemblables correspondant à deux successions culturales couramment rencontrées dans la Somme et le Pays de Caux. Cette représentation fait apparaître entre autres : (a) les dangers liés au maintien prolongé de croûtes sédimentaires sous céréales d'hiver et ce, alors même que le sol est couvert ; (b) l'importance déterminante de la position chronologique des opérations de travail du sol pendant les intercultures ; en sols limoneux, les labours sont généralement tardifs du fait de l'instabilité structurale ce qui donne une grande importance aux techniques de déchaumage.

En définitive, on serait tenté de caractériser globalement les risques à court terme liés à un système de culture sous un climat donné par la proportion probable de pluies qui tombent sur des terrains présentant une structure continue dès la surface du sol.

Conséquences à moyen et long terme du système de culture sur les propriétés du sol

Les processus de dégradation structurale superficielle par la pluie ou par des actions mécaniques dépendent d'une part des conditions dans lesquelles le matériau exposé est soumis à l'action de l'eau (contexte climatique et cultural) d'autre part de propriétés intrinsèques d'ordre mécanique ou structural du matériau.

Ces dernières découlent de la constitution minérale (granulométrie-minéralogie) ionique du sol, mais aussi de son statut organique : stock total et répartition des teneurs dans le profil, nature des constituants et localisation par rapport aux systèmes minéraux organisés, situation du stock et de ses différents compartiments sur une cinétique d'évolution à court, moyen et long terme.

De nombreux travaux ont montré l'influence du système de culture sur ce statut et l'on a pu en déduire à l'aide de relations généralement empiriques les répercussions sur certaines des propriétés intrinsèques citées et notamment sur la stabilité structurale.

C'est ainsi qu'il a été montré d'une façon très générale et quelle que soit la méthode d'évaluation de la stabilité structurale utilisée que cette dernière augmentait, pour un matériau donné, avec la teneur en matière organique. Par ailleurs, des études moins nombreuses mais plus spécifiques ont mis en évidence le rôle particulier et les mécanismes d'action de tel ou tel groupe

de constituants ou compartiments d'évolution ainsi que les interactions existant avec la constitution minérale (teneur en argile principalement).

Les valeurs de teneur en matières organiques et d'indicateurs spécifiques de stabilité structurale sur des séries chronologiques suivant la mise en culture annuelle de parcelles après retournement de prairies permanentes illustrent l'évolution que l'on peut attendre d'un tel changement de système de culture (BOIFFIN et FLEURY, 1974). Par ailleurs, la simulation à l'aide du modèle de HENIN et DUPUIS (1945) de l'évolution des teneurs en matières organiques dans les systèmes de cultures fourragères (GUÉRIF et MONNIER, 1982) ou en fonction du type de travail du sol et du mode d'utilisation des résidus de récolte en rotations céréalières (MONNIER *et al.*, 1981) précise l'influence relative de différentes composantes du système de culture.

Les conséquences sur la stabilité, clairement établies au niveau des tests de laboratoire (MONNIER, 1965 ; MONNIER et STENGEL, 1982) doivent être nuancées au niveau des comportements structuraux observables in situ (BOIFFIN et MONNIER, 1982) dans lesquels interfèrent, nous l'avons indiqué plus haut, les modalités d'exposition du sol à la pluie.

Dans les faits, l'influence des matières organiques n'apparaît vraiment spectaculaire au niveau du comportement « in situ » que lorsque sont réunies les conditions de teneur, de localisation, de nature et d'histoire hydrique conduisant à une efficacité physique maximale de ces constituants. C'est souvent le cas après un antécédent prairial. Par contre, dans la gamme de variation des teneurs à l'équilibre au sein de laquelle s'établit la marge d'action réelle des agriculteurs pratiquant des systèmes de grandes cultures, on peut douter que des effets sensibles de protection puissent être atteints ; la prudence oblige à poursuivre les investigations.

CONCLUSION

Au début de cette note, nous avons souligné les particularités des problèmes d'érosion hydrique qui se posent dans un contexte géomorphologique, climatique et pédologique très répandu dans le nord-ouest de l'Europe. Nous nous sommes ensuite délibérément situés dans une perspective schématique (et sans doute exagérée) où le système de culture intervient surtout sur l'origine et la formation du ruissellement, la concentration et l'effet érosif de celui-ci étant principalement déterminés par une conjonction de caractéristiques héritées du parcellaire et de la géomorphologie.

Dans ce cadre, de nombreux éléments du système de culture peuvent influencer sur la dégradation structurale préalable.

De leur examen, il ressort que, dans une large mesure, les risques et leur répartition dans le temps sont liés à des décisions d'ordre stratégique vis-à-vis desquelles la marge de manœuvre de l'agriculteur est faible : choix des cultures, organisation du calendrier cultural. Des actions sont cependant possibles et, le plus souvent, il y a coïncidence entre les objectifs agronomiques et ceux qui concernent la protection du sol.

On doit, par ailleurs, souligner qu'en l'état actuel des moyens d'analyse et de prévision, il est difficile de transposer à ces situations tout l'arsenal des références accumulées dans des zones à érosion plus massive.

Il s'agit là d'un champ d'étude, en partie au moins, spécifique qui nous semble devoir être abordé en collaboration étroite entre des équipes de géomorphologie, de pédologie, de physique du sol et d'agronomie.

BIBLIOGRAPHIE

- BOIFFIN (J.), 1984. — La dégradation structurale des couches superficielles des sols sous l'action des pluies. Thèse Docteur Ingénieur, Paris INA-P.G., 320 p. + annexes.
- BOIFFIN (J.), 1985. — Stages and time dependency of soil crusting in situ. Intern. Symp. on the assessment of soil surface sealing and crusting, Gand, Belgique (sous presse).
- BOIFFIN (J.) et FLEURY (A.), 1974. — Quelques conséquences agronomiques du retournement des prairies permanentes. *Ann. agron.* 25(4) : 555-573.
- BOIFFIN (J.) et MONNIER (G.), 1982. — Etats, propriétés, comportements des sols : Recherche et utilisation de critères de fertilité physique. *Bull. Tech. Inf.* (370-372) : 401-407.
- BOIFFIN (J.) et MONNIER (G.), 1985. — Infiltration rate as affected by soil surface crusting caused by rainfall. Intern. Symp. on the assessment of soil surface sealing and crusting, Gand, Belgique, (sous presse).
- BOIFFIN (J.), PAPY (F.), PEYRE (Y.), 1986. — Système de production, système de culture et risques d'érosion en Pays de Caux. (en préparation).
- BOLLINNE (A.), 1982. — Etude et prévision de l'érosion des sols limoneux en moyenne Belgique. Thèse de Sciences Géographiques, Université de Liège, 356 p. + annexes.
- BURWELL (R.E.) et LARSON (W.E.), 1969. — Infiltration as influenced by tillage induced random roughness and pore space. *Soil Sc. Soc. of America Proceedings* (33) : 449-452.
- DE PLOEY (J.), 1982. — A stemflow equation for grasses and similar vegetation. *Catena* (9) : 139-152.
- FIES (J.C.), STENGEL (P.), 1981. — Densité texturale des sols naturels ; éléments d'interprétation. *Agronomie*, 1 (8) : 659-666.
- GUÉRIF (J.) et MONNIER (G.), 1982. — Evolution de la fertilité physique des sols dans les systèmes de culture fourragers de l'ouest de la France. C.R. Forum Fourrage de l'Ouest, Paris, I.T.C.F. : 113-129.
- GUMBS (F.A.) et LINDSAY (J.I.), 1982. — Runoff and soil loss in Trinidad under different crop and soil management. *Soil Sc. Soc. of Am. Journal* (46) : 1264-1266.
- HENIN (S.) et DUPUIS (M.), 1945. — Essai de bilan de la Matière organique du sol. *Ann. agron.* 15, p.17.
- HENIN (S.) et MONNIER (G.), 1956. — Evaluation de la stabilité structurale des sols. C.R. VI Congrès AISS, Vol.B, 49-52, Paris.
- LAFLEN (J.M.) et COLVIN (T.S.), 1981. — Effect of crop residues on soil loss from continuous row cropping. *Trans. of the ASAE* 24(3) : 605-609.
- MONNIER (G.), 1965. — Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Thèse Docteur Ingénieur, Fac. Sc. Université de Paris.
- MONNIER (G.), STENGEL (P.) et GUÉRIF (J.), 1981. — Recherche de critères de la fertilité physique du sol et de son évolution en fonction du système de culture. C.R. Coll. Agrimed CEE « Evolution du niveau de fertilité des sols », Bari 28-29/09/81.
- MONNIER (G.) et STENGEL (P.), 1982. — La composition granulométrique des sols : un moyen de prévoir leur fertilité. *Bull. Techn. d'Inf.* (FRA). (370-372) : 503-512.
- PINGUET (A.), 1985. — Aperçu sur la pluviométrie en Pays de Caux. Doct. interne, Bioclimatologie, INRA Avignon.
- Soil erosion, 1982. — Proceeding of the Workshop on soil erosion and conservation in EEC countries, Florence, Italy, 19-21/10/1982.
- WISCHMEIER (W.H.), 1960. — Cropping management factors evaluation for a USLE. *Soil Sc. Soc. of Amer. Proceedings* (24) : 322-326.
- WISCHMEIER (W.H.) et SMITH (D.D.), 1965. — Predicting rainfall erosion losses from cropland east of Rocky Mountains. *Agricultural Handbook* n° 282, USDA.

Ablation hydrique en vignoble en conditions d'érosivité chronique et exceptionnelle : mécanismes et coûts comparés

Exemple du vignoble de Sigolsheim et Kientzheim, Haut-Rhin, France

H. VOGT (1), G. LEVY (1), H. METTAUER (2)

(1) Institut de Géographie, 3, rue de l'Argonne 67083 Strasbourg Cedex France — (2) Station Agronomique I.N.R.A., 18, rue de Herrlisheim 68020 Colmar Cedex France

RÉSUMÉ

La comparaison sur un même terrain de facteurs explicatifs de l'érosion chronique d'une part (1976) et d'un événement exceptionnel (1984) dont le temps de retour est de 20 ans a montré que, dans le premier cas, ce sont les facteurs opérant à l'échelle de la parcelle (type de sol, pente, mode de travail du sol) qui sont déterminants ; dans le deuxième cas, par contre, c'est l'aménagement général du vignoble, à l'échelle du versant ou du bassin-versant élémentaire, qui explique la répartition spatiale de l'ablation. Le coût de l'érosion chronique, pour une période de 20 ans comme pour une période de 4 ans, temps de retour d'événements ressentis comme étant catastrophiques, est nettement plus élevé pour l'exploitant que celui de l'érosion exceptionnelle.

MOTS-CLÉS : Erosion hydrique des sols — Vignoble — Erosion chronique — Erosion catastrophique — Variabilité spatiale de l'érosion — Coût de l'érosion — Alsace.

ABSTRACT

HYDRIC EROSION IN WINEYARDS IN CONDITIONS OF CURRENT AND EXCEPTIONAL EROSION : COMPARISON OF PROCESSES AND COST. THE EXAMPLE OF THE WINEYARDS OF SIGOLSHEIM AND KIENTZHEIM, ALSACE, FRANCE

In comparing on the same field current erosion (1976) and an exceptional event (1984) of a return period of 20 years, the following results came out : 1) in explaining the spatial variations of erosion, in the first case, factors at the scale of the patch of vineyard (soil type, slope, type of tillage) are working ; in the second case, instead, the general management of the vineyard, at the scale of the slope or of the elementary watershed, are the most important ones. 2) The cost of current erosion, for 20 years as well as for a 4 years period, which is the return period of events felt to be catastrophic, is clearly higher for the wine-grower than that of exceptional erosion events.

KEY WORDS : Hydric soil erosion — Vineyard — Current erosion — Catastrophic erosion — Spatial variability of erosion — Cost of erosion — Alsace.

Depuis une décennie, les manifestations d'érosion ont singulièrement augmenté dans le vignoble alsacien et elles présentent de gros inconvénients du point de vue conservation des sols, coûts de production et pollution des eaux.

L'étude de l'érosion hydrique des vignobles de Sigolsheim et de Kientzheim a été abordée à deux reprises : en 1976, dans le cadre d'une étude plus générale sur ce phénomène dans le vignoble alsacien (HOEBLICH

et SCHWING, 1977), et en 1984, à la suite d'une averse orageuse de forte intensité survenue le 8 août (LEVY, 1985).

1. LE CADRE

Les vignobles de Kientzheim et de Sigolsheim se situent dans les collines sous-vosgiennes, sur le rebord sud-occidental du Fossé Rhénan, au nord-ouest de Colmar, et au nord du cône alluvial wurmien formé par la Weiss à la sortie des Vosges. Ils occupent la limite méridionale du champ de fractures de Ribeauvillé en s'étendant sur le versant sud de l'échine formée par le Mont de Sigolsheim (400 m) et, à l'est de celle-ci, par la colline supportant la nécropole de Sigolsheim (365 m) ; ce versant se raccorde à la vallée de la Weiss (230-204 m d'amont en aval). La pente moyenne est de 10° au droit de Kientzheim et de 17° au droit de Sigolsheim. Le vignoble de Kientzheim s'étend en outre, au-delà d'un ensellement à l'est de l'échine décrite, sur la partie inférieure de l'escarpement de faille externe du Fossé Rhénan.

Cet escarpement est granitique. La partie du vignoble située dans le champ de fractures est constituée d'un complexe de roches calcaires et marneuses, allant du Muschelkalk moyen au Bajocien pour la colline de Sigolsheim, elle-même recouverte en discordance par le conglomérat fluvio-marin du Lattorfien. Quant au Mont de Sigolsheim et à la colline 365 ils sont constitués par le conglomérat fluvio-marin du Lattorfien qui se caractérise par une matrice argilo-limoneuse et des galets en majorité calcaires.

Si les formations superficielles sont constituées à l'est, sur l'escarpement de faille, par une terre sableuse issue d'arènes granitiques, on rencontre à l'ouest des dépôts de pente carbonatés, à dominante limono-argilo-sableuse en surface et argilo-limono-sableuse au-dessous de 20 cm de profondeur. La texture est donc dans le détail très variable d'une parcelle à l'autre.

Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 600 mm.

2. LES MÉCANISMES

2.1. L'érosion chronique (pluies ne dépassant pas 20 mm/jour)

Le programme effectué en 1976 s'est attaché essentiellement à la connaissance de la variabilité spatiale de l'érosion chronique et de sa corrélation avec les facteurs explicatifs, à l'échelle de l'Alsace.

2.1.1. LES MÉTHODES

On a procédé en deux temps :

1° *Recherche de corrélation entre l'érosion et les facteurs naturels* : pente et sols (au sens agronomique du terme), (HOEBLICH et SCHWING, 1977 ; VOGT, SCHWING *et al.*, 1980 ; SCHWING et VOGT, 1980 ; SCHWING, 1978c). Dans le vignoble d'Alsace entre Andlau au nord et Guebwiller au sud on a choisi 30 secteurs représentatifs, dont celui de Sigolsheim et Kientzheim. Y ont été cartographiés au 1/10 000 tant les facteurs explicatifs (pente et sols) que le facteur à expliquer : le type d'érosion. Les deux séries de facteurs ont été confrontées par analyse factorielle.

Si la cartographie des facteurs explicatifs ne pose pas de problème majeur mis à part le choix des classes, celle des types d'érosion est plus délicate à mener. 17 types ont été distingués et ordonnés en fonction de l'érosion croissante qu'ils représentent, sur la base de données bibliographiques et de caractérisation et d'estimations sur le terrain. Par classification numérique ils ont été regroupés en 8 variables. Les problèmes sont liés aux difficultés suivantes :

- la diversité des techniques de travail du sol : travail et non-travail du sol étaient il y a 10 ans à peu près également répartis, la technique de l'enherbement, exceptionnelle. Or ce dernier facteur est dominant par rapport aux facteurs naturels ;
- les relevés de terrain se sont étendus sur 9 mois, donc dans des conditions variées d'érosivité.

La technique du lever a dû être adaptée à ces limitations. Pour chaque unité de terrain caractérisée par une combinaison donnée de classe de pente et de classe de sol on dispose d'un certain nombre de parcelles d'exploitation réparties de manière aléatoire, 950 au total. Ainsi les deux types principaux de travail du sol sont représentés proportionnellement. On a noté, sur chaque parcelle, les divers types d'érosion rencontrés et on en a calculé la fréquence par unité de terrain. Ainsi, les types de 1^{er} et de 2^e ordre de fréquence ont été cartographiés de même que le type d'érosion le plus intense rencontré. C'est le résultat de ce travail qui est confronté aux variables explicatives, en fonction de leur répartition spatiale.

2° *Analyses des rapports entre l'érosion et le type de travail du sol* : il a été appréhendé de manière expérimentale (MESSER, 1978c), par enquête (SCHWING, 1978a), et par analyse factorielle (METTAUER, SABA EL-GHOSSAIN et VOGT, 1979 ; SABA EL-GHOSSAIN, 1977), sur une base plus locale.

2.1.2. LES RÉSULTATS

L'érosion chronique, c'est-à-dire celle qui se produit pour des pluies de 10-20 mm/h, provoque des pertes

en sol variant entre 70 et 400 kg/ha/an. Sa variabilité spatiale est fonction des caractères de la parcelle d'exploitation :

1° *Le type de travail du sol* : les parcelles non labourées avec désherbage chimique sont nettement plus sensibles à l'érosion que les parcelles labourées, particulièrement en été, la différence pouvant atteindre un rapport de 1 à 3. En hiver, celle-ci est nettement moins

dre et parfois inversée, mais le bilan annuel est au détriment des parcelles non labourées, les pluies d'été étant beaucoup plus érosives. Que l'enherbement soit particulièrement protecteur n'est pas pour étonner (MESSER, 1978c).

2° *Pente et type de sol* : ces caractères se combinent de manière variable pour faire apparaître la hiérarchie suivante :

TABLEAU I

Formations superficielles	Issues de Schistes et de Gneiss	Limo-argileuses	Issues de Granites	Sablo-gréseuses
Classes de pentes				
0 - 5°	1	1	1	3
5 - 10°	3	1	3	4
10 - 15°	3	2	4	5
15 - 20°	3	3	5	5
20 - 25°	3	5	6	7
25 - 30°	4	6	7	7

Erosion : 1 Faible - 2 Faible à Moyenne - 3 Moyenne - 4 Moyenne à Importante
5 Importante - 6 Importante à Très Importante - 7 Très Importante.

Le tableau I met bien en évidence que la croissance de l'intensité de l'érosion ne varie pas linéairement avec la pente, comme les équations de perte en sol le laissent supposer, mais qu'il existe des seuils variables selon le type de sol.

2.2. L'érosion exceptionnelle (LEVY, 1985)

2.2.1. L'ÉVÈNEMENT

Le 8 août 1984 ont été recueillis 110 mm en 2h30 au pluviomètre situé dans la localité de Sigolsheim, soit une intensité moyenne de 44 mm/h. Le tracé des isohyètes suggère que l'abondance a été plus importante dans le vignoble ; on peut l'estimer à 120-150 mm en 2h30, soit 50-60 mm/h. L'enquête sur le déroulement de l'orage permet d'estimer que l'intensité horaire était de l'ordre de 60 mm/h. La méthode de retour, calculée selon la méthode de Selby, d'un orage de ce type est de 21-22 ans, calculé sur la base des précipitations journalières (MESSER, 1978b).

2.2.2. LES MÉTHODES

L'approche a été similaire et il a été procédé par questionnaire (rendement 54 %) et par cartographie. Sur l'ensemble des parcelles d'exploitation ont été relevés sur le terrain les traces de l'érosion et le sens de

l'écoulement des eaux pluviales ; le résultat a été confronté ensuite à la cartographie de 1976.

2.2.3. LES RÉSULTATS

Aucune corrélation significative n'a été trouvée entre l'importance de l'érosion de 1984 et celle de 1976 ; aucune corrélation non plus, pour 1984, avec les caractères des parcelles d'exploitation, qu'il s'agisse des modalités de travail du sol ou des facteurs naturels : pente et type de sol. Par contre, c'est le mode d'organisation du vignoble qui s'est avéré déterminant pour la distribution spatiale de l'érosion, dans la mesure où les aménagements sont facteurs de concentration de l'eau, mais non conçus pour son évacuation : murs et murettes jouant le rôle de barrages et de déversoirs, réseau de chemins formant collecteur mais inaptes à l'évacuation d'un volume d'eau suffisant, chemins non ou mal profilés et non séparés des parcelles par un talus, solutions de captage partiel, désableurs trop petits. Si les résultats de l'enquête indiquent une érosion plus intense sur les parcelles longues, le relevé sur le terrain ne confirme que partiellement ce résultat. Ce facteur n'intervient qu'en l'absence de concentration initiale de l'eau du fait d'aménagements inadaptés, en amont de la parcelle. L'effet semble sensible surtout pour les parcelles concaves, la diminution de pente vers l'aval

favorisant la concentration. Tout ceci ne veut pas dire que les facteurs type de travail, pente et sol n'interviennent pas, mais leurs effets propres sont masqués par ceux liés aux facteurs d'organisation du vignoble.

2.3. Conclusion

L'étude des mécanismes liés aux deux types d'érosion et des facteurs qui entrent en jeu montre que les mesures en matière de lutte anti-érosion ne sont pas les mêmes pour l'érosion chronique que pour l'érosion exceptionnelle. Dans le premier cas, il convient d'agir au niveau de la parcelle d'exploitation, en favorisant l'infiltration ou l'écoulement non chargé : dans le second, les mesures doivent être prises à l'échelle de l'ensemble d'un vignoble, au moins d'un versant : c'est surtout un problème d'hydraulique et d'aménagement.

3. COÛT COMPARÉ DE L'ÉROSION CHRONIQUE ET EXCEPTIONNELLE

On avait tendance à privilégier la lutte contre l'éro-

sion exceptionnelle, ressentie comme un phénomène catastrophique. Cette impression doit être vérifiée par l'estimation du coût des deux types d'érosion.

Le coût de l'érosion chronique a été estimé en 1976 et 1977, par recouplement d'enquêtes couvrant 90 communes et par la compilation de budgets d'exploitation. Il a été tenu compte du coût des recharges en terres, de la compensation d'engrais, du travail et des investissements (SCHWING, 1979). Le coût moyen estimé est de 3 500 F/ha/an en francs actualisés 1986.

Selon l'enquête, l'érosion exceptionnelle du 8 août 1984 est revenue à 15 000 F/ha à la charge de l'exploitant et à 70 000 F/ha si l'on ajoute ce qui est à la charge des collectivités publiques (LEVY, 1985). A titre de comparaison, un orage ayant affecté des vignobles au sud de Colmar : Westhalten, Orschwihr et Guebwiller en été 1976 a occasionné un coût variant, selon les endroits, de 20 000 à 35 000 F/ha en francs actualisés 1986 (HOEBLICH et SCHWING, 1977).

Par conséquent sur une période de 20 ans, qui est le temps de retour de l'orage de 1984, on a :

TABLEAU II

	Exploitant	Exploitant + Collectivités publiques
Erosion chronique	70 000 F/ha	70 000 F/ha
Erosion exceptionnelle (Période de retour de 20 ans)	15 000 F/ha	70 000 F/ha

On constate que l'érosion chronique est, à long terme, une charge beaucoup plus lourde pour l'exploitant que l'événement d'une période de retour de 20 ans.

Mais il est plus réaliste de tenir compte de l'ensemble des événements ressentis comme étant catastrophiques,

et dont la période de retour est de 4-5 ans à Sigolsheim d'après l'étude des archives (SCHWING, 1978), ce qui correspond à des pluies de l'ordre de 40 mm/h au moins.

On a alors :

TABLEAU III

	Exploitant	Exploitant + Collectivités publiques
Erosion chronique	20 000 F/ha	20 000 F/ha
Événement de période de retour de 5 ans	10 000 F/ha (estimation)	40 000 F/ha (estimation)

Il est donc erroné de négliger les conséquences de l'érosion chronique.

CONCLUSION

Erosions hydrique, chronique et exceptionnelle ré-

pondent à des mécanismes différents dans le vignoble d'Alsace. Une connaissance complète du phénomène nécessite d'aborder les deux aspects du problème. Si l'érosion exceptionnelle, ressentie, par l'exploitant, comme catastrophique, se caractérise dans le vignoble d'Alsace par une périodicité de retour variant entre

4 et 10 ans selon les endroits, on aurait tort, d'un point de vue économique, de ne porter les efforts de défense que sur elle ; la réparation des dommages causés par l'érosion chronique revient à l'exploitant au moins aussi cher que celle des dégâts attribuables à l'érosion exceptionnelle.

En outre, les techniques à mettre en œuvre ne sont pas les mêmes : dans le premier cas, il convient d'agir au niveau de la parcelle d'exploitation ; dans le second cas, au niveau du versant ou du bassin-versant élémentaire. Faute de mesures suivies sur une durée

suffisante dans des conditions de milieu et de type de travail du sol variées, on est très mal renseigné sur le volume de terres emportées lors des deux types d'événements.

Toutes ces considérations nous ont conduits à promouvoir en liaison avec la Délégation Régionale à l'Architecture et à l'Environnement d'Alsace et les deux Directions Départementales de l'Agriculture, la rédaction d'un document de synthèse en vue d'une éventuelle opération pilote de lutte contre l'érosion des sols cultivés en Alsace.

Histoire de la restauration des terrains en montagne au 19^e siècle

Charles LILIN

Ministère délégué chargé de l'environnement, Délégation à la qualité de la vie, 14, bd du Général Leclerc 92524 Neuilly-sur-Seine.

En collaboration avec l'équipe INRA de Rungis

R. LARRERE, A. BRUN, B. KALAORA, O. NOUGAREDE, D. POUPARDIN
INRA, Laboratoire de recherches économiques et sociales, 3, rue du Caducée, 94153 Rungis

RÉSUMÉ

Le faible intérêt donné par les aménageurs au contexte social sur lequel ils interviennent lors de projets de conservation des sols est l'un des facteurs limitant de leur efficacité. La croyance largement répandue dans la valeur universelle de démarches et de technologies qui ont fait leurs preuves dans une situation donnée est facilitée par l'ignorance sur les conditions sociales et politiques dans lesquelles ces outils ont été mis au point.

L'analyse de l'histoire de la R.T.M. au 19^e siècle met en évidence le rôle de l'évolution des contextes sociaux et politiques entre le second Empire et la III^e République et souligne la diversité des conceptions de l'aménagement chez les forestiers. Cette analyse illustre le concept de culture technique. La faiblesse de celle-ci dans la formation des aménageurs facilite les transferts non raisonnés d'outils mis au point dans les pays occidentaux. Ce risque de transfert abusif est illustré par l'exemple des actions actuelles de conservation des sols en Haïti.

MOTS-CLÉS : Conservation des sols — France 19^e siècle — Haïti.

ABSTRACT

ABOUT THE SOIL CONSERVATION IN THE MOUNTAIN AREAS IN THE XIXth CENTURY.

The lack of interest for the social conditions in which soil erosion occurs in developing countries is one of the reasons for the frequent failures of soil conservation projects.

The conviction about the universal value of conservation technics or of approaches for this kind of problems which proved successful in given circumstances is stronger when the knowledge about the society in which these « tools » have been produced is insufficient of, expressed in other words, when the technical culture of the engineer is missing.

To illustrate this concept of technical culture, we analyse the development of erosion control in the french mountain areas in the 19th century. The example of present soil conservation projects in Haïti shows the dangers of uncontrolled import of technics to developing countries.

KEY WORDS : Soil conservation — France XIXth century — Haïti.

INTRODUCTION

Les projets de conservations des sols mis en œuvre dans les pays en développement semblent assez souvent n'avoir eu qu'une efficacité limitée. Certes, la rareté des évaluations portant sur le résultat observé quelques années après la mise en œuvre du projet rend dans ce domaine toute généralisation hasardeuse. Mais les analyses que j'ai pu réaliser dans ce domaine en Iran (1972-1977) dans le Balouchistan pakistanais (1983) puis en Haïti (1985) confirment l'existence d'un problème dans des contextes pourtant très différents. Des travaux comme ceux de Jean-Yves MARCHAL sur la dynamique du Yatenga dans le nord du Burkina Faso vont dans le même sens : l'analyse de la dynamique de cet espace rural soudano-sahélien éclaire les raisons de l'échec d'une importante action de défense et restauration des sols (DRS) réalisée dans ce secteur ainsi que celles de la faible efficacité d'actions de modernisation de l'agriculture mises en œuvre dans les années 60 et 70.

Ces analyses critiques ont souvent débouché sur des propositions en particulier au niveau de la démarche mise en œuvre par l'aménageur.

Ainsi la démarche technocratique de l'aménageur est mise en cause, démarche opposée à une approche participative ou ascendante qui prend en compte le point de vue et la logique des agriculteurs concernés par le projet. L'aménageur est critiqué parce qu'il « parachute » des réponses techniques censées avoir une portée universelle, sans porter une attention suffisante aux spécificités du contexte local et aux aspects socio-politiques de la situation.

L'accent mis par l'aménageur sur les aspects techniques traités de façon relativement autonome conduit à des actions peu intégrées dans une stratégie globale de développement. Bref, un certain nombre de critiques reviennent avec une fréquence particulière : ce sont celles qui portent sur le caractère technocratique, décontextualisé, dépolitisé et sectoriel de la démarche.

Je ne m'attacherai pas ici à ce niveau de l'analyse, d'autant plus qu'il existe une littérature assez importante qui définit les caractéristiques de démarches plus satisfaisantes (éco-développement des années 70, recherche développement des années 80...).

Je propose un détour par rapport au cheminement qui, à partir de l'analyse des causes de l'échec d'un projet, conduit à préconiser une autre démarche pour l'aménageur. Je me propose d'analyser l'histoire de la restauration des terrains en montagne (R.T.M.) dans la France du 19^e siècle. En effet, j'ai été frappé par l'influence du modèle R.T.M. dans les projets de lutte contre l'érosion mis en œuvre dans les pays en développement, même si d'autres modèles jouent également un grand rôle (je pense en particulier aux modèles amé-

ricains). J'ai moi-même été familiarisé avec la R.T.M. lors de mon passage sur les bancs de l'Ecole Forestière à Nancy puis dans un service R.T.M. dans les Alpes.

J'ai retrouvé des pratiques s'inspirant de la R.T.M. en Iran, mes collègues de travail étant eux aussi passés par l'Ecole Forestière de Nancy. Et les responsabilités que j'ai eues dans cette même école à mon retour d'Iran m'ont fait toucher du doigt les difficultés d'enseigner la lutte contre l'érosion à des forestiers étrangers sans tomber dans le piège de la diffusion de tel ou tel modèle.

Or, la force du modèle de la R.T.M. provient de ce qu'il s'appuie sur une histoire mythique. Grâce au travail d'une équipe d'historiens et de sociologues de l'INRA, il est maintenant possible de situer « l'épopée » de la R.T.M. dans son contexte, de l'analyser plus finement et d'évaluer le rôle de divers facteurs qui expliquent le succès observé en matière de réduction de l'érosion en montagne depuis le 19^e siècle.

2. L'HISTOIRE DE LA R.T.M. AU 19^e SIÈCLE

2.1. La crise érosive du 19^e siècle : le second Empire et le reboisement des montagnes

Dans la première moitié du 19^e siècle, l'augmentation de la population rurale et la fin du « petit âge glaciaire » ayant marqué la fin du 17^e siècle et le 18^e entraînent une crise de la gestion du milieu dans les régions de montagne.

Les systèmes agraires concernés ont alors les caractéristiques suivantes :

- importance de la production de céréales pour l'autoconsommation ;
- élevage bovin réduit aux nécessités du trait ;
- élevage ovin ayant pour fonction essentielle, à côté de la production de viande, de lait et de laine, d'opérer des transferts de fertilité des surfaces peu productives non labourées vers les terres à céréales.

L'augmentation de la population nécessite d'étendre les labours et d'augmenter le troupeau. Il en résulte une crise érosive dans de nombreuses régions de montagne, crise se traduisant en particulier par le recul de la forêt.

La France avait connu d'autres crises érosives, la dernière étant celle qui avait sévi dans de nombreuses régions de plaine au 18^e siècle.

Mais ce qui distingue la crise du 19^e siècle des précédentes, c'est l'apparition d'un mouvement d'opinion qui conduit à une réponse élaborée au niveau national. Conduit par des forestiers mais concernant un public beaucoup plus large, ce mouvement souligne les méfaits du déboisement des montagnes : érosion, glissements, avalanches, inondations et sécheresse.

Sous le second Empire, une loi, celle du 18 juillet 1860 sur le reboisement en montagne, est l'aboutissement de la pression exercée en vue de la protection de la forêt. Cependant, cette loi doit être située dans le contexte socio-politique de cette période.

En effet, cette victoire ne saurait se comprendre sans référence aux transformations de la société civile et de l'Etat sous le second Empire. Ce fut une époque d'essor considérable du capitalisme français. Au dynamisme industriel et financier, à l'ouverture des frontières au libre-échange, devait correspondre un remodelage du territoire national. Le caractère autoritaire d'un régime qui avait éliminé toute opposition politique organisée et maté les révoltes paysannes de 1852 permit la réalisation de grands travaux d'infrastructure. Les villes furent remaniées, le réseau ferré généralisé, des régions entières furent assainies et reboisées (Landes de Gascogne, Sologne, Champagne).

La loi de 1860 permettait d'imposer en montagne la constitution de périmètres de reboisement définis d'après « l'état du sol et les dangers qui en résultent pour les terrains inférieurs ». Un décret suffisait à établir l'utilité publique des reboisements que l'administration jugeait nécessaires à une saine gestion écologique du territoire. Mis en demeure d'effectuer les travaux, les propriétaires pouvaient bénéficier de subventions. En cas de refus ou d'incapacité, les particuliers étaient expropriés sans indemnisation.

La loi de 1860 tendait ainsi à imposer une gestion étatique de l'espace montagnard. Les droits des propriétaires s'effaçaient assez largement devant l'intérêt collectif et, comme les ambitions de l'Etat étaient audacieuses, la loi constituait une menace considérable pesant sur une très grande partie de la propriété de montagne. Aussi fut-elle très mal accueillie des populations pastorales ; des résistances très vives, voire même des révoltes à main armée se produisirent. Il fallut réviser les objectifs en baisse, puis édicter une loi complémentaire (1864), permettant de substituer (dans certaines conditions) l'engazonnement aux plantations. Malgré ces concessions, les réalisations, pour spectaculaires qu'elles aient été, furent loin de répondre à la promesse des lois.

L'opposition des sociétés locales à l'œuvre forestière ne tint donc pas à cette hostilité du montagnard pour la forêt que l'on se plut alors à dénoncer. Elle tint à la cohérence des systèmes agraires. Les sociétés rurales, malgré de profondes inégalités sociales, étaient unifiées au niveau de chaque village par un ensemble de relations d'interdépendance et par de multiples pratiques collectives. Les montagnards étaient nombreux et, pour subvenir aux besoins de la population, tout le territoire était mis à contribution. Les terrains les plus pauvres ou les plus dégradés, les forêts, les roches même, trouvaient une utilisation locale, fournissant l'aliment

au bétail, la fumure aux labours, le bois et la pierre aux maisons. Il n'était pas aisé, sur de tels espaces, d'inscrire un nouveau mode d'occupation du sol, voire de réglementer les pratiques en vigueur. Les forestiers en avaient fait la dure expérience lors de la soumission des communaux. Ils la retrouvèrent en 1860 quand la loi leur confia pour mission de reboiser les montagnes.

La résistance fut d'autant plus vive qu'ils firent porter leurs efforts sur les communaux, estimant trouver en ceux-ci les landes et les parcours les plus dégradés. Or, ces terrains, en apparence marginaux, constituaient alors une pièce maîtresse dans l'édifice des systèmes agraires. Indispensables à la production agricole, ils fournissaient l'alimentation estivale du bétail et servaient, par son intermédiaire, de mines d'éléments fertilisants pour les terres labourées. Le communal, dont l'utilisation prolongeait tout en les atténuant les inégalités sociales du village, constituait, en outre, le symbole de l'unité villageoise. Modifier la mise en valeur de ces espaces (par la plantation de certaines parties, la mise en défense de secteurs abrupts, la réglementation du parcours...) perturbait fortement la reproduction des conditions de production comme l'organisation sociale des habitants.

On ne pouvait donc pas concevoir de reboiser sans contrainte. Mais, dans ces circonstances, l'application des lois ne put que susciter des réactions d'autant plus vives que les montagnards avaient accumulé depuis 1927 de solides rancunes contre les agents des Eaux et Forêts.

2.2. La troisième République et la R.T.M.

Après l'effondrement de l'Empire en 1871, la III^e République est instaurée.

Le contexte a évolué à deux points de vue :

- la III^e République est soumise à la sanction du suffrage universel et cherche à ménager l'électorat paysan. Les lois de 1860 et de 1864 sont inadaptées dans un tel contexte ;
- les systèmes agraires des régions de montagne ont commencé à se transformer et les sociétés locales ont perdu leur cohérence. La crise des systèmes agraires est liée au développement des échanges et à l'apparition de diverses formes de production marchande. La production céréalière régresse en montagne et la prairie permanente se substitue aux labours. L'espace extensif perd son importance en tant que source de fumure d'autant plus que l'élevage ovin régresse également.

Dans ce contexte, la poursuite de la croisade en faveur de la forêt conduit en 1882 à l'adoption d'une loi sur la restauration des terrains en montagne. Cette loi est beaucoup plus restrictive que celle de 1860 : la mission des forestiers est non plus de reboiser les montagnes, mais de restaurer les terrains de montagne là où

l'érosion est repérable, dans les cas de « dégradation du sol et de dangers nés et actuels ». La déclaration d'utilité publique des travaux dans un périmètre donné nécessite maintenant le vote d'une loi et l'expropriation des terrains est assortie d'une indemnisation préalable.

Face à ce nouveau contexte, la pratique forestière se diversifie.

L'opposition entre les forestiers sociologues et les forestiers étatistes a conduit à distinguer deux conceptions de l'aménagement.

Il s'agit, d'une part, de la conception centralisatrice, universaliste de la protection des zones de montagne dont les tenants cherchent à préserver l'espace-nature par le contrôle des populations montagnardes voire leur exclusion au moyen de la nationalisation du sol. Cette conception préfigure la politique de protection à des fins écologiques et scientifiques. Et, d'autre part, de la conception sociale défendue par une minorité de forestiers inspirée par l'école de Le Play et qui donnent un contenu économique et social à la protection : maintenir les populations sur leur sol et les amener à réaliser l'équilibre le meilleur entre leurs intérêts et les impératifs de gestion du sol. Cette optique décentralisatrice et locale pose les problèmes en termes de développement et de maîtrise du système agro-pastoral, et non en fonction d'une doctrine idéale et abstraite de la protection dont l'Etat serait le garant.

Dans la conception étatiste, l'administration forestière à laquelle est dévolue la tâche du reboisement (lois de 1860, 1864 et 1882), raisonne de manière abstraite et en termes de grands équilibres (plaine/montagne, zones agricoles/domaines boisés, etc...), s'appuyant sur une représentation spécifique de l'espace rural comme juxtaposition d'espaces spécialisés et ségrégués.

En ce qui concerne les forestiers sociologues, Lucien Albert FABRE peut être considéré comme le théoricien du rôle social du forestier dans les régions de montagne. Pour la plupart d'entre eux, après 1882, année de la seconde loi sur la restauration des terrains de montagne, ces forestiers s'efforcent de dépasser la contradiction entre une gestion rationnelle du domaine forestier et les intérêts des populations rurales concernées. Ils veulent prouver que ces deux objectifs sont complémentaires, que la conservation de la forêt passe par l'amélioration du sort des populations locales et plus particulièrement des montagnards. Ils critiquent les opérations autoritaires de reboisement qui ne font que renforcer le mouvement d'exode déjà amorcé par ces populations. A l'instar des proches continuateurs de Le Play, ces forestiers sociaux sont préoccupés par les questions de dépopulation et d'exode. L.A. FABRE consacre, par exemple, une partie de son œuvre à l'évasion des montagnards. Selon lui, il y a collusion entre la politique de l'Etat à la recherche de « bras » pour coloniser les

pays annexés par la France et les forestiers qui, dans leur action de reboisement, facilitent l'expropriation, donc la ruine et l'exode vers les colonies des populations « autochtones ».

Chiffres à l'appui, L.A. FABRE montre que les communes montagnardes furent de véritables réservoirs de population pour les colonies. Le forestier, selon lui, a une responsabilité directe dans la fuite de ces populations, puisque « partout où il passe, suivent les agents de la colonisation officielle qui organisent l'exode ». Pour remédier à cet état de choses, et surtout pour garder et maintenir les populations pastorales, il faut tout d'abord réduire les « vexations » qui, de toutes parts, leur sont infligées, puis se donner les moyens économiques et sociaux pour améliorer leur situation. Parallèlement, il faut agir sur le milieu, notamment en luttant contre la dégradation des pelouses.

L'œuvre de restauration des montagnes n'est donc plus seulement un problème de restauration des sols montagneux. Elle nécessite la mise en place d'une réforme agraire, d'un plan de développement (extension des fructières par exemple), d'une réforme sociale.

Les forestiers sociologues sont restés minoritaires au 19^e siècle : le développement local n'était pas une préoccupation politique prioritaire à une époque où des débouchés existaient pour les populations incitées à partir.

Il est plus surprenant de rencontrer des démarches de lutte contre l'érosion proches de celles mises en œuvre au 19^e siècle par les forestiers étatistes dans des contextes où l'exode rural pose de nombreux problèmes, comme c'est actuellement le cas dans la plupart des pays en développement. Le cas de Haïti permettra de souligner les problèmes liés à de tels transferts abusifs d'outils élaborés dans d'autres contextes.

3. L'EXEMPLE DE HAÏTI

3.1. Introduction

Comme dans d'assez nombreux pays en développement, on peut faire le double constat suivant en Haïti :

- * le patrimoine sol continue à se dégrader sous l'effet de processus d'érosion ;
- * l'évaluation des actions de conservation des sols entreprises est souvent négative. Les résultats obtenus sont en général insuffisants par rapport aux moyens engagés. Il y a un problème :

- 1° au niveau de l'entretien par les agriculteurs des aménagements réalisés : l'appropriation de ceux-ci par les paysans est déficiente ;
- 2° au niveau de la diffusion spontanée des aménagements. Les projets sont souvent supposés démontrer la validité technique et économique d'amé-

nagements (« bassins versants modèles ou pilotes », « zone de démonstration... »). La diffusion « en tache d'huile » des innovations introduites est rarement observée.

3.2. L'agriculture haïtienne

En Haïti, l'agriculture de montagne, localisée dans les mornes, surexploite une fraction importante des surfaces cultivées.

En première approche, cette surexploitation peut être mise en relation avec l'augmentation de la pression démographique d'un côté, la faiblesse des pratiques conservationnistes de l'autre. Sur les pentes fortes, la pratique d'une jachère longue (une dizaine d'années) permettait antérieurement de maintenir la fertilité des sols. L'augmentation de la pression démographique s'oppose maintenant au maintien de jachères longues.

Par ailleurs, nous trouvons en Haïti des pratiques traditionnelles de conservation et d'amélioration de la fertilité dans les champs arborés situés à proximité immédiate de la case et, à un moindre degré, dans les champs proches clôturés de haies vives. Mais ces pratiques ne concernent qu'une surface réduite.

Contrairement à ce que l'on observe dans la majorité des pays de montagne, la culture en terrasses est inconnue en Haïti. La faiblesse des structures sociales est probablement un facteur d'explication plus pertinent que les faits de culture. Les clayonnages disposés en travers des champs (« rampes de paille ») dans certaines régions et les billons sont d'une efficacité antiérosive limitée et ne conduisent pas à une atténuation progressive des pentes comme les terrasses.

Pour diverses raisons (importance de plusieurs formes d'indivision, spécificités du statut du métayage ou du fermage), la sécurité de la tenure foncière est souvent médiocre, en particulier pour les parcelles les plus éloignées de la case et qui sont souvent aussi les parcelles les plus érodées.

Cette insécurité va à l'encontre d'un intérêt de l'agriculteur pour le maintien de la fertilité à moyen ou à long terme.

La surexploitation des ressources ligneuses est en relation avec le développement du marché du charbon de bois et avec les déficiences de la mise en œuvre de la législation forestière. La culture d'arbres pour la production de bois n'est pas entrée dans les mœurs.

Or en Haïti, le contexte naturel est favorable aux phénomènes érosifs : pentes souvent fortes (il est courant de voir des pentes supérieures à 100 % mises en culture) et climat tropical agressif. Même pour un observateur peu averti, les signes d'une érosion intense sont omniprésents dans les paysages des mornes : traces visi-

bles de l'érosion superficielle dans les zones cultivées, importance des terres complètement dégradées (les « té finis »), réseaux de ravines en plein développement.

3.3. Les projets de conservation des sols

Dans la plupart des actions, la conservation des sols est traitée comme un problème technique plus que comme un problème de développement. L'accent est mis sur la réalisation d'aménagements physiques : canaux en courbes de niveau, terrasses, murs en pierres sèches, seuils dans les ravines.

L'entretien par les agriculteurs de tels ouvrages financés avec des aides internationales est exceptionnel de même que leur diffusion spontanée : de ce fait, la mise en place d'actions de sensibilisation du milieu paysan est destinée à surmonter les obstacles rencontrés.

Ces actions sont la conséquence d'analyses de l'échec des projets qui mettent l'accent sur les résistances des agriculteurs. Elles dénoncent, parfois avec véhémence, un certain nombre de propriétés imputées au paysan haïtien :

- l'ignorance liée à l'analphabétisme, qui empêche les paysans de discerner leurs véritables intérêts ;
- le respect de traditions dépassées, ce qui conduit au refus des changements nécessaires ;
- l'égoïsme et l'individualisme qui se traduisent par le refus de prendre en compte l'intérêt collectif comme l'intérêt à long terme.

Une connaissance effective du milieu paysan haïtien permet de contredire sur plusieurs points cette analyse et de la nuancer pour d'autres aspects. Mais ces opinions sont assez largement répandues et constituent l'un des éléments du procès fait aux agriculteurs haïtiens afin de leur imputer la responsabilité des échecs et de faire l'économie d'autres remises en question. Or, ce sont précisément ces autres remises en question que nous allons examiner maintenant. Cela dit, des actions de sensibilisation et de formation orientées vers le paysan haïtien sont nécessaires. Ce qui nous semble discutable, c'est la priorité donnée à de telles actions par rapport à une réflexion critique sur les actions de conservation des sols.

Or, une telle réflexion critique existe en Haïti. Nous en trouvons des éléments dans divers rapports d'experts. Je cite en particulier l'évaluation de 25 ans de lutte contre l'érosion en Haïti établie en 1979 par Gerald F. MURRAY pour l'U.S.A.I.D.

Les projets relevant de la Recherche-Développement contiennent souvent des analyses critiques intéressantes portant sur les actions de conservation des sols. De même, les responsables d'O.N.G. (1) impliqués dans

(1) Organisation Non Gouvernementale.

de telles actions développent également des points de vue pertinents.

Il est possible de définir les nouvelles orientations des projets pour lesquelles existe dès à présent un consensus relativement large et qui sont déjà mises en œuvre dans certains projets innovants.

3.4. Les projets innovants

De façon très synthétique, on peut dire que les projets innovants prennent en compte deux nécessités, deux conditions qui semblent des facteurs importants de leur succès :

- la nécessité de composer avec les sociétés locales ;
- celle de composer avec le milieu naturel.

Qu'est-ce à dire ?

(a) Composer avec les sociétés locales, cela consiste en particulier à passer de projets conçus dans une logique de l'équipement ou de l'aménagement d'un espace à une logique de développement centrée, certes, sur les aspects techniques (la conservation des sols), mais dans une perspective d'amélioration de la productivité des systèmes de production concernés.

Dans une logique d'équipement, le problème principal est la définition technique des ouvrages par l'ingénieur. Un projet conçu dans cette logique s'appuie certes sur le comportement économique des paysans : il exploite leur motivation pour une rémunération immédiate de leur travail sous forme de salaire ou de rations de vivres. Dans ce cas, le paysan n'est pas absent du projet, mais il participe peu à sa conception. Il a surtout un statut de salarié. Par ailleurs il est la cible d'actions pédagogiques destinées à le sensibiliser et à le convaincre du bien-fondé du projet et de la nécessité d'entretenir les ouvrages.

Dans une logique de « développement », par contre, le responsable du projet est convaincu de la nécessité de composer avec la population concernée constituée en acteur responsable et devant participer à la conception de l'action. Il s'appuie sur le comportement économique du paysan, mais cette fois-ci en exploitant les motivations en rapport avec une amélioration de la productivité des systèmes de production.

L'élaboration de projets qui ne soient pas entièrement conçus à l'extérieur des sociétés locales concernées implique chez l'aménageur un intérêt pour le fonctionnement de ces sociétés et un sens du dialogue. Le poids de modèles tel celui de la R.T.M. ainsi que l'accent mis sur des techniques supposées avoir une valeur universelle s'opposent à l'acquisition de telles prédispositions.

(b) Composer avec le milieu naturel, cela consiste à passer des projets dans lesquels on met en place d'emblée l'aménagement définitif à des projets

dans lesquels on s'appuie sur diverses dynamiques du milieu. Il s'agit de composer avec différents processus pour les utiliser en vue de lutter contre l'érosion et de restaurer la fertilité du milieu.

En matière d'aménagements antiérosifs, cette préoccupation conduit par exemple à privilégier la technique des terrasses progressives par rapport à celle des canaux. Utilisant des murettes en pierres sèches ou des haies vives, cette technique conduit progressivement à remplacer un versant pentu par une succession de paliers à faible pente et de murs ou talus raides.

Cette technique s'inspire de deux techniques connues en Haïti : les « rampes de paille » déjà évoquées (mais il s'agit de dispositifs peu efficaces et non pérennes) et les haies vives protégeant certains champs contre les chèvres. Certains agriculteurs ont spontanément commencé à essayer des techniques comparables dans la plaine de Labre, dans le nord du pays.

De façon comparable, la lutte contre l'érosion par ravinement pourrait privilégier l'emploi de matériel biologique. Le seuil construit ne prend sa dimension définitive que progressivement, au fur et à mesure que la végétation installée se développe. Pour tenir compte des principes énoncés plus haut, cette technique de reconquête des ravines devra commencer là où les possibilités de valorisation économique des atterrissements créés sont maximales.

La diffusion sur le terrain de ces démarches innovantes est lente en Haïti. La discussion avec les responsables des projets montre que le poids de modèles élaborés ailleurs est l'un des facteurs de cette faible diffusion. Nous retrouvons en Haïti des démarches voisines de celles des forestiers étatistes du 19^e siècle.

L'école de pensée dominante de la R.T.M. a influencé les forestiers chargés de la lutte contre l'érosion en montagne dans d'autres pays européens ainsi que le groupe de travail « aménagement de bassins versants » de la F.A.O.

L'influence de cette école de pensée en dehors de nos frontières reste importante, même si le modèle américain a aussi contribué à façonner la démarche en œuvre dans la majorité des projets de conservation des sols dans les pays en développement.

4. CONCLUSION

Dans cet article, en ce qui concerne la R.T.M., il ne m'a été possible que d'exprimer les principales relations qui ont existé entre l'action des forestiers et les contextes du 19^e siècle. J'espère avoir développé l'envie de lire les travaux non seulement sur l'histoire de la R.T.M. et sur l'opposition entre forestiers sociologues et forestiers étatistes, mais également ceux concernant les

transformations socio-économiques de cette deuxième moitié du 19^e siècle qui ont contribué au recul de l'érosion et au succès de l'action entreprise.

Par ailleurs, un travail comparable mérite d'être réalisé pour mettre en évidence les conditions socio-politiques ayant accompagné l'émergence d'autres modèles en matière de conservation des sols, en particulier les modèles américains.

Or, la lecture des manuels qui existent en matière de conservation des sols est instructive. La recherche de l'efficacité et la spécialisation se traduisent par l'élimination pratiquement totale d'informations permettant de construire les relations entre les réponses apportées au problème de l'érosion par diverses sociétés et les contextes socio-politiques. La parcellisation des savoirs et la coupure entre scientifiques et littéraires produit ici des effets pervers particulièrement importants.

Il me semble que la recherche d'une meilleure efficacité des projets de conservation des sols nécessite l'adoption rapide de stratégies aux apparences paradoxales. Il est urgent de « perdre son temps » à réintégrer dans la formation des aménageurs (mais aussi dans celle des enseignants, des experts et des chercheurs) les connais-

sances « littéraires » sur les conditions dans lesquelles ont été mises au point les diverses réponses connues au problème de l'érosion.

Cette « culture technique » est absente de la formation dispensée actuellement, alors qu'elle est nécessaire pour développer la vigilance par rapport aux tentations du dogmatisme et des généralisations hâtives d'outils. L'oubli des aspects culturels et socio-politiques dans la formation produit des techniciens incapables de relativiser les techniques et démarches acquises et de comprendre les relations entre celles-ci et des contextes précis. La mise en évidence par d'autres de la faible efficacité des projets élaborés par ces « techniciens » ne conduit que rarement à une remise en cause des certitudes acquises, d'autant plus que ces critiques sont souvent vécues comme des agressions et déclenchent des réactions de défense. C'est donc bien au niveau de la formation de départ qu'il est urgent de développer des éléments nouveaux, de former des aménageurs « cultivés » et non plus des spécialistes munis d'un savoir parcellaire. L'intérêt pour le contexte local passe par la réintégration de la culture technique dans la formation des techniciens et des scientifiques.

BIBLIOGRAPHIE

- MARCHAL (J.Y.), 1983. — Yatenga-Nord Haute-Volta — La dynamique d'un espace rural soudano-sahélien. *Trav. et Doc. de l'O.R.S.T.O.M.* n° 167, 873 p.
- Centre Technique Forestier Tropical, 1979. — Conservation des sols au sud du Sahara. Ministère de la Coopération. Collection Techniques Rurales en Afrique — 296 p.
- GRET Cellule Agriculture, 1985. — Revitalisation des paysannes du tiers monde et alternatives technologiques — 25 p.

- KALAORA (B.), SAVOYE (A.), 1985. — La protection des régions de montagne au 19^e siècle : forestiers sociaux contre forestiers étatistes. *Protection de la nature, histoire et idéologie.* Harmattan, 245 p.
- LARRERE (R.), BRUN (A.), KALAORA (B.), NOUGAREDE (O.), POUPARDIN (D.), 1981 — Forestiers et paysans, les reboisements en montagne depuis l'Empire. *Recherches* n° 45, 262 p.

Réflexions sur l'utilisation de certains types de banquettes de « Défense et Restauration des Sols » en Algérie

Gérard AUBERT

Pédologue ORSTOM, 70-74 route Aulnay, 93140 Bondy

RÉSUMÉ

L'érosion hydrique, même simplement en nappe, est très néfaste pour les sols et limite leur utilisation, en particulier en zone semi-aride. Le système des banquettes de diversion ou d'infiltration est fréquemment utilisé pour la combattre. En Algérie celui des banquettes à fond plat, élargi pour pouvoir le cultiver, est souvent employé.

L'auteur a pu revoir en 1975 celles à la mise en place desquelles il avait collaboré avec A. MONJAUZE en 1941-42 et en 1945, dans le N.O. de l'Algérie près de la frontière algéro-marocaine (Nedrouma-Ghazawet). Sur de grandes surfaces elles ont bien tenu, sans être ni cultivées ni entretenues, mais la végétation buissonnante et épineuse qui s'y est développée est sans valeur économique. En zone de reboisement elles ont bien joué leur rôle. En un point, sur une assez large pente, elles ont été entretenues ainsi que les arbres fruitiers des bourrelets, et des replats cultivés en céréales ont été installés dans les interbanquettes. En quelques points elles ont été détruites par l'homme ou se sont effondrées. Leur efficacité dépend des caractéristiques des sols, de la végétation qui s'implante et de leur entretien qui n'est possible que si les populations sont impliquées dès leur mise en place.

MOTS-CLÉS : Erosion hydrique — Conservation des sols — Banquettes d'infiltration — Caractères des sols et de la végétation — Implication des populations — Zone semi-aride — Algérie.

ABSTRACT

ABOUT THE USE OF CERTAIN TYPES OF D.R.S. BENCHES IN ALGERIA

Water erosion, even sheet erosion, is very noxious to the soils and to their use, specially in semi-arid countries. The system of diversion or infiltration benches is frequently used to prevent it. In Algeria the often employed infiltration ones are made with a widened flat bottom so to be used for cultivation. The author was able to inspect in 1975 those he collaborated to design in 1942 and 1945 in N.W. Algeria. On large extents they have withstood, being neither cultivated nor specially kept, but the new vegetation is mostly bushes, ofent thorny ones, without any economical value. In reforested zone they have worked all-right. In a place, on a rather large slope they were kept by the local population, fruit trees on the pads were flourishing and on level strips in the « inter benches » were growing cereals. In some places they collapsed or were destroyed by man. Benches efficiency is conditioned by soils and by new vegetation characteristics, and even more by their strong maintenance which is only possible if local populations are involved in their early building.

KEY-WORDS : Water Erosion — Soil Conservation — Infiltration benches — Soils and vegetation characteristics — Populations taking charge — Semi-arid zone — Algeria.

INTRODUCTION

L'érosion par l'eau constitue un grave processus de dégradation du sol, même s'il ne s'agit que d'une érosion en nappe. Elle attaque principalement l'horizon supérieur, en général le plus riche non seulement en matière organique, mais aussi en éléments qui servent d'aliments pour les plantes et pour les cultures (F. FOURNIER, 1967). De cet horizon elle entraîne en plus forte proportion l'humus, l'argile, les éléments fins et l'appauvrit donc, chimiquement, d'autant plus (B. DABIN et N. LENEUF, 1958). Elle peut avoir en même temps une action très défavorable sur ses propriétés physiques (perméabilité, rétention d'eau, structure) et sur celles des horizons superficiels des sols sur lesquels elle épand les éléments ainsi transportés.

Ces phénomènes acquièrent une dimension d'autant plus désastreuse qu'ils se produisent en zone tropicale, ou même subtropicale, à climats semi-aride à sub-humide. L'appauvrissement des horizons superficiels des sols s'accompagne en effet d'une perte d'eau par suite, le plus souvent, d'une diminution de l'infiltration, due en particulier à la dégradation de la couverture végétale.

Dès le développement du ruissellement et le déclenchement de l'érosion en nappe, des mesures doivent être prises pour limiter ces actions. Diminuer le ruissellement et accroître l'infiltration peuvent être obtenus par des méthodes biologiques, physiques ou mécaniques. Elles doivent permettre d'implanter un nouvel équilibre sol-végétation-paysage ou de restaurer l'ancien (A. MONJAUZE, 1961 a).

I. UN MOYEN DE LUTTE CONTRE LE RUISSellement ET L'ÉROSION DES TERRES : LES BANQUETTES

En dehors des méthodes de défense du sol fondées sur des systèmes biologiques, tels qu'un réel développement et un bon entretien de sa couverture végétale, plusieurs types de procédés mécaniques contrecarrant ou, au moins, limitant le ruissellement sur les terres en pente et leur entraînement par érosion, peuvent être utilisés. Parmi eux, les plus anciennement pratiqués sont les systèmes de terrasses et de banquettes, comme l'a, encore récemment rappelé B. HEUSCH (1985).

Ces systèmes ont été largement réalisés aux USA, à partir des années 1930, et, dès 1938, mais surtout après 1940, en Afrique du Nord, et d'abord en Algérie, sous l'influence de L. SACCARDY, A. MONJAUZE et R. PUTOD. Le type de banquette mis au point aux U.S.A. a été repris, tel quel, en Algérie, sans aucune expérimentation préalable (com. pers. L. SACCARDY, avril 1942). Les études de L. SACCARDY (1950), de A. MONJAUZE (1961 b), de L. PLANTIE (1961) et d'autres, ont

précisé d'abord les méthodes de calcul des dénivelées entre banquettes sur une pente déterminée, les principes à observer pour les exécuter et les conditions dans lesquelles il est possible d'en promouvoir la réalisation.

Quel que soit le type de banquettes utilisé, le but en est toujours de retenir les terres entraînées, et, suivant les cas, de faciliter l'évacuation de l'eau qui ruisselle sur la pente, ou, de place en place, d'accroître la proportion de celle qui peut s'infiltrer ; cela nécessite un travail du sol, en lignes isohypses soit aussi parfaites que possible, soit présentant une faible pente (0,5 % environ) et aboutissant à un exutoire préparé par une mise en place de barrages en pierres sèches ou autres matériaux, ou de haies vives suffisamment résistantes.

Ce type de banquette retenu dépend, pour une part, des caractéristiques du sol qui doit s'y trouver particulièrement perméable dans le premier cas, ou, au contraire, peut être peu poreux et favoriser l'écoulement de l'eau à sa surface, dans le second. Cette relation entre caractères des sols et type de banquette à mettre en place a été très bien explicitée par J. GRECO (1966).

Le type de banquette dépend aussi, largement, de la pente du terrain. Sur pente faible des banquettes de diversion peuvent encore être efficaces ; par contre sur pente moyenne, allant jusqu'à 25 à 35 %, il vaut mieux les remplacer, si le terrain s'y prête, par des banquettes d'infiltration. Sur forte pente (40 % et au-delà) les terrasses en gradins, utilisées depuis longtemps par exemple en Afrique du Nord (H. PLATEAU, 1976 ; B. HEUSCH, 1985), doivent être adoptées de préférence aux précédentes.

Enfin, la plupart des auteurs déjà cités insistent sur les problèmes socio-économiques que soulève la mise en place de ces divers systèmes.

II. LES BANQUETTES D'INFILTRATION DE « DÉFENSE ET RESTAURATION DES SOLS » EN ALGÉRIE

La lutte contre la dégradation des sols par érosion s'est beaucoup développée en Algérie en 1941 à la suite des dégâts subis par Tlemcen — maintenant Timimcin — lors des débordements torrentiels de l'automne 1940 et par suite de l'envasement progressif du port de Nemours (Ghazawet) et grâce à l'action très efficace de M.G. DROUHIN, alors directeur des services des irrigations. Divers types de banquettes et gradins — ces derniers, en particulier, y avaient été mis en place depuis longtemps, par exemple sur les contreforts de l'Atlas — y ont été installés.

Sur les pentes de déclivité moyenne, ont été aménagées des banquettes d'infiltration dont les bandes inter-banquettes peuvent, suivant les cas, être cultivées ou

non. Elles le sont, lorsque le sol le permet et que la pente est assez faible ; sinon elles peuvent être reboisées en plants forestiers (pins, eucalyptus, etc.) entre banquettes étroites, souvent à profil inversé, comme près de Ghazawet, ou laissées à la pâture avec des bourrelets complantés d'arbres fruitiers, associés à des banquettes élargies prévues pour des cultures céréalières ou fourragères (Colonne Montagnac — actuellement Remchi-Nédrouma). Cet élargissement des banquettes (2,50-3 m), reste toutefois inférieur à celui des banquettes amorties à double courbure (L. PLANTIE, 1961).

J'ai eu à coopérer avec A. MONJAUZE lors de l'installation de ces banquettes d'infiltration en 1941-42 et 1945-47 en Oranie semi-aride au N.O. de Timlimcen (G. AUBERT, 1985). Dès cette période, il a été souligné qu'elles devaient être évitées sur sables, marnes et argiles ainsi que dans le cas de sols peu épais sur roche dure (croûte calcaire par exemple) et que leur implantation posait des problèmes socio-économiques difficiles à résoudre (L. SACCARDY, 1950 ; A. MONJAUZE, 1961 b ; L. PLANTIE, 1961).

III. OBSERVATIONS 30 ANS APRÈS LA MISE EN PLACE DES BANQUETTES

Lors de tournées dans cette même région, avec B. KADIK, en 1975, j'ai pu voir l'état de ces banquettes. Dans cette zone semi-aride à subhumide ($P = 400-450$ m/m ; Quotient Emberger = 50 — Ch. SAUVAGE (1963)), s'observent ou des sols assez peu évolués faiblement lessivés à tendance fersiallitique sur granite (Nedrouma) et sur colluvions, ou des sols bruns calcaires sur calcaires friables (zone littorale), ou des sols à profil calcaire différencié à croûte calcaire (S. de Ghazawet). La végétation, avant les travaux de DRS, était essentiellement herbacée et le plus souvent très dégradée, servant parfois de très maigres parcours pour les troupeaux.

La mise en place de ces banquettes a été réalisée à partir de 1942 par le service de la D.R.S. qui venait d'être organisé sans que, à ma connaissance, les populations locales y soient directement impliquées sinon pour fournir des ouvriers. L'érosion y était assez forte, principalement en nappe, mais avec aussi des ravinelements, mais assez peu importants.

Les résultats observés ont été très variables :

1. *Dans la majorité des cas*, et en particulier sur les sols dérivés des granites (Nedrouma), les banquettes et leurs bourrelets ont bien tenu ; les arbres fruitiers implantés n'ont pas résisté et/ou ont été coupés ; en quelques cas (par exemple pour des figuiers) ils ont été protégés et sont utilisés. La végétation est abondante entre les banquettes et sur elles, souvent un peu moins sur les bourrelets qui peuvent être lieu de passage, mais elle

est principalement constituée de buissons, fréquemment épineux, en particulier de bruyères, de genêts (*Genista furox*) et de quelques arbustes, pratiquement sans valeur économique. Entre les banquettes le diss, la lavande et le cyste de Montpellier prennent plus d'importance. Sur le fond de la banquette, le sol s'est peu transformé, sauf parfois à la suite d'apports colluviaux. Dans le cas des sols sur calcaire friable, un début d'évolution s'observe sur les banquettes ou sur les bandes interbanquettes même là où la roche était à nu en 1945 (cf. photos 1 et 2).

Les terrasses et leurs bourrelets ont donc eu un rôle efficace dans la lutte contre l'érosion, mais l'amélioration escomptée de la végétation, comme aliment pour les troupeaux, n'a pas été obtenue. Par contre, les reboisements, sur des pentes armées de banquettes, de pins d'Alep et d'acacias (en particulier *A. cyanophylla*) sur sol brun calcaire très érodé, sur calcaire friable profond près de Ghazawet, ont réussi, quoique en présentant une croissance assez lente ; il est d'ailleurs à remarquer que la décomposition des résidus végétaux y était limitée, surtout dans le plat des banquettes où ils s'accumulaient.

2. *Un cas assez remarquable* a pu être observé à Sidi bou Djenane, entre Ghazawet et Maghniyya, près de la frontière algéro-marocaine dans le bassin versant de l'Oued Tafna. Le sol, très érodé en 1945, est de type rendziniforme sur calcaire crayeux. Les populations ont, sur toute une pente, assez étendue, entretenu le système. Les banquettes ont pu être cultivées, mais ne l'étaient plus en 1975. Les arbres fruitiers — figuiers en particulier — sur les bourrelets se sont bien développés. Dans l'interbanquette, la végétation était assez dense, herbacée, principalement graminéenne. A mi-hauteur de ces bandes des replats à faible pente étaient cultivés en céréales.

3. *En quelques points* les banquettes ont pratiquement disparu. Dans certains cas, le système n'était pas adapté au sol, comme, par exemple sur un sol peu profond sur croûte calcaire près de Ghazawet. Ailleurs, c'est l'homme qui a délibérément détruit les banquettes. D'après mes observations c'est assez rare dans cette région. C'est beaucoup plus fréquent dans d'autres, comme dans la zone du bassin versant de l'Oued Foldda, pour laquelle B. HEUSCH (1985) a signalé l'inefficacité du système mis en place, en fait partiellement détruit.

CONCLUSION

Ce type de banquette élargie a été conçu pour des pentes moyennes dans des zones de climat semi-aride à subhumide. Il n'a pas toujours été efficace, pour des raisons très variées ; il peut l'être comme quelques exemples le prouvent.



Photo 1.
Vue d'ensemble de pentes traitées en banquettes qui ont bien résisté à l'épreuve du temps : l'une des pentes a été reforestée ; l'autre est couverte d'une végétation sans intérêt économique. Région de Nedrouma (N.O. Algérie) vue prise en 1975.



Photo 2.
Haut de bourrelet dénudé, séparant banquettes et interbanquettes envahies d'une végétation buissonnante très efficace contre l'érosion.
Vue prise en 1975 dans la même région.

Clichés G. AUBERT

Les résultats obtenus dépendent :

— des caractéristiques du sol.

Il a été souligné depuis longtemps qu'il n'est pas adapté aux sols très sableux, surtout s'ils sont bouillants, ni aux sols très argileux et mal structurés. Il ne l'est pas non plus aux sols peu profonds à horizons indurés (croûte calcaire) ou à roche dure peu altérée trop superficielle.

Les observations faites en 1975 au cours de notre mission montrent que les meilleurs résultats ont été obtenus sur des sols formés sur calcaire friable, plus ou moins sableux, ou crayeux. Sur granite les sols ne sont favorables que s'ils sont suffisamment profonds ; sur arène granitique (Nedrouma) ils peuvent l'être mais les arènes très profondes sont sèches, retiennent mal l'eau et sont chimiquement pauvres. Sur les marnes, comme à la Colonne Montagnac près de Remchi, les petits jardins, même à profil inversé, paraissent mieux adaptés.

Cependant, même en zone humide, ce type de banquettes, réalisé sur des sols argileux dérivés de flysch et de schistes, peut avoir un effet simplificateur sur l'implantation du système hydrographique et diminuer le ruissellement et l'érosion en rigoles, mais il risque d'accroître le ravinement et les mouvements en masse (M. TEMAGOULT — com. pers.).

— de la végétation.

Celle de type herbacé, à dominance graminéenne, est la plus intéressante à la fois pour la limitation de l'érosion, le maintien des banquettes et l'évolution du sol ainsi que pour ses possibilités d'utilisation. Celle de type buissonnant, à base de *Genista* et autres espèces souvent aristées l'est beaucoup moins, mais limite l'érosion et maintient les banquettes. Les espèces forestières, telles que les eucalyptus, les pins, les acacias ont des effets analogues, mais peuvent présenter un intérêt économique.

Celle à base de céréales ou d'espèces fourragères sur les banquettes ou en replats interbanquettes doit être installée et entretenue.

Le développement de cette végétation, quelle qu'elle soit, revêt cependant une importance capitale en vue de lutter contre l'érosion des sols.

— du facteur humain.

La raison fondamentale des résultats observés trop souvent médiocres ou mauvais tient au fait que les banquettes n'ont pas été entretenues, sauf parfois les premières années, ou même, qu'elles ont été détruites par les populations ; à part quelques cas très rares, ces dernières en effet n'ont jamais été impliquées dans leur mise en place.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (G.), 1975. — Rapport de mission en Algérie. ORSTOM, Paris, 28 p. *multigr.*
- AUBERT (G.), 1985. — Observations sur les banquettes de défense des sols en Algérie. *Réseau Erosion*, 5, *multigr.*, ORSTOM, Montpellier.
- DABIN (B.), LENEUF (N.), 1958. — Etude de l'érosion et du ruissellement en basse Côte d'Ivoire. ORSTOM Abidjan, 20 p. *multigr.*
- FOURNIER (F.), 1960. — Climat et érosion. PUF, Paris, 201 p.
- FOURNIER (F.), 1967. — La recherche en érosion et conservation des sols dans le continent africain. *Sols Africains*, London, XII, 1 : 5-51.
- FOURNIER (F.), 1972. — Utilisation rationnelle et conservation du sol. *Geoforum*. Braunschweig, 10 : 35-47.
- GRECO (J.), 1966. — L'érosion, la défense et la restauration des sols, et le reboisement en Algérie. *Min. Agri. Ref. Agr.* Alger, 303 p.
- HEUSCH (B.), 1970. — L'érosion du pré-Rif. *Ann. Rech. For.* Rabat, 12 : 9-176.
- HEUSCH (B.), 1985. — Cinquante ans de banquettes de DRS-CES en Afrique du Nord : un bilan — *Réseau Erosion*, 5, *multigr.*, ORSTOM Montpellier : 17-32.
- MONJAUZE (A.), 1961 a. — But et principes de la défense et de la restauration des sols en pays arides et semi-arides. Colloque sur la conservation et la restauration des sols. Téhéran 1959. C.R. général, Paris, III, 10 : 112-119.
- MONJAUZE (A.), 1961 b. — Mécanisation des travaux de DRS-CES en Afrique du Nord : *id.*, IV, 21 : 257-278.
- PLANTIE (L.), 1961. — Technique française algérienne des banquettes de défense et de restauration des sols. *id.*, IV, 20 : 237-266.
- PLATEAU (H.), 1976. — La défense et la restauration des sols depuis l'indépendance du Maroc. *Rev.For.Fr.*, Paris, 28, 3 : 231-238.
- SACCARDY (L.), 1950. — Note sur le calcul des banquettes de restauration des sols. *Terres et eaux*, Alger, II : 3-19.
- SAUVAGE (Ch.), 1963. — Atlas du Maroc — II — Météorologie — 44 p. + cartes. Comité National de géographie du Maroc, Rabat.

Cinquante ans de banquettes de D.R.S. — C.E.S. en Afrique du Nord : un bilan

Dr. Bernard HEUSCH

SOGREAH, B.P. 172, 38042 Grenoble Cédex

RÉSUMÉ

Les échecs persistants sur le plan technique, une meilleure appréciation du coût économique et social de ces travaux, et aussi la crise économique ont progressivement ralenti puis pratiquement arrêté tous travaux de banquettes dans les trois pays d'Afrique du Nord. Si les premiers essais paraissent remonter à 1925, les travaux à grande échelle n'ont débuté que vers 1950, pour couvrir finalement près d'un million d'hectares, avec un prix de revient de l'ordre de 5000 à 10 000 FF/ha (1980). Afin de réorienter l'action de l'Administration, et après avoir enquêté dans l'ensemble du Maghreb, il nous a paru utile de dresser le bilan de cette expérience. Bien entendu, les idées exprimées n'engagent que l'auteur.

Une banquette est une bande de terre de largeur réduite et constante, avec fossé très évasé et bourrelet, installée sur le versant et délimitant une bande de culture. Elle a pour but d'intercepter les eaux de ruissellement et de les empêcher d'éroder. Ces objectifs sont atteints dans le cas de sols limoneux et d'orages d'été, violents et brefs.

Malheureusement, au cours des longues pluies d'hiver qui forment le gros des précipitations, les sols argileux, qui sont les plus répandus, sont rapidement saturés en eau. La banquette se comporte alors comme un barrage en terre sans déversoir aménagé et déclenche une série de désordres regrettables : concentration des eaux sauvages, dépassement de la force tractrice critique et création d'entailles linéaires actives après débordement ou franchissement des limites d'Atterberg et apparition de glissement en planches.

Une expansion démographique sans précédent a entraîné un défrichement généralisé des versants et déclenché une érosion anthropique, au moins 50 fois plus forte que l'érosion géologique normale. Afin de remédier à cette évolution qui détruit progressivement les terres arables des versants, il importe d'intervenir efficacement par le reboisement et l'accroissement des rendements agricoles, par une modification de la législation et la subvention des techniques anti-érosives autochtones traditionnelles, éventuellement après modernisation. L'introduction de techniques étrangères sans expérimentation préalable est une erreur qui ne devrait pas être renouvelée.

MOTS-CLÉS : Banquette — Déversoir — Erosion en nappe — Glissement de terrain — Intensité pluviale — Ruissellement hypodermique — Conservation des sols — Algérie — Maroc — Tunisie.

ABSTRACT

AN EVALUATION OF THE D.R.S.-C.E.S. BUNDS IN NORTH AFRICA OVER FIFTY YEARS

Persistent technical failures, a more realistic evaluation of the economic and sociological cost of soil conservation terraces and also the world economic crisis have progressively slowed down, then practically stopped all works in Algeria, Morocco and Tunisia. While the first trials seem to date back to 1925, conservation works on a large scale started only about 1950, to cover finally nearly 1 million hectares with a construction cost of between 5000 and 10 000 FF/ha (1980). To redirect public action, after having surveyed existing works in North Africa, we felt

it would be useful to make an evaluation of that experience. Of course, the ideas expressed involve only the author.

A channel terrace (or bund) features an excavated channel and a bank formed on the downhill side with the spoil from the excavation. This earthwork intercepts the surface run-off and prevents scouring action. Terraces stretch along the contour in cultivated fields to check erosion. This target is reached in the case of loamy soils and summerthunderstorms, of short duration and high intensity.

Unfortunately, through the long spells of winter rains, which make up the bulk of the Mediterranean precipitations, clay-soils, which are the most widely spread, are quickly saturated. The terrace then behaves as an earth dam without any built-in spill way, and launches a succession of regrettable events : collection of overland flow, overtopping and drilling of active rills and gullies after critical tractive force has been exceeded or crossing Atterberg limits and starting planar landslides.

An unprecedented population growth has led to generalized clearing of the mountain slopes, starting accelerated erosion, at least 50 times greater than normal geological degradation. To control those events which progressively destroy the cultivated slopes, it is necessary to halt the soil loss by afforestation and increasing harvest yields, through an improvement of legislation, and subsidizing the traditional anti-erosive works. The introduction of foreign methods, without preliminary trials, is a mistake which should not be repeated.

KEY WORDS : Terrace (US) Bund (UK) — Spillway — Sheet erosion — Landslide — Rainfall intensity — Through flow, subsurface flow — Soil conservation — Algeria — Morocco — Tunisia.

INTRODUCTION

Dans les pays industrialisés, on a tendance à concevoir les techniques et ouvrages de lutte contre l'érosion en recherchant l'efficacité maximum, sans trop se préoccuper du prix de revient, ni du rapport entre le coût et les bénéfices. Inversement, dans les pays en voie de développement, on recherche souvent le spectaculaire à bas prix, en négligeant l'efficacité. L'histoire de la banquette de DRS (1) (Défense et Restauration des Sols) ou CES (2) (Conservation des Eaux et du Sol) en est un bon exemple.

Une banquette peut être définie comme une bande de terre de largeur réduite et constante, avec fossé très évasé et bourrelet, installée sur le versant et délimitant une bande de culture (PUTOD). Elle a pour but d'intercepter les eaux de ruissellement et de les empêcher d'éroder.

Les traitements de DRS-CES ont intéressé plus de 375 000 ha en Algérie, près de 100 000 en Tunisie, environ 300 000 ha au Maroc, pour un prix de revient de l'ordre de 5 à 10 000 FF/ha. Ces sommes sont considérables. Nous allons voir que les résultats sont loin de répondre aux espérances placées dans cette technique.

HISTORIQUE

L'origine en est obscure ; toutefois, nous avons souvent observé en Afrique de l'Est des fossés antiérosifs

creusés par les paysans suivant les courbes de niveau et l'on peut penser que grâce aux négriers du sultan de Zanzibar, vassal de celui d'Oman, cette technique a été introduite dans les plantations des USA, puis vulgarisée dans le monde entier.

Mais, par ailleurs, dès 1781 BOLOTOV préconisait de creuser des fossés isohypses pour lutter contre l'érosion par entailles linéaires, et en France, en 1858, MONESTIER-SAVIGNAT étudiait la possibilité de confectionner des banquettes sur sol perméable avec les dimensions suivantes : espacement 40 à 100 m, pente en long du fond de la banquette 0 à 0,5 %, profil en travers avec une largeur au sommet de 1,5 à 2 m, une profondeur de 0,3 à 0,5 m, et des talus de pente de 1/1. L'auteur envisageait différentes hypothèses d'intensité et de durée de pluie, avec un coefficient de ruissellement de 33 %, pour finalement conclure que c'était un système peu efficace et très coûteux (pp.150-159).

En Afrique du Nord, la technique des banquettes a été appliquée beaucoup plus tôt qu'on ne le pense généralement puisque dès 1863 DEMONTZEY, en poste à El Asnam (Orléansville) de 1850 à 1860 préconise, avec réserves, la banquette de reboisement et que BRIVES en 1925 la recommande en terrain agricole et donne comme exemple les travaux exécutés sur les terrains de la ferme du Moulin Gautier, à Beni Bou Mileuk, commune des Braz. Les premiers travaux menés par l'Administration, toujours en Algérie, et par PUTOD remontent à 1938. L'impulsion définitive viendra de LOWDERMILK qui fera une série de tournées dans les trois pays, immédiatement avant, pendant et juste après la guerre de 1939-45.

(1) Terme utilisé en Algérie, puis au Maroc.

(2) Terme utilisé en Tunisie.

LES JUSTIFICATIONS THÉORIQUES DE LA BANQUETTE

DAVIS et HORTON ont fourni le cadre conceptuel de cette technique. Le premier estime que l'érosion pluviale agit par rabotage progressif des reliefs, de façon à aboutir à une pénéplaine, tandis que le second postule que les eaux, ruisselant en nappe, commencent à creuser des rigoles (rills) dès que le tirant d'eau devient suffisant pour dépasser la force tractrice critique. Ces théories sont à la base de la formule de Saccardy et de la formule de Wischmeier dont le caractère mathématique et l'intitulé — Universal soil loss equation — a séduit plus d'un ingénieur peu au courant des complexités du phénomène érosif. La discussion de ces théories sort du domaine de cet article.

La théorie de la banquette (OSMAN-AKAN) suppose donc que l'érosion est causée par des pluies dont l'intensité est supérieure à la vitesse d'infiltration des sols. Les gouttes de pluie détachent des agrégats terreux que le ruissellement en nappe entraîne vers les exutoires. Dès que les eaux sauvages se concentrent, l'épaisseur de la lame ruisselée augmente et la force tractrice dépasse un seuil critique, l'érosion par entailles linéaires apparaît, les griffes d'érosion se matérialisent. La banquette intercepte le ruissellement, oblige les eaux à se décanter et à s'infiltrer et ramène la longueur de pente au-dessous du seuil d'apparition des griffes.

En 1943, QUENEY et CUNY font une première évaluation de l'intensité maxima des pluies en Algérie. A l'époque, les pluviographes n'existaient pas et cette étude, par force peu précise, aboutit à la conclusion que l'intensité maxima observée est de l'ordre de 3 mm par minute pour des durées de l'ordre de la demi-heure. Ce chiffre va être utilisé par Saccardy pour évaluer la lame d'eau ruisselée maximum et définir en conséquence l'espacement et la capacité de retenue du fossé des banquettes. Sa note, qui date de 1950, servira de base aux travaux de DRS en Algérie et au Maroc, tandis qu'en Tunisie on utilisera la formule de Bugeat, assez analogue et avec les mêmes hypothèses de base.

LA FORMULE DE SACCARDY

Elle s'écrit (définitions, figures et résultat de calculs en annexe) : $H^3 = 260 P(1)$ pour les pentes inférieures à 25 % et $H^2 = 64 P(2)$ pour les pentes plus fortes, H étant la différence d'altitude en mètres, entre deux banquettes et P la pente en % (25 % = 0,25).

Il n'existe à notre connaissance aucune justification théorique ou expérimentale de ces formules (1) et (2). Nous constatons en particulier que le facteur pente et longueur de pente (LS) calculé par la formule Wischmeier pour la distance Saccardy d'interbanquettes n'est

absolument pas constant, puisque ce facteur croît progressivement de 0,40 pour une pente (P) de 3 % et un écartement (L) de 66 mètres à 11 pour une pente de 50 % et un écartement de 12,7 mètres. Toutefois, nous remarquons que le libellé de la formule (1) est équivalent à H^2 . $L = 260$ ce qui revient à écrire que l'érosion est proportionnelle à la longueur de pente et au carré de la dénivelée ; quant à la formule (2), elle peut aussi s'écrire $H.L = 64$, ce qui revient à admettre que l'érosion est proportionnelle à l'énergie de l'eau de ruissellement.

En fait, et sans l'écrire, il est vraisemblable que l'auteur a simplement cherché une formule (2) espaçant régulièrement les banquettes sur le versant lorsque la pente dépasse 25 % et une formule (1) de raccord, pour les pentes faibles. Quant à la formule de Bugeat $H = 2,2 + 8 P$ (3) elle donne pratiquement les mêmes résultats que les formules de Saccardy entre 5 % et 30 % de pente et n'a d'autre justification que de simplifier les calculs.

L'espacement interbanquette (L) va définir les volumes d'eau à prendre en compte dans le dimensionnement des banquettes. Les fossés, de section trapézoïdale, avec des talus à 1/1, ont en général un fond large de 2,8 m et une contrepente de 10 % sur les pentes inférieures à 35 % (travail par angledozer) ou un fond plat large de 1 m sur les pentes plus fortes (travail manuel). La longueur des banquettes ne dépasse pas 400 m et le tirant d'eau maximum admis ne doit pas dépasser 0,30 m, entièrement en déblai (figures en annexe).

Dans ces conditions, une banquette de rétention, fermée aux extrémités, dont le bassin versant résulte de l'application de la formule de Saccardy, sous une pluie d'intensité 3 mm/minute et un coefficient de ruissellement de 100 % dépasse le tirant d'eau critique en un temps (T1) croissant de 2 minutes sur un versant de pente 3 %, à 10 minutes sur une pente de 30 % ou plus.

Le rapport du volume d'eau stockée au volume de terre remuée est très faible : sur une pente à 30 %, il varie de 39 % (fossé trapézoïdal) à 15 % (fossé triangulaire à contre-pente de 10 %). Si l'on donne à cette contre-pente une inclinaison de 50 %, ce rapport remonte à 30 %, mais la circulation devient malaisée dans le fossé.

Si les extrémités de la banquette de niveau sont conçues pour déverser, nous pouvons évaluer le débit à l'exutoire par les formules usuelles pour les déversoirs — formules de Kindsvater pour un déversoir triangulaire et formule de Bazin pour un déversoir à seuil épais — nous constatons que ce débit sera de 105 l/s (chenal triangulaire) ou de 142 l/s (chenal trapézoïdal). Dans ces conditions, le tirant d'eau critique sera dépassé en un temps (T2) de 15 minutes sur un versant de pente 3 % si la longueur de banquette dépasse 100 mètres,

ainsi que sur tout versant dont la pente dépasse 25 %, dès que la longueur de banquette dépasse 400 mètres.

Pour accélérer l'évacuation de l'eau, Saccardy préconise donc de donner au profil en long du lit du fossé une légère pente, de l'ordre de 0,5 %. Si l'on admet un chenal enherbé, le calcul de la vitesse de l'eau par la formule de Manning-Strickler conduit aux valeurs suivantes pour $K = 5$: $U = 0,137$ m/s (chenal triangulaire) et $U = 0,205$ m/s (chenal trapézoïdal) ; les débits d'écoulements sont du même ordre de grandeur que précédemment : 63 l/s dans le premier cas, 80 l/s dans le deuxième cas. Les hauteurs d'eau critiques sont atteintes avec autant de rapidité (temps T3 de l'annexe). Si l'on admet que le fossé ne s'enherbe pas, c'est-à-dire $K = 44$, les vitesses deviennent : $U = 0,90$ m/s (chenal triangulaire) et $U = 1,34$ m/s (chenal trapézoïdal). La force tractrice est alors suffisante pour éroder les limons et les sables, par contre les hauteurs d'eau critiques ne sont atteintes que sur les versants dont la pente est inférieure à 15 % pour une longueur de banquette de 400 mètres (temps T4 de l'annexe).

En réalité, comme on le verra plus loin, les intensités pluviométriques à prendre en compte sont de l'ordre de 1 mm/minute pendant 30 minutes. Dans ce cas, et en admettant un coefficient de ruissellement de 0,8 et un chenal enherbé de 400 m de long, la hauteur critique sera atteinte pour un versant de pente 3 % en un temps T5 de 11 minutes, et pour un versant de pente 10 %, au bout de 32 minutes. Sur les pentes plus fortes, entre 10 et 35 %, un autre mécanisme va intervenir : les pluies de longue durée vont remplir le fossé de la banquette qui ne pourra plus laminer les pointes pluviométriques. Le tirant d'eau critique sera dépassé dès que l'intensité des pluies de longue durée T5 dépassera 0,5 mm/mn sur une pente de 15 %, ou 0,8 mm/mn sur une pente de 30 %. Enfin, les pentes très raides, au-delà de 35 %, sont souvent des versants réglés, à la limite de la rupture d'équilibre. La surcharge due au poids de l'eau augmente les contraintes. Les terres foisonnées du talus, mal armées par un chevelu racinaire embryonnaire, ont tendance à glisser vers le bas. Ces calculs, dont les résultats détaillés figurent en annexe, démontrent que les limites de sécurité de la banquette Saccardy peuvent être franchies relativement souvent. Dans ce cas, les responsables des travaux préfèrent généralement parler de défauts dans l'exécution des ouvrages.

ANALYSE DU RÉSULTAT DES EXPÉRIMENTATIONS ET DES TRAVAUX

L'Administration s'est rarement souciée de connaître avec précision l'efficacité de ses travaux et les données

quantitatives sont réduites. Au Maroc, SOGETIM expérimente en 1959 l'action des banquettes de rétention sur l'accroissement des rendements en milieu semi-aride. Sur une pente de 0,85 %, un sol profond de 0,5 m et sous une pluie de 211,8 mm/an, le rendement d'une culture d'orge est de 7 q/ha en interbanquette, alors que le rendement du témoin n'est que de 2,75 q/ha. En Algérie, HEUSCH montre qu'au cours de la période 1947-1968 les banquettes n'ont eu aucune influence sur la vitesse d'envasement de la retenue du barrage de l'oued Fodda. Alors que les superficies traitées en DRS finissent par couvrir 20 % de la superficie du bassin versant, le rythme de comblement de la retenue reste malheureusement toujours aussi soutenu. Enfin, en Tunisie, MASSON n'arrive pas à mettre en évidence une influence de la longueur de pente sur l'intensité de l'érosion tandis que CORMARY, étudiant l'effet d'un réseau de banquettes avec exutoire sur le ruissellement, écrit (V-133) : « Le ruissellement est nul pour les pluies de 24 heures de période de retour inférieure à 1 an, le ruissellement global est réduit de 15 % pour les pluies de période de retour jusqu'à 10 ans ; pour les pluies de retour supérieures à 10 ans le ruissellement est réduit de manière négligeable. »

BREULEUX, procédant à un inventaire de l'état des travaux de CES en Tunisie constate que de 1962 à 1975, 911 732 ha ont été traités (1). Toute trace de travaux a disparu sur 16,8 % des surfaces ; 15,8 % des périmètres sont endommagés à plus de 50 % ; 44,1 % des périmètres présentent des dégâts compris entre 25 et 50 % ; enfin 23,3 % des surfaces traitées sont en bon état. Une bonne partie des périmètres de banquettes en bon état a vraisemblablement été implantée dans des zones non érodées. Par ailleurs, les terrains gérés par des coopératives ou des agrocombinats sont particulièrement dégradés. Au Maroc, ROBERT constate que 60 à 75 % des réseaux de banquettes sont détruits dans les marnes du Pré-Rif dès que la pente dépasse 40 %.

INFLUENCE DE LA LONGUEUR DE PENTE SUR LES PERTES EN SOL

En dehors des tentatives infructueuses de MASSON, il n'existe aucun résultat d'expérimentation en Afrique du Nord permettant de justifier la construction de banquettes. Aux USA les anciens travaux de ZINGG conduisent à des résultats incertains et contradictoires. Au Nigeria, LEWIS constate l'absence de relation entre la longueur de pente et l'érosion tandis que LAL observe une perte maximum pour une longueur de pente de 12,5 mètres sur une pente de 10 % et à 20 mètres sur une pente de 15 %. La conclusion de ce dernier est que

(1) Surtout par mise en défense, mais aussi reboisement, plantation de cactus et banquettes.

la banquette est efficace parce qu'elle intercepte le sol charrié par le ruissellement, mais qu'elle n'empêche pas l'érosion, sauf si le réseau de banquette est très serré. Il est vraisemblable que le glaçage de terrain observé sur sols battants est décapé lorsque la longueur de pente est suffisante pour que la force tractrice devienne efficace. A ce moment, les pores du sol ne sont plus obstrués et absorbent les écoulements, ce qui stabilise le transport solide et réduit l'érosion spécifique.

ACTION DES BANQUETTES SUR LES PERTES EN SOL

Il n'existe malheureusement pas de données quantitatives sur ce point précis, les études entreprises, en particulier en Tunisie, n'ayant jamais fait l'objet de publications. De façon générale, les géomorphologues concluent plutôt à l'inefficacité ou à la nocivité des banquettes, tandis que les avis des forestiers sont beaucoup plus divergents.

En fait, la banquette n'est efficace que dans un cadre très précis : les pluies doivent être brèves, très intenses mais peu fréquentes, et survenir en été uniquement de façon à ruisseler sur un sol sec et peu perméable. Dans ces conditions, les sols sableux et les sols fissurés à argiles gonflantes absorbent sans peine les précipitations. On n'observe de ruissellement important que sur les sols limoneux. Seuls ceux-ci conviennent à l'établissement de banquettes, à condition que la pente ne dépasse pas 7 à 8 %, de façon à conserver un rapport raisonnable entre les volumes de terre remuée et d'eau stockée derrière le bourrelet. Entre deux orages, l'eau s'infiltré lentement puis est reprise par la végétation de façon à ce qu'à l'orage suivant les sols soient de nouveau secs. Dans ces conditions, compte tenu des surfaces de bourrelet rendues incultes, l'opération n'est rentable pour l'exploitant agricole qu'avec des taux de subvention des travaux voisins de 80 %, ce qui est le cas du centre-ouest des Etats-Unis (HELD).

En fait, ces conditions n'existent pas en Afrique du Nord. Les premiers travaux à grande échelle ont débuté en 1940 dans le bassin de l'Oued Mellah, en Oranie, de façon à donner du travail aux officiers et aux soldats démobilisés sur place. Dès l'année suivante KARST en fait une première synthèse. Il constate l'inefficacité du traitement dans les zones érodées et observe que le coût des travaux de DRS dépasse largement les bénéfices à en attendre.

Il propose donc de limiter les travaux aux zones non érodées, dites « menacées par l'érosion » et d'ajourner le traitement des zones où l'érosion est trop avancée. La doctrine était fixée et n'a depuis jamais évoluée. Elle s'inspire donc fortement de l'expérience R.T.M. (Res-

tauration des Terres en Montagne) française d'avant 1914 qui préconise de ne reboiser que les terrains pas trop dégradés.

Si l'existence d'orages estivaux violents n'est pas niable, en particulier dans la dorsale tunisienne (KASSAB et HENIA) la majorité des pluies tombe en hiver et sature le sol avant de ruisseler. Le dépouillement des pluviogrammes en Algérie (GUIMET, JUHASZ), au Maroc (AMAR, DEBAZAC) et en Tunisie (THIRRIOT, SASSI) montre que les intensités maxima observées, pour une durée de 30 minutes et une période de retour de 10 ans, sont toujours de l'ordre de 1 mm/minute, donc très inférieures aux hypothèses de SACCARDY. Toutefois, CORMARY, en Tunisie calcule des intensités souvent plus fortes. Par contre ces pluies peuvent durer des jours ou des semaines, saturant complètement les sols. Le ruissellement hypodermique affleure au fond du fossé de la banquette et stagne.

Dans ces conditions, la banquette de rétention se comporte comme un barrage en terre non compactée sans déversoir aménagé : il y a rupture au point de faiblesse.

On observe soit un soutirage dans les formations gypso-salines, soit un débordement au point le plus bas, soit encore des renards exploitant les galeries d'animaux fouisseurs (gerboises, mulots, taupes) qui affectionnent les terres fraîchement remuées du bourrelet. Ensuite la banquette collecte les eaux du ruissellement diffus, généralement inoffensif, et les concentre en provoquant des entailles linéaires. Les dégâts sont particulièrement marqués lorsque les terrassements ont détruit la végétation ou les encroûtements calcaires qui stabilisent le versant. En sols argileux ou marneux, la sursaturation en eau des terrains entraîne parfois un franchissement des limites d'Atterberg et le déclenchement de glissements en planche.

Les banquettes de diversion évitent en principe ces inconvénients. Elles exigent des topographes compétents qui sont rarement disponibles. De plus, en terrain mouvant ou en cas de rupture accidentelle, ce type de banquette concentre immédiatement un maximum d'eau dans la zone du désordre. Ce type de banquette n'est donc pratiquement jamais réalisé.

A l'inconvénient d'accélérer l'érosion dans certains cas, la banquette ajoute encore d'autres défauts. Découpant les montagnes en rondelles de saucisson, elle ne tient aucun compte du parcellaire agraire, ni des aménagements antiérosifs préexistants. Le pâturage des chaumes est interdit pour éviter le piétinement du bourrelet par le bétail, et le chiendent pullule rapidement. Les arbres fruitiers, plantés sur la banquette, sont difficiles à traiter et à récolter lorsqu'il n'y a pas de plateforme de circulation suffisamment large pour permettre le passage des machines agricoles.

Résumant différentes études sur le sujet, KADIK conclut : « les techniques lancées en 1941, inspirées des travaux effectués par les Américains (USA) et sans aucune expérimentation préalable ont abouti à un gaspillage de moyens et à un déséquilibre du milieu écologique ». De tels inconvénients auraient dû logiquement conduire le milieu paysan à un rejet rapide de cette technique. S'il n'en a rien été, c'est que la banquette présente aussi de solides avantages, fort différents de ceux envisagés par les protagonistes de l'opération.

LES AVANTAGES DE LA BANQUETTE

Toute une législation particulière a été élaborée dans les trois pays d'Afrique du nord (ALHERITIERE, MARA, SIDA), de façon à servir de support à l'action de l'administration. Les textes présentent de très nombreux points communs.

Jusque vers 1950, les particuliers procèdent aux travaux d'aménagement à leur frais et l'administration ne peut intervenir qu'après acquisition ou expropriation du terrain pour cause d'utilité publique. Les surfaces traitées sont donc peu importantes, d'autant plus que l'Etat, s'il veut bien reboiser les terrains à vocation forestière, ne désire pas devenir exploitant agricole. Un certain nombre de lois sont alors promulguées, subventionnant la construction de banquettes. Le taux des subventions est plus élevé dans les périmètres d'utilité publique et l'administration s'organise pour exécuter les travaux de banquettes sur une grande échelle. Des incitations fiscales encouragent les propriétaires à se grouper, ce qui permet d'intervenir sur de plus grandes surfaces d'un seul tenant.

Le plus souvent, le choix des périmètres d'utilité publique se fait en fonction de l'existence d'un barrage d'irrigation, non équipé de vidanges de fond pour l'évacuation du sédiment, et qui s'envase plus vite que prévu (pour des raisons de rentabilité financière, les prévisions d'envasement et d'amortissement comptable sont toujours très optimistes dans la phase d'avant-projet de construction de barrage).

En aucun cas, ces lois ne prévoient l'intervention d'un géomorphologue pour juger de l'opportunité de l'exécution des travaux de construction de banquettes en fonction des critères tels que la présence d'érosion hydraulique sous une forme ou une autre ou de l'existence de contre-indications telles que la présence de terrains mouvants. Nulle part non plus les géographes n'ont cherché à faire partie des commissions de délimitation de périmètres. Mais dès 1955 BENCHETRIT avertit : « Une action de Défense et Restauration des Sols entreprise à l'aveuglette et ignorant les conditions et les facteurs du développement du phénomène qu'elle cherche à enrayer, ignorant les conditions de réussite

et d'efficacité des procédés qu'elle met en œuvre, est vouée à l'échec. »

Dans ces conditions, quelles sont donc les motivations des uns et des autres ? Les paysans voient d'abord dans ces aménagements l'avantage d'un salaire d'appoint au moment des travaux de construction ; d'autre part, dans ces pays où il n'y a pas de cadastre, en droit coutumier, l'usufruit de la terre appartient seul à l'exploitant, Dieu restant le nu-propiétaire, et l'introduction du droit romain finit souvent par se traduire par l'expulsion de l'occupant sans titre (SARI).

Or la signature d'un contrat de DRS est l'occasion pour l'usufruitier de se procurer l'équivalent d'un titre de propriété. Les travaux se font donc souvent sur des terrains dont les droits d'exploitation sont contestés par les voisins. Par ailleurs, toujours en droit coutumier, le propriétaire d'un arbre fruitier et donc du terrain est celui qui l'a planté. Lorsque l'administration propose de planter des arbres fruitiers sur le bourrelet des banquettes, on observe deux réactions : soit le refus, par crainte que l'Etat ne s'approprie le terrain, soit l'acceptation, car en plus de l'avantage de disposer ultérieurement de fruits sélectionnés, on renforce son titre de propriété en plantant des arbres.

L'Administration des Eaux et Forêts y voit l'avantage d'étendre une activité qu'elle connaît bien, le reboisement, à un nouveau domaine, la plantation de vergers agricoles, sans trop se préoccuper de savoir si les terrains et les climats conviennent à de telles spéculations (FAY). Pour augmenter les chances de succès, elle interviendra de préférence sur les versants non érodés. Impressionné par la sécheresse d'été, le forestier a tendance à privilégier la conservation des eaux et la banquette de rétention.

Enfin, l'Etat observe partout avec inquiétude les signes d'une agitation sociale qui va croissant à partir de 1945, car la misère pousse le fellah à la rébellion armée. Les travaux de DRS paraissent à beaucoup un bon moyen d'injecter un peu d'argent dans ces économies marginales. En Algérie, en particulier, les taux de subvention croissent rapidement pour finalement atteindre 100 %, à mesure que la lutte armée pour la libération s'étend. Un maximum de 36 500 ha/an sera traité en 1959 à la veille de l'indépendance (KADIK). Mais les travaux reprennent de 1962 à 1977 pour récompenser les populations montagnardes à la pointe du combat pour la libération, et couvrent encore 140 000 ha supplémentaires.

Au Maroc, les superficies traitées couvrent 65 000 ha en 1955 au moment de l'indépendance, pour atteindre 300 000 ha, vingt ans plus tard (PLATEAU). A la suite de troubles brefs mais violents et aussi parce que la région était fortement érodée, les travaux ont été particulièrement actifs dans la région du Rif. Ils ont été

très fortement subventionnés par l'aide bilatérale ou internationale.

Les échecs persistants sur le plan technique, une meilleure appréciation du coût économique et social de ces travaux et aussi la crise mondiale ont progressivement ralenti à partir de 1975, puis pratiquement arrêté tous travaux de banquettes dans les trois pays du Maghreb. Les investissements dans le domaine de la foresterie et de la conservation des sols, exprimés en % du total des investissements agricoles, diminuent ainsi (CLEAVER) :

- Algérie 1970/73 : 9,8 ; 1980/84 : 7,6 soit une chute de 23 %,
- Maroc 1968/72 : 11,8 ; 1978/80 : 5,6 soit une chute de 53 %
- Tunisie 1962/71 : 24,1 ; 1977/80 : 5,4 soit une chute de 78 %

Il est maintenant partout admis que la banquette n'est pas la solution miracle pour remédier à l'érosion accélérée déclenchée par le défrichement et la surpopulation des montagnes.

CONCLUSION : UN PROGRAMME D'ACTION

Le propriétaire exploitant qui a pour souci de transmettre intact son patrimoine à ses enfants a tout particulièrement intérêt à lutter contre l'érosion agricole ; le métayer, le grand propriétaire absentéiste ou non, le gérant de bien vacant ou de coopérative de production auront tendance à privilégier la rentabilité immédiate sur la conservation des sols.

Jusqu'à présent, sous l'influence de la pression démographique, on a eu toujours tendance à étendre les surfaces cultivées sans agir sur les rendements, et la recherche agronomique s'est surtout intéressée aux cultures de plaine. La sélection de variétés adéquates, la mise à disposition d'engrais, d'insecticides, de semences et d'outils aratoires adaptés permettraient au montagnard d'augmenter ses rendements et de reboiser ses plus mauvaises terres, lorsque la pluviométrie le permet.

L'organisation de l'exode rural, par la diffusion de l'instruction et grâce au désenclavement par le développement du réseau de voies de communication, est en bonne voie et doit être poursuivie.

Dans les trois pays, le lit des cours d'eau permanents ou temporaires fait partie du domaine public. Il n'y a donc aucun problème légal en ce qui concerne la correction torrentielle et le traitement des entailles linéaires. Or, ces formes d'érosion sont bien souvent à la source de la majorité des pertes en terre. Mais l'administration ne dispose pas d'un corps compétent d'ingénieurs, spécialisé dans le génie civil et biologique applicable aux cours d'eau.

FAY a mis en évidence l'incapacité de l'administration à planifier correctement un aménagement de bassin versant. La variabilité du milieu écologique montagnard, les réactions imprévues entraînées par tout essai de traitement, font que la plupart des tentatives d'aménagement intégré sont des échecs.

Les techniques d'aménagement traditionnelles par drainage en terrains mouvants (MARTHELOT) clairement indiqués par *Inula viscosa* devraient être encouragées au lieu d'être ignorées. Ce devrait aussi être le cas pour les méthodes ancestrales de conservation des eaux et du sol à l'aide de terrasses de niveau (DESPOIS), de barrages de sédimentation dans les thalwegs (HIZEM), d'ouvrages de collecte des eaux de ruissellement (CHAABOUNI, SAKISS) ou d'épandage des eaux de crue (BONVALLOT). Toutes ces techniques, souvent introduites au moment des invasions arabes (1) (SOLIGNAC) devraient être subventionnées afin de ralentir le rythme de perte en terre agricole. Elles sont souvent modernisables comme l'ont montré TROUILLET et SHENG.

On estime généralement qu'il faut à l'érosion géologique normale entre 20 et 200 millions d'années pour raboter une chaîne de montagne. Les mesures de transport solide en Afrique du Nord montrent que les taux d'abrasion sont de l'ordre de 10 m³/ha/an, c'est-à-dire qu'au rythme actuel, 50 fois plus forts que la normale, l'érosion accélérée aura besoin de moins d'un million d'années pour raboter une tranche de terre de 1000 m, faire disparaître la plupart des sols agricoles qui sont des sols hérités du dernier pluvial, et réduire le Maghreb à l'état de pénéplaine (HEUSCH).

Au cours du dernier siècle, l'érosion anthropique a probablement multiplié par cinq le débit solide moyen annuel, ruinant progressivement les terres des bassins versants. Ces terrains n'auront jamais qu'une valeur économique marginale qui ne justifie donc pas de grosses dépenses de restauration. Les conséquences de dégâts se font essentiellement sentir à l'aval : accentuation de l'irrégularité du débit des rivières, pollution des eaux potables, ensablement accéléré de retenues de barrages et des ports d'estuaires, colmatage anarchique des plaines inondables, coupures du réseau des voies de communication.

Ce sont ces dégâts qui justifient le contrôle de l'érosion et l'aménagement des bassins versants. Les paysans de l'amont n'ont pas à supporter le coût des travaux de protection, ils devraient au contraire être dédommagés pour les pertes de rendement subies et subventionnés pour les aménagements qu'ils effectuent.

(1) Beaucoup plus que Rome, qui n'a pris que la suite de Carthage, ce sont les Arabes qui ont proposé des solutions pratiques pour remédier aux conséquences de l'aridification progressive du nord de l'Afrique.

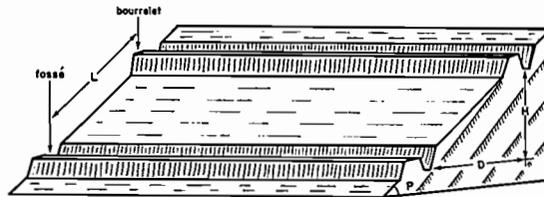
BIBLIOGRAPHIE

- ALHERITIERE (D), DOWNES (RG), 1981. — Aspects institutionnels de la conservation des sols et de la lutte contre l'érosion dans le royaume du Maroc ; FAO/WP 4457 *multigr.* 32 p.
- AMAR (B.), BELLION (F.), CHADI (M.), 1965. — Pluviométrie : courbes intensité/durée ; Météorologie Nationale, Casablanca, *multigr.* 5 pages, annexes.
- BENCHETRIT (M.), 1955. — Le problème de l'érosion des sols en montagne et le cas du Tell algérien ; *Rev. Geog. Alpine* 3 : 605-640.
- BOLOTOV (AT.), 1781. — La considération des ravines dues au ruissellement (en russe) ; *Ekonomicheskii magazin* n° 6, Moscou.
- BONVALLOT (J.), 1979. — Comportement des ouvrages de petite hydraulique dans la région de Médénine (Tunisie du Sud) au cours des pluies exceptionnelles de mars 1979 ; *cah. ORSTOM, Sér. Sc. Hum.* 16(3) : 233-249.
- BREULEUX (F.), 1976. — Inventaire des travaux de conservation des eaux et du sol en Tunisie ; SIDA/TUN 5-13, *multigr.* 24 p., cartes, annexes.
- BRIVES (A.), 1925. — Considérations hydrologiques sur l'Algérie ; Ed. Fac. Sc. Alger, 58 p.
- BUGEAT (L.), 1957. — Conservation des eaux et du sol ; Ecole d'Agriculture Sidi-Naceur à Moghrane, Tunisie ; *multigr.* 57 p.
- CAYLA (O.), 1982. — Pré-étude pluviographique de quelques stations algériennes, *multigr.* 16 p., annexes ; in « Etablissement d'une méthodologie d'études adaptée à l'hydrologie en Algérie ; SOGREAH R 36 0972.
- CHAABOUNI (Z), 1978. — La pédologie, l'érosion et l'économie de l'eau dans les conditions arides et semi-arides de la Tunisie ; Centre Rech. Exp. Gen. Rural, Tunis, *multigr.* 25 p., carte.
- CLEAVER (KM), 1982. — The agricultural development experience of Algeria, Morocco and Tunisia ; World Bank Staff Working Paper n° 552, 20 p.
- CORMARY (Y.), 1972. — Prédétermination des crues dans le cadre des mesures de conservation des eaux et du sol en Tunisie ; Thèse Doct-Ing. Montpellier ; *multigr.* 681 p., annexes.
- DAVIS (WM), 1899. — The geographical cycle ; *Jour. Geog.* 14 : 481-504.
- DEBAZAC (EF), ROBERT (P.), 1973. — Situation des études et recherches relatives à la quantification de l'érosion au Maroc. FAO/MOR 71/536, *multigr.* 35 p.
- DEMONTZEY (P.), 1863. — De quelques essences propres au roisement des climats chauds ; *Revue des Eaux et Forêts* (2 articles).
- DESPOIS (J.), 1956. — La culture en terrasses en Afrique du Nord ; *Annales Economie, Société, Civilisation* 1 : 42-50.
- FAY (G.), 1976. — Les conditions d'un véritable développement rural ; *Bull. Eco. Soc. du Maroc* 131/132 : 121-132.
- GUILMET (B.), 1961. — Intensité des fortes précipitations en fonction de leur durée (en Algérie) ; *La Météorologie* 64 : 393-404.
- HELD (R.B.), CLAWSON (M.), 1965. — Soil conservation in perspective ; Johns Hopkins Press, Baltimore.
- HENIA (L.), 1980. — Les précipitations pluvieuses dans la Tunisie tellienne ; Ed. Fac. Lettres Tunis, 2° série : *Géog.* n° 14 ; 262 p.
- HEUSCH (B.), 1970. — L'érosion du Pré-Rif ; *Annales Rech. For. Rabat*, 12 : 9-176.
- HIZEM (H.), 1976. — Construction des « jessours », in : Séminaire sur la recherche scientifique et le développement des zones arides de Tunisie, Tozeur, novembre ; *multigr.* 5 p.
- HORTON (RE), 1945. — Erosional development of streams and their drainage basins ; *Bull. Geol. Soc. Am.* 56 : 275-370.
- JUHASZ (I.), 1981. — Evaluation de l'intensité des pluies des espaces à données manquantes (en Algérie) ; *la Houille Blanche* 7/8 : 577-580.
- KADIK (B.), 1982. — L'érosion, la conservation et la restauration des sols en Algérie ; *Bull. INRF* n° 10, à paraître.
- KARST (J.), 1942. — Une expérience de lutte contre l'érosion et de travaux de protection de pentes en Oranie (Bassin de l'Oued Mellah) ; *Bull. Soc. Géog. et Arch. d'Oran* 63 : 108-130.
- KASSAB (F.), 1979. — Les très fortes pluies en Tunisie ; Ed. Fac. Lettres Tunis, 2° série : *Géog.*, n° 11, 234 p.
- LAL (R.), 1982. — Effects of slope length and terracing on runoff and erosion on a tropical soil ; *JAS* n° 137 : 23-31.
- LEWIS (LA), 1981. — The movement of soil materials during a rainy season in western Nigeria ; *Geoderma* 25 (1/2) : 13-25.
- LOWDERMILK (WC), 1939. — Le problème de la conservation du sol dans l'agriculture tunisienne ; *la Tunisie Agricole* 6 : 126-129.
- LOWDERMILK (WC), 1947/48. — Soil erosion and irrigation storage in North Africa ; *C.R. Conf. Pédol. Méditerran. Alger — Montpellier 1947*, 405-406, Ed. Ass. Franc. Et. Sol, Paris.
- LOWDERMILK (WC), 1948. — L'eau et la conservation du sol au Maroc ; *multigr.* 56 p., GETIM (SOMET).
- LOWDERMILK (WC), 1949. — Erosion et conservation du sol en Algérie ; Service de la DRS, *multigr.* 38 p.
- MARA (Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire) 1961. — Recueil des textes législatifs et réglementaires relatifs aux Forêts et à la DRS en Algérie ; Ed. Administration des Forêts et de la DRS, 68 p.
- MARTELLOT (P.), 1957. — L'érosion dans la montagne Kroumire ; *Rev. Géog. Alpine*, 45(2) : 273-288.
- MASSON (JM), 1971. — L'érosion des sols par l'eau en climat méditerranéen : méthodes expérimentales pour l'étude des quantités érodées à l'échelle du champ ; Thèse Doct. Ing. Montpellier, *multigr.* 213 p., annexes, n° CNRS AD 5445.
- MONESTIER-SAVIGNAT (A.), 1858. — Etude sur les phénomènes, l'aménagement et la législation des eaux au point

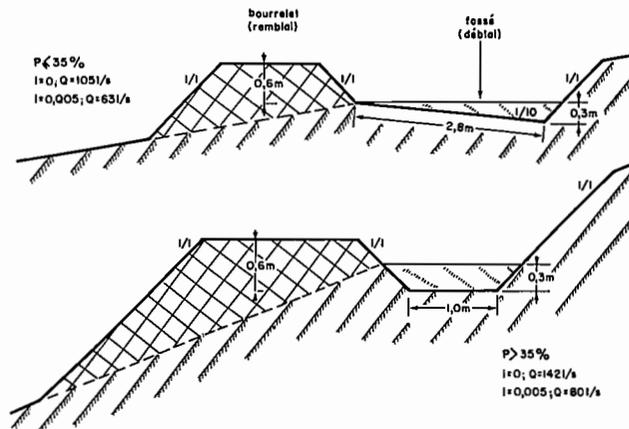
- de vue des inondations avec applications au bassin de l'Allier ; Dalmont, Paris, 544 p.
- OSMAN-AKAN (A.), CAGLAR-EZEN (S.), 1982. — Mathematical simulation of erosion on graded terraces : *IAHS* n°137 : 221-228.
- PLANTIE (L.), 1960. — Technique franco-algérienne de banquettes de Défense et Restauration des Sols ; *Agr. Alg.* 5/6 (1961) 24 p. ; Brochure *Dir. Agr. For.* 24 p. ; Colloque de Téhéran, *Dir. Agr. Forêts* : 237-266.
- PLATEAU (H.), 1976. — La défense et la restauration des sols depuis l'indépendance du Maroc : novembre 1955-novembre 1976 ; *Rev. For. Fr.* 28(3) : 231-238.
- PUTOD (R.), 1956. — La protection des vignes contre l'érosion ; *Rev. Agr. Afr. Nord.*, 1992 : 567-576.
- QUENEY (P.), CUNY (M.), 1943. — Etude sur les pluies torrentielles ; *Trav. Inst. Met. Phys. Globe* Algérie, fasc.2.
- ROBERT (P.), 1970. — Comportement des systèmes anti-érosifs de l'administration des Eaux et Forêts dans le Pré-Rif ; *Bull. Liaison Ing. For. Maroc* 2 : 33-46.
- SACCARDY (L.), 1950. — Note sur le calcul des banquettes de restauration des sols ; *Terres et Eaux*, Alger, 11 : 3-19.
- SAKISS (N.), JATON (JF), 1980. — Etude du système hydrologique « Meskat » : analyse du ruissellement ; *Inst. Gén. Rur.* Lausanne, 19 p. annexes.
- SARI (D.), 1977. — L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis (Algérie) ; *SNED*, Alger, 624 p.
- SASSI (MN), 1977/81. — Intensité des précipitations à Tunis — Carthage, 62 p. (1977) ; à Jendouba, 63 p. (1978) ; à Kairouan, 63 p. (1980) ; à Sfax, sous presse ; *multigr.* Institut National Météorologique.
- SHENG (TC), 1977. — Protection of cultivated slopes : terracing steep slopes in humid regions ; *in* : Guidelines for watershed Management, FAO Conservation Guide n° 1 : 147-179.
- SIDA, 1977. — Propositions pour le renforcement de la législation sur la conservation des eaux et du sol ; *SIDA-TUN* 5/13, AD 59, *multigr.* 19 p.
- SOGETIM, 1959. — Mise en valeur des zones semi-arides : aménagement des sols dans la Bahira ; digues et terrasses d'Anakir ; *Min. Agric. Rabat*, *multigr.* 80 p., annexes.
- SOLIGNAC (M.), 1953. — Recherches sur les installations hydrauliques de Kairouan et des steppes tunisiennes du 7° au 11° siècle ; *Annales Inst. Et. Orient.*, Fac. Lettres, Alger, n° 13, 395 p.
- THIRRIOT (C.), MAALLEL (K.), TRIKI (M.), 1981. — Fonction de répartition des averses en Tunisie ; *La Houille Blanche* 7/8 : 541-548.
- TROUILLET (A.), 1926. — Barrages de colmatage et utilisation des eaux de ruissellement ; *La Tunisie Agricole* 3 : 46-52.
- WISCHMEIER (WH), SMITH (DD), 1978. — Predicting rainfall erosion losses : a guide to conservation planning ; *USDA Agriculture Handbook* n° 537, 58 p.
- ZINGG (RW), 1940. — Degree and length of slope as it affects soil loss in runoff ; *Agri. Eng.* 21 : 59-64.

Annexe 1 Banquette de DRS-CES

Vue perspective d'un réseau de banquette



Profil en travers d'une banquette



Annexe 2 Normes de la formule de Saccardy

Formule de SACCARDY : $P < 0,25; H^3 = 260P; P > 0,25; H^2 = 64P$

P	0,03	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
H	1,98	2,35	2,96	3,39	3,73	4,01	4,38	4,73	5,06	5,37	5,66
D	66,00	47,00	29,60	22,60	18,60	16,00	14,60	13,50	12,60	11,90	11,30
L	66,00	47,10	29,80	22,90	19,00	16,50	15,20	14,30	13,60	13,10	12,70
R	0,330	0,235	0,148	0,115	0,095	0,083	0,077	0,072	0,068	0,065	0,063
LS	0,40	0,60	1,30	2,80	3,20	4,20	5,50	5,80	8,20	9,60	11,00
T1	2,33	3,28	5,19	6,70	8,11	9,25	10,03	10,73	9,51	10,00	10,26
T2	2,53	3,69	6,32	8,68	11,20	13,50	15,20	16,80	2,00	22,00	23,60
T3	2,45	3,51	5,82	7,76	9,72	11,50	12,60	13,70	13,50	14,40	15,10
T4	3,41	5,88	17,50	70,00	-	-	-	-	-	-	-
R5	0,088	0,063	0,040	0,031	0,025	0,022	0,020	0,019	0,018	0,017	0,017
T5	10,70	16,30	31,80	-	-	-	-	-	-	-	-
I5	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	1,20	1,30

- P = Pente du versant : 3 ‰ = 0,03
H = Distance verticale entre deux banquettes, en mètres
D = Distance horizontale entre deux banquettes, en mètres
L = Longueur de pente entre deux banquettes, en mètres
R = lame ruisselée par l'interbanquette, pour une intensité pluviale de 3 mm/minute et un coefficient de ruissellement de 100 %, en dm^2/s
LS = Facteur topographique WISCHMEIER
T1 = Temps de remplissage du fossé d'un élément de banquette, sans exutoire, en minutes
T2 = Temps de remplissage du fossé d'une banquette avec $i = 0$, longue de 400m " "
T3 = Temps de remplissage du fossé enherbé d'une banquette avec $i = 0,005$, " " "
T4 = Temps de remplissage du fossé en terre " " " "
R5 = lame ruisselée par l'interbanquette, pour une intensité pluviale de 1mm/minute et un coefficient de ruissellement de 80 %, en dm^2/s
T5 = Temps de remplissage du fossé enherbé d'une banquette avec $i = 0,005$ longue de 400 mètres, en minutes, pour une lame R5
I5 = Intensité pluviale maxima d'une pluie de longue durée que peut évacuer le chenal enherbé d'une banquette avec $i = 0,0005$, en mm/minute
i = Pente du profil en long du fossé de la banquette
Q = Débit du fossé de la banquette, en l/s
U = Vitesse de circulation de l'eau dans le fossé de la banquette, en m/s

Tabias et jessour du Sud tunisien

Agriculture dans les zones marginales et parade à l'érosion

J. BONVALLOT

Géographe ORSTOM, B.P.529 Papeete Polynésie Française

RÉSUMÉ

A la suite de pluies exceptionnelles, l'auteur a étudié les aménagements de petite hydraulique de la région de Médenine en Tunisie du Sud. Il les décrit et distingue les ouvrages implantés en montagne, fruits d'une expérience pluriséculaire, de ceux, plus récents, qui colonisent les glacis et cônes de piedmont de la Jeffara. Une réelle protection de ce piedmont contre les crues et l'érosion ne peut être assurée que si l'on maintient et restaure les équipements de petite hydraulique de la montagne.

MOTS-CLÉS : Tunisie méridionale — Petite hydraulique — Agriculture — Pluies exceptionnelles — Erosion.

ABSTRACT

TABIAS AND JESSOUR OF SOUTH TUNISIA
AGRICULTURE IN THE MARGINAL ZONES AND PROTECTION AGAINST EROSION

After some exceptional rainfalls have been observed, the author studied the minor hydraulic works in the Medenine area of southern Tunisia. He describes them and distinguishes the works in the mountainous zone resulting from a century-old experience from the more recent ones which occupy the glacis and cones of the Jeffara piedmont. A true protection of this piedmont against floods and erosion can be secured only if the small scale hydraulic works in the mountainous zone are preserved and restored.

KEY WORDS : Southern Tunisia — Minor hydraulic works — Agriculture — Exceptional rainfalls — Erosion.

INTRODUCTION

Entre le 3 et le 6 mars 1979, des pluies d'une violence extrême s'abattaient sur le Sud tunisien. Provoquées par une intense cyclogenèse sur le golfe de Gabès, engendrée par une infiltration d'air froid venant du nord, elles déclenchèrent des crues énormes qui furent la cause des dégâts considérables subis par l'infrastructure routière, notamment le long des axes Médenine-Gabès et Médenine-Beni Khedach : de nombreux radiers furent en partie ou totalement détruits ou enfouis sous plusieurs mètres d'alluvions, rendant toute circulation

impossible pendant plusieurs jours, voire quelques semaines ; sur l'oued Morra, cours inférieur de l'oued Metameur, un barrage de dérivation des eaux de crue fut partiellement détruit par le flot (GIRARD, 1979).

Quelques semaines plus tard, le bilan officiel des dégâts était connu à travers plusieurs articles parus dans la presse. Dans le Cheikhat de Ksar Hallouf (délégation de Beni Khedach) par exemple, on recensait 57 habitations troglodytes effondrées alors que dans les deux délégations de Tataouine et de Beni Khedach, un total de 890 habitations étaient détruites, 100 citernes publiques ou privées comblées par la terre apportée par

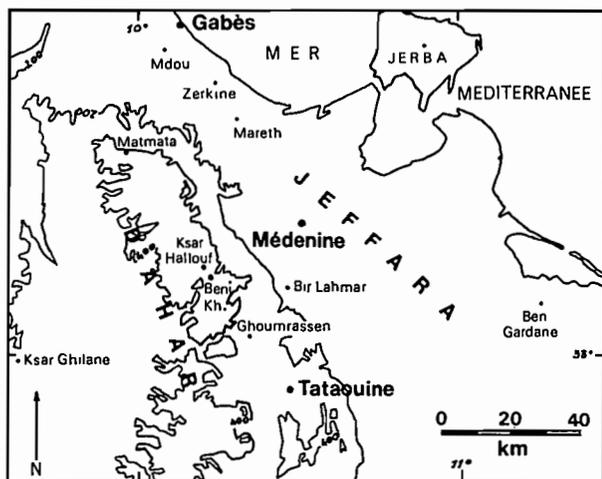


Fig. 1. — Localisation

le ruissellement, 1400 km de pistes agricoles gravement endommagées et 7 600 ovins et caprins tués. Par ailleurs, la délégation de Beni Khedach évoquait la destruction de 8 232 digues et « tabias » alors que dans celle de Tataouine, c'était 12 662 digues en terre qui s'étaient « effondrées ». A Ksar Hallouf, les dégâts étaient estimés à 295 000 dinars (1).

A la suite de cette catastrophe, je fus chargé, à la demande de la Direction des Ressources en Eaux et en

Sol du ministère de l'Agriculture de Tunisie, d'une mission d'évaluation des dégâts subis par les ouvrages de petite hydraulique agricole et donc amené à étudier en détail les digues et « tabias » dont il était beaucoup question dans la littérature journalistique du moment.

Pour cette région de Tunisie, située aux portes du Sahara, très peu arrosée « en moyenne » (100 à 250 mm/an), il s'agissait bien sûr d'un traumatisme climatique majeur assorti de conséquences tragiques qu'il n'est pas impossible de voir resurgir ultérieurement, étant donné les caractéristiques écologiques assez particulières de cette région dévastée.

APERÇU SUR LES CONDITIONS DE MILIEU

Les caractéristiques du milieu naturel se prêtent remarquablement au déclenchement du ruissellement dès que les intensités pluviométriques deviennent importantes (2). La région en effet est formée à l'ouest par un vaste plateau structural culminant aux alentours de 700 m d'altitude façonné dans les couches essentiellement calcaires de l'Oxfordien, du Callovien, de l'Albo-Aptien et du Turonien, s'inclinant doucement en direction de l'ouest et du Sahara : le Dahar. Vers l'est, au contraire, ce plateau domine, par l'intermédiaire d'une double cuesta aux pentes fortes, la vaste plaine de la Jeffara façonnée en glacis souvent encroûtés par le calcaire, dans les roches plus tendres du Trias, à des altitudes comprises entre le niveau de la mer et 300 m (fig.2).

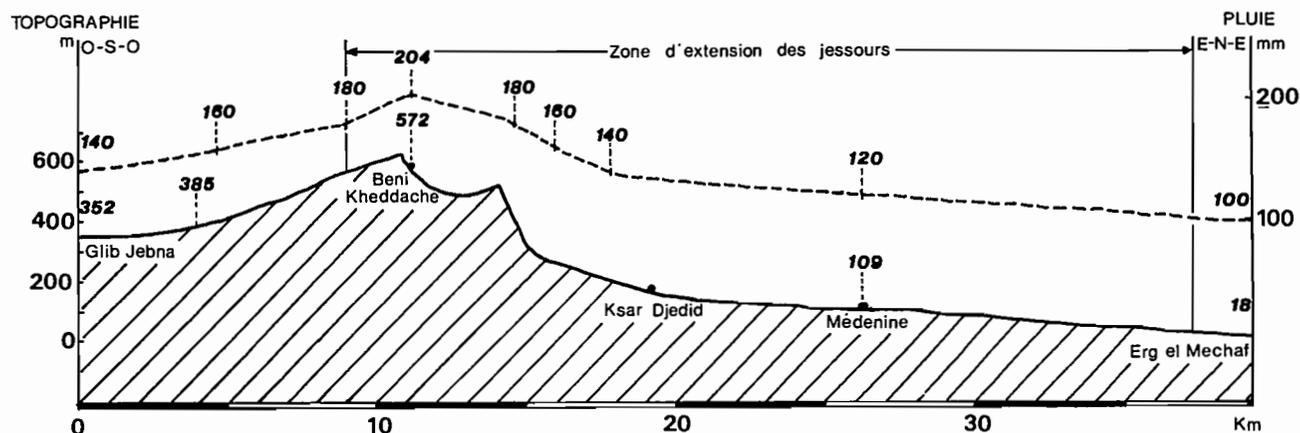


Fig.2. — La double cuesta du Dahar dans la région de Beni Khedach et la Jeffara près de Médenine. (Les tiretés mentionnent la pluviosité moyenne annuelle)

(1) Un dinar tunisien : 11,00 F.F.

(2) A Gabès, par exemple, toutes les pluies d'au moins 30 mm de hauteur provoquent ruissellement et érosion (FERZI, ZANTE, 1980).

Dans tout le secteur montagneux des Matmata et du Djebel Demmer, principalement dans les vallées et dans les dépressions situées entre les deux cuestas, les terrains calcaires sont recouverts, sur plusieurs mètres d'épaisseur, d'un matelas de loess qui s'est déposé là durant les périodes pluviales du quaternaire (ce loess fait la « richesse » agricole d'un pays par ailleurs exempt de sols assez profonds propices aux cultures annuelles). Ce matériel, dont la dernière phase de dépôt est comprise entre 30 000 et 10 000 ans B.P. (COUDÉ-GAUSSIN *et al.*, 1983) a subi des phases de pédogénèse (20-22 000 B.P. et 27-29 000 B.P.) avec différenciation d'horizons, et des phases de reprise d'érosion localisée qui ont permis son épandage sous forme de terrasse dans la plaine de la Jeffara.

Les oueds prenant naissance non loin de la ligne de crête s'écoulent sur des pentes relativement faibles vers l'ouest et le Sahara, alors que vers l'est, leur haut-bassin versant façonné dans un secteur de pentes très fortes est relayé par de grands cônes de déjection caillouteux puis par de grands glacis parcourus de chenaux bien calibrés. Les conditions de l'écoulement, tributaires des pentes mais également de la taille des bassins versants, sont donc beaucoup plus propices aux phénomènes d'ablation sur le versant tourné vers la Méditerranée que sur celui qui est tourné vers le Sahara. Le relief a en outre une forte influence sur le volume des précipitations comme le montre la figure 2 qui souligne un fort gradient pluviométrique en fonction de l'altitude. C'est donc dans les zones de plus fortes pentes que les pluies sont les plus abondantes.

C'est également là que le maigre couvert végétal n'assure aucun rôle d'écran entre le sol et les pluies. Les escarpements calcaires sont en général occupés par une steppe claire à *Stipa tenacissima* (alfa) qui n'assure qu'un recouvrement maximum de 20 % (CHAHBANI, 1984).

Dans cette région, placée par les écologistes dans l'étage méditerranéen aride inférieur pour la plaine et aride moyen pour la montagne (FLORET, PONTANIER, 1982), les conditions climatiques sévères sont extrêmement contraignantes pour la céréaliculture sans irrigation pourtant couramment pratiquée dans la Jeffara au gré de pluies souvent ponctuelles. Cette spéculation qui va en se développant, utilisant de plus en plus de moyens mécaniques lourds, revêt un véritable caractère de « loterie », une année sur quatre en moyenne garantissant une récolte satisfaisante en un lieu donné. Seule, la dispersion des champs sur une vaste zone, de façon

à réduire le risque climatique, permet, dans une certaine mesure, de remédier à cet inconvénient. Les pratiques traditionnelles à la sécheresse en plaine, basées sur l'épandage des crues des oueds par des prises directes ou sur l'utilisation de la décrue autour de dépressions submergées épisodiquement, si elles sont encore localement utilisées, sont inadaptées à l'agriculture mécanisée et donc sous-employées (FLORET, PONTANIER, *op.cit.*)

Dans les vallées de montagne, mais également le long de celles qui entaillent les glacis encroûtés de la Jeffara, le contrôle du ruissellement à des fins agricoles a toujours été une des préoccupations majeures des habitants, même si l'on assiste, depuis quelques décennies, à une désaffection évidente pour certains aménagements pourtant extrêmement efficaces (1).

UN SYSTÈME INGÉNIEUX EN VOIE D'ABANDON : « TABIAS » ET « JESSOUR ».

Les « tabias » et « jessour » bien connus ont été depuis longtemps considérés comme étant un des moyens les plus sûrs pour garantir les récoltes dans ces zones péri-désertiques climatiquement marginales pour l'agriculture (travaux de PERVINQUIÈRE, DESPOIS, BOUREAU, CHAHBANI). Les techniques employées ne sont pas propres au Sud tunisien. Elles ont été mises en œuvre dès l'Antiquité, partout en zone aride et semi-aride, chaque fois que le climat ne garantissait pas la régularité des récoltes. C'est le cas notamment en bordure du désert du Neguev (YAIR, 1985) dans une région elle aussi tapissée d'épandages éoliens de type loess.

En Tunisie, les aménagements de talwegs n'ont pas été réalisés uniquement dans les montagnes de la région des Matmata. TIXERONT (1961) en retrouve trace aux jebels Bou Hedma et Ben Younés plus au nord. En Tunisie centrale, nos prospections personnelles signalent des petits barrages en pierres, vraisemblablement romains, retenant un sol épais dans maintes vallées du jebel Semmama non loin de Sbeitla.

Les ouvrages ainsi réalisés patiemment dans le Sud tunisien sont surtout répandus dans les jebels et c'est bien là qu'il faut y rechercher les modèles les plus perfectionnés. Ils occupent chaque talweg, même le plus étroit, le jalonnant d'une coulée de végétation où les couronnes vert sombre des oliviers, le pâle feuillage des figuiers contrastent avec l'aspect jaunâtre des versants arides qui les dominent (fig.3).

(1) Désaffection qu'il faudrait mettre en parallèle avec l'exode rural, difficilement chiffrable et l'émigration vers l'étranger (6 à 7 % de la population totale des délégations de la région) d'hommes jeunes.

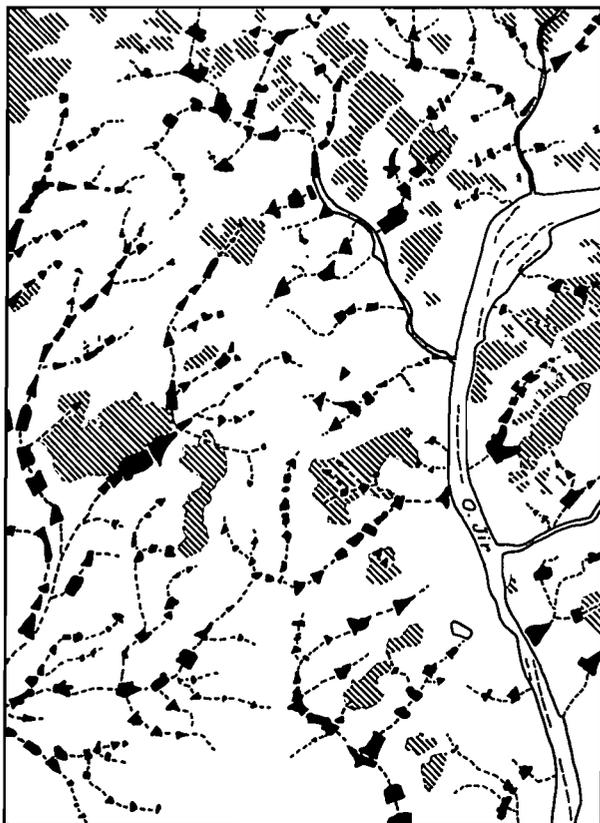


Fig. 3. — Réseau hydrographique et « jessour » (en noir) ; en hachures, les zones de « Bad-lands ». Interprétation de la photographie aérienne 091 CLVII/250 TUN. 1963, échelle 1/25 000 env., extraite de FLORET, PONTANIER 1982.

La répartition régionale répond avant tout à des critères pluviométriques. En effet, vers l'ouest, sur le Dahar, au-delà de la ligne de crête principale, la plu-

viosité diminuant rapidement, les talwegs des oueds ne sont plus équipés que sur quelques kilomètres (TIXERONT, *op.cit.*). La rareté des pluies sur le revers ne permet plus aucune activité agricole permanente (fig. 2).

Mais le volume des précipitations n'est pas le seul facteur de répartition des « jessour » dans la chaîne de montagnes. Encore faut-il que les pluies qui s'abattent sur les reliefs puissent éroder suffisamment de matériaux meubles pour que, derrière chaque retenue, sédimente un sol épais. C'est donc sur les affleurements de limons à nodules calcaires que l'on rencontrera les paysages agraires les plus accomplis, chaque petite vallée étant alors fractionnée en une multitude de petits champs en terrasses.

Il s'est donc agi, pour l'agriculteur, de mettre en œuvre des solutions techniques qui permettent de profiter au mieux du ruissellement et de l'érosion des terres des bassins versants dominant les lieux qu'il se proposait de mettre en valeur : l'aménagement consistait alors en l'édification de barrages en travers du fond des oueds afin de piéger, en amont, un sol de plus en plus profond et des réserves d'eau suffisantes pour permettre la culture arbustive, mais aussi la céréaliculture.

Le barrage ou « tabia » pour le terme le plus général, appelé aussi « ketra » lorsqu'il est de taille réduite, est construit le plus fréquemment avec de la terre prélevée au fond de la vallée ou sur les versants. Certaines parties requièrent cependant l'utilisation de pierres que l'on ramasse à proximité.

La hauteur des barrages varie de deux à cinq mètres en général (1).

Ils peuvent avoir jusqu'à une centaine de mètres de longueur dans les vallées les plus larges mais plus fréquemment quelques dizaines de mètres. Leur profil en travers est grossièrement trapézoïdal (fig. 4), la « tabia »

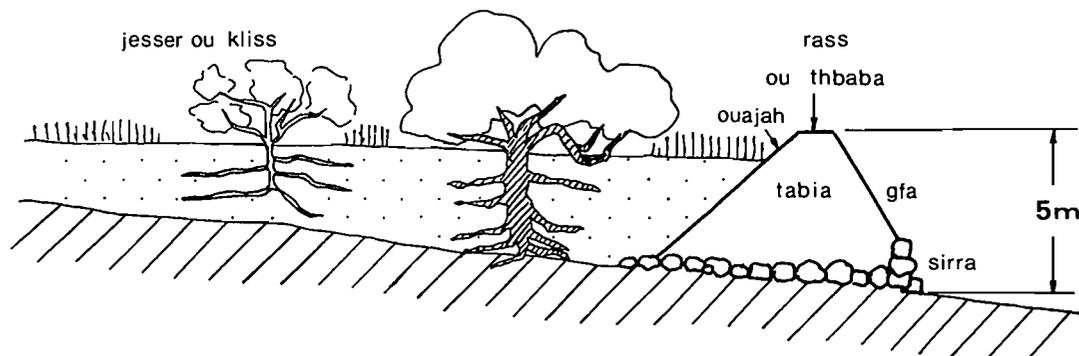


Fig. 4. — Profil d'une tabia et de son jesser.

(1) Dans la région de Beni Khedach subsistent les vestiges d'énormes « tabias » attribuées à l'occupation romaine, qui ont une dizaine de mètres de haut.

étant armée vers l'aval par un mur de pierres sèches plus ou moins puissant appelé « sirra ». L'avers, (« ouajah »), et le revers, (« gfa »), sont colonisés par la végétation herbacée dont le réseau racinaire accroît la cohésion de l'ensemble. Le sommet (« rass » ou « thbaba » suivant les régions), utilisé comme sentier, permet de passer aisément d'un versant à l'autre.

Derrière la « tabia » s'accumulent au cours du temps des volumes importants de matériaux meubles, généralement des limons et des sables arrachés au versant par le ruissellement (1), mais parfois aussi, lorsqu'une « tabia » cède immédiatement en amont, des matériaux plus grossiers qui viennent recouvrir et stériliser le sol cultivable (2). Le « jesser » ainsi créé emmagasine des quantités d'eau importantes, une petite nappe phréatique se créant temporairement après les pluies. On peut encore accroître l'alimentation hydrique en collectant l'eau sur le versant au moyen de murettes qui guident l'écoulement vers la parcelle.

L'agriculteur a donc la possibilité, par ce système, de se livrer à des cultures relativement exigeantes en eau qu'il ne pourrait pas envisager sans aménagement : oliviers, figuiers, grenadiers, amandiers, mais aussi certaines cultures annuelles (orge, petits pois, lentilles, fèves, pastèques) qui donnent à chaque talweg un aspect constamment verdoyant.

Afin de pouvoir résister aux plus fortes averses, le système des « tabias » a été doté de plusieurs types de déversoirs.

Le déversoir latéral (« menfess ») est ménagé à une ou aux deux extrémités de la « tabia » à son contact avec les versants (fig.5). Il consiste en général en une saignée incurvée dont le seuil se situe le plus souvent au niveau du tiers supérieur de la digue. Il permet à l'eau en excès de s'écouler vers les « jessour » de l'aval, car il s'agit aussi de ménager une bonne alimentation en eau aux parcelles voisines. Les surplus s'écoulant, par ce type de déversoir, sur le versant sur lequel s'appuie la « tabia », perdent beaucoup de leur énergie au cours de leur trajet, et ne provoquent donc pas de dégâts en arrivant dans le « jesser » de l'aval.

La culée verticale du déversoir qui s'appuie contre la « tabia » est souvent en pierres sèches. Mais il arrive aussi qu'elle ne soit pas protégée. Dans bien des cas également, le seuil déversant est armé d'une couche de grosses pierres afin d'éviter l'érosion ravinante.

Il ne paraît pas y avoir de loi bien précise quant à

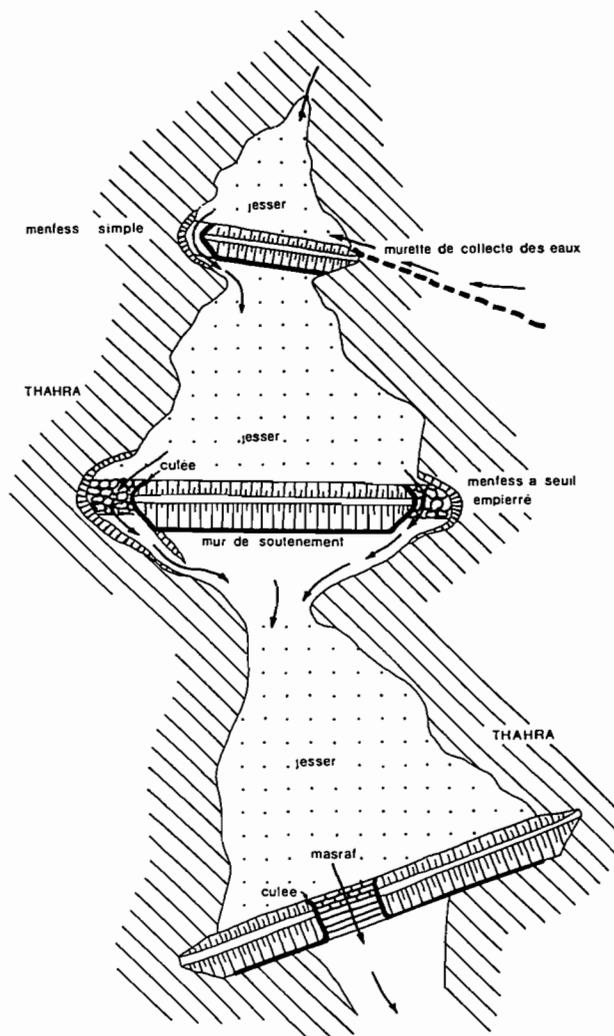


Fig.5. — Tabias et déversoirs.

la présence sur chaque « tabia » d'un ou deux déversoirs de type « menfess ». Tout au plus peut-on noter, sans que cela soit une loi absolue, que les plus grandes sont équipées de deux déversoirs. Parfois même, des digues à un seul « menfess » se voient dotées au fil du temps d'un second, le fonctionnement du premier ayant été jugé insatisfaisant.

Au total, d'après nos observations (BONVALLOT, 1979), la technique du déversoir de type « menfess » est la plus employée puisque 60 % des ouvrages situés dans la zone de montagnes en sont équipés.

(1) La classification française des sols fait de ces matériaux des sols peu évolués d'apport alluvial sur alluvions récentes sableuses à sablo-limoneuses (M'TIMET, ESCADAFAL, 1982).

(2) Parfois, l'agriculteur laboure le versant dominant immédiatement son champ afin de favoriser le décapage par le ruissellement et donc accroître les quantités de terre piégées en arrière de sa « tabia ».

Le *déversoir central*, « masraf », dont 38 % des « tabias » sont munies, est beaucoup plus difficile à construire et demande plus d'investissements en travail et en matériaux. Il consiste à installer, au milieu de la digue, entre deux culées de pierres sèches ou maçonnées, un seuil déversant dont la partie aval est formée de pierres taillées disposées en escalier afin de briser l'énergie de l'eau.

D'après les paysans, un tel type d'ouvrage n'est pas construit habituellement par eux mais représente plutôt une innovation introduite par les pouvoirs publics depuis un demi-siècle environ. Aussi est-il plus ou moins bien accueilli par les « djebalia » (1). Car, pour qu'il puisse résister aux plus fortes crues, il faut qu'il soit assis sur une barre rocheuse dure qui s'oppose aux affouillements, ce qui est rarement le cas (HIZEM, 1979). En outre, alors que le déversoir « menfess » peut parfaitement s'élargir naturellement par érosion latérale du versant (lorsqu'il est revêtu de formations superficielles meubles) lors des crues exceptionnelles, le lourd « masraf », armé de solides culées verticales ne peut, s'il est insuffisamment large, évacuer assez d'eau et provoque alors la rupture de la « tabia ».

Ces quelques considérations permettent de voir à quel point ce système des « jessour », fruit d'une expérience ancestrale, assure aux paysans une parfaite maîtrise de l'eau. Car tout ici réside dans la recherche d'un équilibre précaire entre les avantages retirés par un piégeage optimum de l'eau et de la terre et les risques encourus par les « tabias ».

En effet, si les seuils des déversoirs sont trop haut placés, les « jessour » situés en aval seront dépourvus d'eau et les récoltes seront insuffisantes. Si le déversoir lui-même n'est pas assez large, l'eau emmagasinée au cours de la crue risque de miner la digue et de provoquer une brèche qui, par érosion régressive, évacuera une bonne partie de la terre du « jesser ». En outre, la rupture d'une « tabia » entraîne presque inévitablement la rupture de celles qui sont situées en aval.

Si au contraire, les seuils des déversoirs sont placés trop bas ou si les déversoirs sont trop larges, il y aura piégeage insuffisant d'eau et de sol et la production du « jesser » sera jugée insatisfaisante par le fellah.

Dans la région de Beni Khedach étudiée en détail par CHAHBANI (*op.cit.*), au-delà de 35 mm d'eau ruisselée, tous les « jessour » débordent ; cette situation est évaluée par l'auteur comme devant se reproduire avec une fréquence de retour de 5 ans pour 50 % des aménagements.

On conçoit donc que le maintien d'un tel système exige un effort permanent. La réfection des seuils, le colmatage des brèches dues au ruissellement et des terriers de rongeurs, la réédification des murs de soutènement, la surélévation progressive du faite de la « tabia » et des seuils des déversoirs au rythme de l'alluvionnement, occupent le paysan après les récoltes d'été.

Il s'agit bien là d'une mise en valeur des talwegs à des fins de production agricole qui permet, par ralentissements successifs de l'eau de l'amont vers l'aval et par prélèvements échelonnés de celle-ci par chaque « jesser », une régulation très efficace des oueds, un effet retardateur indéniable et, partant, une bonne protection des basses vallées contre les dévastations des crues. L'expérience pluriséculaire des fellahs du jebel en matière de construction de digues et d'aménagement des seuils repose sur une subtile évaluation des paramètres de l'écoulement. Elle prend remarquablement en compte, dans un calcul économique peut-être inconscient, l'éventualité de dégradations du système lors d'événements climatiques exceptionnels puisqu'il n'est pas conçu, comme ce fut certainement le cas pour les ouvrages réalisés sous l'Antiquité, pour résister aux crues les plus fortes et ne nécessite donc pas de colossaux efforts de construction. Mais, comme nous l'avons vu plus haut, « tabias » et « jessour » supposent une présence constante de l'agriculteur sur son terroir, une forte occupation agricole qui tend, hélas, de plus en plus, à devenir marginale. Si les densités rurales pour une région aussi peu arrosée restent fortes (selon INST, 1984, de 15 à 25 habitants au km² suivant les délégations), on assiste néanmoins à un abandon progressif des techniques traditionnelles pourtant seules capables de s'opposer au ruissellement. Certaines vallées sont actuellement quasi désertées comme celle de l'oued Temzaïet non loin de Bir Lahmar, si bien que, lors des tournées que nous avons effectuées pour évaluer les dégâts dus aux pluies de février-mars 1979, nous avons constaté que, dans cette vallée, 90 % des « jessour » avaient été gravement endommagés alors que dans la vallée voisine de l'oued el Khil, en même situation climatique, 30 % seulement des aménagements avaient été touchés (BONVALLOT, 1979).

Il semble donc y avoir relation entre manque d'entretien et dégâts encourus. Si cette situation est due, dans certains cas, au départ des populations vers d'autres régions supposées plus accueillantes, elle peut résulter aussi, mais ceci est plus difficile à évaluer, du manque de main-d'œuvre masculine jeune partie dans les grandes villes de Tunisie ou à l'étranger à la recherche d'emplois jugés plus lucratifs.

(1) montagnards.

UN SYSTÈME PLUS RÉCENT : LES DIGUES SUR PIEDMONT.

Comparées aux « jessour » du jebel, les digues sur piedmont, que l'on voit se multiplier depuis quelques décennies sur les glacis de la Jeffara, apparaissent comme des aménagements bien rudimentaires.

Il s'agit de digues basses « fusibles », de quelques centaines de mètres de long, édifiées au moyen de tracteurs munis de pelleuses et qui interceptent le ruissellement anastomosé des zones d'épandage ou le ruissellement pelliculaire de la surface des glacis. Souvent, les oueds descendant des jebels étalent largement leurs eaux sur de grands cônes de déjection surbaissés et il s'agit de créer, comme le long des talwegs de l'amont, mais sur des surfaces beaucoup plus importantes, des conditions favorables à la réussite de l'arboriculture et de la céréaliculture.

Ici, par souci de rentabilité, il n'y a pas d'investissement coûteux (hors celui de départ) comme la construction de déversoirs et pas d'entretien fréquent des digues. Car il est impératif pour le paysan de trouver des solutions qui, malgré les dépenses entraînées par l'utilisation des tracteurs, lui procurent des bénéfices acceptables. Il se limite donc à construire une digue en terre de deux mètres de haut tout au plus, qui, vue en plan, a la forme d'un V très évasé dont la pointe est tournée vers l'aval. Les matériaux sont compactés de façon rudimentaire par la pelleuse. Les extrémités des branches du dispositif sont parfois armées de pierres sèches récoltées à proximité, afin d'éviter de trop gros dégâts lorsque l'eau se déverse.

La compaction mal assurée par les engins mécaniques, la mauvaise implantation des digues vis-à-vis de l'écoulement (la bissectrice de l'angle formé par les deux branches de la digue est en effet rarement parallèle à la ligne de plus grande pente, si bien que les déversements se font d'un seul côté), l'absence de déversoir, le manque d'entretien, provoquent souvent la rupture du système. Ces accidents sont d'ailleurs plus ou moins pris en compte dans le calcul de la rentabilité des installations. Car, en édifiant de très longues digues sur le glacis, le fellah s'attend à les voir céder de temps en temps, mais, à notre sens, cet inconvénient lui semble largement compensé par les avantages d'une vaste superficie, parfois proche de l'hectare, cultivée d'un seul tenant par des moyens modernes.

En mars 1979, cependant, les dégâts au système des glacis ont affecté environ 60 % des ouvrages. La rupture en chaîne des digues a provoqué sur ces surfaces où rien ne s'oppose véritablement au ruissellement, une onde de crue dévastatrice qui, dans la région de Ksar Jedid par exemple, a emporté la route goudronnée en plusieurs points et sur plusieurs centaines de mètres de longueur.

RÉFLEXIONS SUR L'ÉVOLUTION COMPARÉE DE CES AMÉNAGEMENTS

La vogue des aménagements « modernes » sur glacis de la Jeffara traduit en fait la désaffection de plus en plus prononcée pour les « jessour » traditionnels du jebel. Ce relatif abandon s'explique aisément par les difficultés de la vie en montagne comparée à celle que l'on peut mener sur les piedmonts, non loin des grandes villes, dans un moins grand isolement.

L'utilisation quasi générale du tracteur, pour l'achat duquel l'argent de l'émigration est le bienvenu et les facilités consenties par l'Etat sont déterminantes, permet la mise en culture de vastes surfaces qui n'existent d'ailleurs pas dans les talwegs étroits des montagnes.

En fait, les emprunts technologiques à la tradition dans l'édification des ouvrages de piedmont sont quasiment inexistantes en dehors de celui de l'utilisation de la digue en terre. Et pourtant, le système ne peut se concevoir sans celui des talwegs et sans le contrôle à l'amont de l'intensité du ruissellement. En effet, si les conditions de l'écoulement s'aggravent en montagne, les épandages sur les glacis de l'aval seront de plus en plus dévastateurs. C'est pourquoi le développement d'une agriculture de piedmont doit être accompagné d'un maintien des aménagements traditionnels qui sont actuellement progressivement délaissés. Le relais des paysans doit donc être pris de façon beaucoup plus intensive qu'actuellement par l'Etat, afin de soutenir une agriculture qui a subi en mars 1979 un traumatisme dont on constate actuellement qu'elle se remet difficilement (CHAHBANI, *op.cit.*).

Mais, si intensification de l'aide étatique il doit y avoir, encore faut-il qu'elle réponde à un certain nombre de considérations techniques. La principale nous semble être l'abandon impératif de la technique des déversoirs de type « masraf ». Ce type d'ouvrage, s'il est valable d'un point de vue hydraulique, ne l'est plus lorsque l'on considère les atteintes qu'il subit au moment des fortes pluies. Edifié en pierres sèches, parfois consolidé par du ciment, il présente de nombreuses surfaces de discontinuité avec la « tabia » en terre et se trouve finalement assez facilement détruit par les eaux. Il faut en outre qu'il soit assis sur un banc de roche dure pour éviter les affouillements de la base, cas rarement réalisé dans une région où les limons affleurent dans la quasi-totalité des vallées. Sa construction nécessite de gros investissements si l'on considère le volume des matériaux qu'il requiert et les soins à y apporter. Un des inconvénients majeurs du « masraf » est, de l'avis même des paysans, son manque de capacité à retenir beaucoup d'eau en arrière de la « tabia » puisqu'il est toujours très bas et largement ouvert.

Mais pour les fellahs des jebels, son défaut principal est d'être « statique ». Le seuil déversant horizontal, très large et peu élevé par rapport à la surface du « jesser » ne peut, en effet, être surélevé progressivement au fur et à mesure de l'accumulation des alluvions car la vitesse de l'eau y est trop forte lors des déversements. Si bien que, lorsque le niveau de la parcelle atteint celui du seuil, l'agriculteur comble le « masraf » et revient à la technique traditionnelle du ou des déversoirs « menfess ». La désaffection pour les déversoirs de type « masraf », technique imposée de l'extérieur, est générale dans toute la zone de montagne à tel point que psychologiquement, le paysan se sent moins concerné par ses « jessour » lorsque ceux-ci ont fait l'objet d'une intervention de la part des « chantiers » financés par l'Etat.

* *
*

En conclusion, nous pensons que, *dans les zones montagneuses* de cette région du Sud tunisien, il importerait de revenir à la technique la plus largement pratiquée des « menfess » qui, à notre sens, ne présente que des avantages. L'essentiel étant qu'elle peut être directement mise en œuvre par le paysan qui la connaît bien. A l'inverse du « masraf », le « menfess », destiné à évacuer uniquement les surplus d'eau, est parfaitement évolutif puisque l'agriculteur, en plaçant le seuil assez haut au-dessus de la surface du « jesser », peut fort bien, si le besoin s'en fait sentir, accroître le piégeage de l'eau et de la terre en ajoutant une ligne de pierres sèches.

Dans le cas où les techniciens choisiraient de promouvoir l'implantation systématique de déversoirs de ce type, l'aide de l'Etat pourrait se faire de façon beaucoup plus discrète que pour la construction à grands frais des déversoirs « masraf » puisqu'elle permettrait d'associer aux travaux les propriétaires et leur famille. Dans ce contexte, l'aide de l'Etat devrait surtout avoir pour but, en dehors d'une légère fourniture de main-d'œuvre pour la réfection des ouvrages, de mettre à la disposition des paysans des matériaux, pierres et ciment, pour la consolidation des déversoirs.

Sur les glacis d'épandage de la Jeffara, partout où les digues édifiées mécaniquement se multiplient, des conseils techniques permettraient aisément de pallier les défauts actuels du système. Il conviendrait en particulier de promouvoir des tracés de digues mieux orientés par rapport aux écoulements dominants.

L'action étatique correctement réorientée doit donc impérativement se poursuivre et même se renforcer en montagne. Car la menace est grande de voir se développer dans les vallées, à l'image de celles de la région de Tamezret ou de Ksar el Ababsa, des paysages agraires désolés où de maigres céréales poussent chichement entre des ravins violemment incisés dans les sols d'anciens « jessour ». C'est à notre avis une menace très grave qui pèse sur les piedmonts très peuplés car, si l'abandon des techniques traditionnelles se poursuit, les eaux, n'étant plus freinées sur les fortes pentes, gagneront très rapidement la plaine et y provoqueront des dégâts beaucoup plus importants que ceux qui ont été déplorés jusqu'à présent.

BIBLIOGRAPHIE

- BONVALLOT (J.), 1979. — Comportement des ouvrages de petite hydraulique dans la région de Médenine (Tunisie du Sud) au cours des pluies exceptionnelles de mars 1979. *Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum.*, XVI (3) : 233-249.
- BOUREAU (P.Y.), 1975. — La terre et les hommes du Djebel Demmer (Sud tunisien). Thèse Doctorat 3^e Cycle, Géographie, Université de Toulouse-le-Mirail. 292 p., *multigr.*, 1 carte h.t.
- CHABAHNI (B.), 1984. — Contribution à l'étude de l'érosion hydrique des loess des Matmatas et de la destruction des jessour. Bassin versant de l'oued Demmer, Beni Khedache, Sud tunisien. Thèse Doctorat 3^e Cycle, Géomorphologie, Université de Paris I (Panthéon-Sorbonne). 187 p. *multigr.*
- COUDE-GAUSSIN (G.) *et al.*, 1983. — Datation de dépôts loessiques et variations climatiques à la bordure nord du Sahara algéro-tunisien. *Rev. Géol. dyn. et Géogr. phys.*, (24) I : 61-73.
- DESPOIS (J.), 1961. — La Tunisie. Collection A. Colin, Paris, 224 p.
- DRE-ORSTOM, 1979. — Compte rendu de la tournée du 18 et 19 avril 1979 par J. Girard ORSTOM Tunis, 4 p. *multigr.*
- FERSI (M.), 1978. — Dossier pluviométrique de Matmata. *Multigr.* DRES — Tunis.
- FERSI (M.), 1978. — Dossier pluviométrique de Médenine. *Multigr.* DRES — Tunis.
- FERSI (M.), ZANTE (P.), 1980. — Pluviométrie, bilan hydrique, érosion sur une toposéquence du Sud tunisien. Djebel Dissa. Synthèse 1972-1977. *Multigr.* 131 p. DRES — ORSTOM Tunis.

- FLORET (Ch.), PONTANIER (R.), 1982. — L'aridité en Tunisie présaharienne. *Trav. et Doc. de l'ORSTOM*, 150. 544 p.
- FOURNET (A.), 1967. — Prospection préliminaire dans les jessour du massif des Matmata. Zone test de Beni Khedache. Division des Sols, Tunis. Cartes 1/100 000 + notice.
- FOURNET (A.), 1969. — Prospection préliminaire dans les jessour du massif des Matmata. Zone test de el Ferch de Tataouine. Division des Sols, Tunis. Cartes 1/100 000 + notice.
- HIZEM (H.), 1979. — Construction des jessour. Séminaire sur la recherche scientifique et le développement des zones arides en Tunisie. Tozeur. Ministère de l'Agriculture, Tunis. 221-224.
- INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE, 1984. — Recensement Général de la Population et de l'Habitat. Ministère du Plan, Tunis. 283 p. *multigr.*
- ISNARD (H.), 1952. — La répartition saisonnière des pluies en Tunisie. *Ann. de Géogr.* : 357-362.
- KASSAB (A.), 1970. — Les pluies exceptionnelles de septembre et d'octobre 1969 en Tunisie. Maghreb et Sahara. Etudes géographiques offertes à Jean Despois : 193-218.
- KASSAB (F.), 1977. — Les précipitations exceptionnelles en Tunisie. Thèse Doctorat 3^e Cycle, Géographie, Université de Paris VII, 356 p. *multigr.*
- MATHIEU (G.), 1949. — Contribution à l'étude des Monts Troglodytes. Tunis.
- M'TIMET (A.), 1979. — Etude pédologique du bassin versant de l'oued Metameur. Zone aval (Plaine des Ababsa). *Multigr.* DRES—ORSTOM, Tunis, 132 p. + annexe 6 p. + pl. h.t. + cartes.
- M'TIMET (A.), ESCADAFAL (R.), 1982. — Carte des ressources en sols de la Tunisie. Feuille de Médenine. DRES Tunis, 18 p. *multigr.*, 1 carte h.t.
- NEBOIT (R.), 1983. — L'homme et l'érosion. Fac. Lettres et Sciences hum. de l'Université de Clermont-Ferrand II. Nlle. sér., 17. 183 p.
- PERVINQUIÈRE (L.), 1912. — Rapport sur une mission dans l'extrême Sud tunisien (frontière tuniso-tripolitaine). *Mémoires et Documents*, n° 2. Direction Générale de l'Agriculture, du Commerce et de la Colonisation, Tunis, 62 p.
- PONCET (J.), 1962. — Les rapports entre les modes d'exploitation agricole et l'érosion des sols en Tunisie. *Etudes et Mémoires*, 2, 169 p. Secrétariat d'Etat à l'Agriculture, Tunis.
- PONCET (J.), 1970. — La catastrophe climatique de l'automne 1969 en Tunisie. *Ann. de Géogr.* : 581-591.
- PROST (G.), 1954. — Utilisation de la terre et production dans le sud tunisien. Matmata et Ouderna. *Cah. de Tunisie*, 1^o trim. : 28-66.
- TIXERONT (J.), 1945-1946. — L'hydraulique agricole en Tunisie. Archives du BIRH Tunis 13 p. *multigr.*
- TIXERONT (J.), 1961. — Note sur la mise en valeur hydraulique des territoires du Sud Tunisien. Secrétariat d'Etat à l'Agriculture, Tunis. 113 p. *multigr.*, annexes, cartes.
- YAIR (A.), 1985. — The effect of hillslope hydrology on the spatial distribution of ancient agricultural systems in the Northern Negev desert. *International Geomorphology. Abstracts of papers for the First Intern. Conf. on Geomorphology.* p.667.

Vingt ans de lutte antiérosive au nord du Burkina Faso

Jean-Yves MARCHAL (1)

Géographe ORSTOM, UR 502, Cadres spatiaux de l'Indépendance alimentaire, 213, rue Lafayette 75010 Paris

RÉSUMÉ

Après avoir présenté ce qui s'est fait (1962-65) et se fait (depuis les années 1976-80) en matière de lutte antiérosive dans la région du Yatênga, un ensemble de propositions est formulé. Il s'appuie, d'une part et prioritairement, sur la participation effective des agriculteurs et agricultrices et, d'autre part, sur des techniques simples, à la portée de tous, parmi lesquelles un certain nombre sont bien connues des gens du lieu mais ont été progressivement abandonnées depuis le début du XX^e siècle.

MOTS-CLÉS : Aménagements antiérosifs — Burkina Faso — Yantênga — Sahel — Participation paysanne.

ABSTRACT

A CONTROL OF EROSION CARRIED OUT SINCE TWENTY YEARS IN THE NORTH OF BURKINA FASO

After having presented the past (1962-1965) and present achievements (since 1976-80) concerning the control of erosion in the Yatenga region, a set of proposals has put forward. They are based, on the one hand and mainly, on the actual participation of the male and female farmers and, on the other hand, on simple techniques available to everybody among which a number of them are well known by the locals but have been gradually abandoned since the early XXth century.

KEY WORDS : Structures against erosion — Burkina Faso — Yatenga — The Sahel — Rural participation.

Il est bien connu que l'eau qui ruisselle devient l'agent de l'érosion superficielle et il est souvent dit que ce ruissellement est faible en région soudanienne : de 4 à 8 % du volume d'eau de pluie, sous végétation. En fait il est tout aussi connu que les valeurs varient suivant l'épaisseur du couvert végétal, le type de sol et de pente. Ainsi, sur les sols ferrugineux tropicaux bien représentés sur le plateau *mossi*, on observe un ruissellement très important, de l'ordre de 5 à 20 % sous une savane

dense, de l'ordre de 20 à 50 % sous culture (sorgho, mil, coton) et jusqu'à 70 % des pluies journalières sur sol dénudé. L'érosion a aussi été mesurée sur parcelles (100 à 5 000 m²). Elle atteint 50 à 500 kg/ha/an sous savane arborée, en fonction des feux de brousse, 1 000 à 15 000 kg/ha/an sous culture et jusqu'à 25 à 35 000 kg/ha/an sur sol nu (ROOSE, 1971 ; ROOSE, BIROT, 1970 ; ROOSE, PIOT, 1984).

Le GERES (1965) cite, pour la région nord qui nous

(1) Adresse actuelle : Laboratoire de Sociologie et Géographie Africaine, CNRS, 54 bd Raspail, 75006 Paris.

intéresse : le Yatênga (chef-lieu Ouahigouya) où la moyenne annuelle des pluies est de 700 mm, une érosion de 2 à 3 T/ha/an sous culture et un maximum de 3,5 T/ha/an dans les exutoires qui percent localement les reliefs cuirassés. CORTIN (1963) nuance ces valeurs en proposant 1,8 T/ha/an sur les hauts de pente et 3 T/ha/an en milieu de pente ; il fait état également d'un important remblaiement des bas-fonds.

Retenons que les pluies violentes engendrent une érosion en nappe ou en ravines qui fait courir le danger d'une dénudation progressive des terres, d'autant plus que celles-ci sont soumises, comme c'est le cas au nord du Burkina Faso, dans la région peuplée du Yatênga, à des cultures annuelles (céréales) dont les superficies occupent jusqu'à 80 % des territoires villageois. Sur les pentes des glacis, même faibles (1), le ruissellement peut entraîner jusqu'à un centimètre par an d'épaisseur sur les sols sablo-argileux. Le recouvrement sableux superficiel (15-50 cm), une fois décapé, laisse apparaître un soubassement argileux qui se présente rapidement sous la forme d'une surface battante impropre à la culture, compte tenu de l'outillage traditionnel en vigueur : la houe. Enfin, la masse des matériaux fins évacuée des pentes vient remblayer les bas-fonds et constituer une masse boueuse en période des pluies (et un sol compact en saison sèche) difficilement cultivable elle aussi.

Ce constat d'une érosion allant se développant a été fait depuis longtemps dans le Yatênga et lutte anti-érosive, reboisement, reconstitution du pâturage, enfin mise en défens des sols sont affichés comme programmes prioritaires depuis l'indépendance du pays (1960).

CE QUI A ÉTÉ FAIT : DEUX PHASES ET DEUX MÉTHODES

PHASE 1 : ON REMODÈLE LE PAYSAGE SANS L'AVIS DES HABITANTS

« Parce que les paysans *n'entretiennent pas leurs terroirs (...)* parce que *c'est l'anarchie (...)*, parce que les techniques locales de lutte contre le ruissellement (lignes de pierres, haies d'*Andropogoneae*, paillage) *sont appliquées de façon trop lâche et semblent en cours d'abandon (...)*, il convient de se substituer aux cultivateurs *en mettant au point une méthode efficace de lutte anti-érosive et créer ainsi un choc psychologique qui détermine l'adhésion aux méthodes préconisées, au vu des résultats obtenus* » (de GROENE, 1961, pp.38-49). Voilà en quels termes s'exprimait au début des années 60 un des responsables du service des Eaux et Forêts de Haute-Volta.

L'analyse était loin d'être fautive. De GROENE voit bien que les cordons de pierre disposés en travers des champs et la technique du paillage (2), bien qu'efficaces, ne sont plus appliqués que de façon partielle et discontinue ; que ces procédés se maintiennent mieux dans certains villages que dans d'autres et que le phénomène érosif s'est accru par suite de la détérioration des structures sociales (*ibid.*, pp.38-39). Entendons que les personnes responsables de la gestion des terres agricoles (les doyens de quartiers villageois) sont de moins en moins écoutées et que les chefs d'exploitation cultivent leurs parcelles de manière individuelle, abandonnant, de ce fait, le souci de l'intérêt collectif. Là où le diagnostic dérape, c'est lorsque l'ingénieur des Eaux et Forêts préconise le « choc psychologique » en décidant de se substituer au paysan pour lui montrer la manière « rationnelle » d'aménager l'espace :

« Il faut faire comprendre au paysan qu'il est temps de modifier les structures agraires au milieu desquelles il vit, l'habituer à une nouvelle organisation de son terroir (...). Pour cela, il faut diversifier ses spéculations, modifier ses pratiques, afin que la répartition de ses activités agricoles, pastorales et forestières soit pour chaque exploitation un facteur d'équilibre et d'ordre. Cette situation favorable remplacera l'anarchie actuelle » (*op.cit.*, p.51).

Et l'ingénieur obtient gain de cause. Après que le service des Eaux et Forêts eut testé la faisabilité de différentes techniques de conservation des sols sur 7 000 ha à l'ouest de Ouahigouya (secteur de Sisâmba), où s'étendent des sols stériles qui étaient en pleine exploitation en 1920-25, le projet d'aménagement est honoré par un financement du Fonds Européen de Développement (FED) : 1 340 000 000 francs CFA. L'aménagement du secteur de Sisâmba avait préalablement coûté 47 475 000 francs CFA (MARCHAL, 1983, p.823).

Les travaux débutent en 1962 pour finir en 1965. Ils se déroulent en trois campagnes de six mois durant lesquels 35 000 km de fossés sont creusés pour canaliser l'eau de ruissellement : *fossés de diversion* sur les hauts de pente et *fossés d'infiltration* sur les bas de pente. Au total, 120 000 ha sont traités sauf les sommets cuirassés d'interfluve, couverts à l'époque de végétation arbustive (aujourd'hui disparue). Pendant que le réseau de banquettes anti-érosives est aménagé, des *recherches d'accompagnement* sont menées, mais ce n'est qu'au cours de la dernière campagne (trop tard !) que l'attention se porte sur *la plantation d'arbres et d'Andropogoneae* le long des ados de fossés et qu'il est fait

(1) Au Yatênga, il faut entendre par pentes fortes des pentes comprises entre 1,5 et 2 %.

(2) A propos du paillage, il est dit dans les notes de De GROENE que ce procédé, qui consiste à protéger le sol, en début de saison des pluies, par un tapis d'herbes, est excellent. Les résultats en ont été chiffrés. La perte en terre peut être vingt fois inférieure, par ce procédé, à ce qu'elle est en terrain nu.

appel à la main-d'œuvre villageoise. On s'est aperçu, en effet, que l'andropogon pousse spontanément sur les terres sableuses et que la valeur fertilisante de l'*Acacia albida* (ou *faidherbia*) est parfaitement connue des cultivateurs. Les techniciens entreprennent alors des *tournées de propagande* pour sensibiliser la population sur le sujet de l'entretien du réseau qu'ils viennent d'aménager. Cependant, la *propagande participative* arrive trop tard. Si les jeunes gens des villages participent effectivement à la plantation des andropogons le long des fossés, de leur côté, les responsables de l'aménagement reconnaissent que de nombreuses brèches ont été relevées dans le réseau de banquettes et qu'il est urgent de recharger immédiatement l'ados des fossés et d'*entretenir l'ensemble des banquettes au moyen de la charrue*.

Cet entretien s'avère impossible car seulement 5 % des agriculteurs étaient, en 1980, équipés de *houes-Manga* et a fortiori encore moins, en 1965, quand s'achève l'opération.

Bilan de cette première phase : comme on ne s'est pas préoccupé des paysans, le réseau n'est pas entretenu. Les banquettes antiérosives disparaissent rapidement et l'érosion s'accroît (MARCHAL, 1979, pp.250-52).

PHASE 2 : ON FAIT PARTICIPER

En 1966, l'Organisme Régional de Développement (ORD) est créé. Son objectif n'est pas d'entretenir le réseau mais de satisfaire les besoins immédiats de consommation de la population en améliorant les méthodes culturales.

Il faut attendre dix années, 1976, pour que la Défense et la Restauration des Sols (DRS), ainsi que le reboisement, redeviennent prioritaires dans le Yatenga.

Mais, à nouveau, les villageois n'entretiennent pas les banquettes, pas plus qu'ils ne s'intéressent aux parcelles reboisées, bien que, cette fois, les opérations soient faites à leur demande et avec leur participation. L'offre est faite aux *Groupements Villageois* de traiter leur terroir. Ce sont ces *groupements* qui décident de la localisation des banquettes à aménager et des lieux à reboiser (1).

Le projet DRS est financé (était financé ?) par le Fonds de Développement Rural (FDR). La grande dif-

férence avec l'aménagement proposé dans la phase 1 réside dans le fait que les diguettes sont aménagées après le passage d'une sous-soleuse, par les *groupements*, avec des pelles, des pioches et des brouettes. Ensuite, elles sont compactées puis enherbées (andropogon) ou plantées d'*Euphorbia* à la saison des pluies qui suit immédiatement les travaux. Un hectare ainsi aménagé revenait en 1981 à 50 000 F CFA, parfois moins (2).

L'aménagement antiérosif n'intéresse pas toute l'étendue d'un terroir villageois mais seulement des unités de 25 à 100 ha en une campagne de travaux. L'intervention peut s'étaler sur quatre à cinq ans dans l'éventualité d'une mise en défens complète de l'espace considéré. Toutefois, ces cas étaient rares en 1981.

Le but de l'intervention est évidemment de s'opposer au ruissellement et de favoriser l'infiltration, mais aussi — et à nouveau — de permettre l'introduction du labour et du semis en ligne parallèle aux courbes de niveau. Cet espoir est bien loin d'être concrétisé, faute de charrues.

Plus grave est de constater que la première consigne d'entretien (qui consiste à enherber les diguettes) n'est pas suivie, que le compactage est souvent réduit à néant dès que l'ados du bourrelet est semé et sarclé (comme en phase 1) et que les diguettes sont rapidement rompues lorsque les sentiers recourent le dispositif. Celui-ci, au bout de deux ou trois ans, n'est plus efficace ; les passages d'eau se multiplient et le réseau antiérosif tombe à l'abandon.

MIETTON (1981, p.67) explique que la responsabilité des villageois vis-à-vis de l'absence d'entretien est totale mais qu'ils « bénéficient de circonstances atténuantes », la première tenant à l'ampleur du dispositif. Vingt-cinq hectares correspondent à dix kilomètres de diguettes à confectionner, à 2 500 m³ de terre à remuer. Or, ajoute l'auteur, « il faut tenir compte de l'émigration. Ce sont les plus souvent des enfants et des personnes âgées qui réalisent ce travail pénible. Malgré l'entraide, ce dernier se prolonge pendant un ou deux mois et n'est terminé parfois qu'en une deuxième campagne, après l'hivernage ».

Cette lassitude des villageois pourrait surprendre puisque ce sont eux qui demandent à l'ORD de faire venir

(1) Les *Groupements Villageois* ont été créés en 1966, en même temps que l'ORD, pour que l'organisme de développement puisse s'appuyer sur une *structure de base* afin de pouvoir mieux diffuser ses thèmes. Aucune contrainte n'est exercée sur les villageois. En 1973, quelque 200 *groupements* existaient pour plus de 600 villages administratifs ; certains villages étant de surcroît représentés par plusieurs *groupements*. La composition de ceux-ci varie de 10 à plus de 50 chefs d'exploitation qui achètent en commun des biens de production et vendent leur récolte en priorité à l'ORD.

Lorsqu'un aménagement est réalisé sur le terroir, le *groupement* devient une *unité de développement communautaire (...)* réfléchissant sur ses besoins et recherchant à les résoudre globalement. Telle est du moins la définition officielle qui assimile abusivement l'unité ou le *groupement* à l'ensemble du village.

(2) Le FDR aménage également des bas-fonds au moyen de diguettes et toujours avec une participation paysanne (120 000 F CFA/ha). L'aménagement « amélioré », avec construction d'une digue pour une irrigation d'appoint, est plus rare et plus onéreux (250 000 F CFA/ha).

le tracteur. En fait, ce ne sont pas les villageois — entendons : la collectivité villageoise — qui sollicitent l'intervention du FDR mais le *groupement*, c'est-à-dire quelques dizaines de cultivateurs parmi les mieux nantis. L'aménagement se fait donc, prioritairement, sur les terres des membres du *groupement* les plus influents et la « lassitude » serait le fait de ceux qui, obligés de travailler, ne sont pas directement concernés par l'aménagement pour la simple raison que leurs champs se situent ailleurs.

Des réticences, donc, qui s'accompagnent de l'abandon progressif des réalisations. Et puis, une question qui laisse perplexe : si l'on devait creuser des fossés partout, à raison de 300 ha/an (rythme des réalisations dans l'ORD du Yatenga, en 1981), il faudrait, rien que pour les abords de Ouahigouya (115 000 ha cultivés en 1973), près de 400 ans !

Le projet de reboisement, pris en charge par plusieurs ONG porte sur une plantation annuelle de 70 à 100 hectares, répartie en parcelles de 1 hectare chacune. Le reboisement se fait en *Cassia*, *Neem* et *Eucalyptus*, espèces à croissance rapide permettant une exploitation cinq à dix ans après la plantation. A titre expérimental, *Parkia biglobosa* (nééré) fait partie des espèces sélectionnées par le projet, mais *Acacia albida* n'a pas été retenu car sa croissance est jugée trop lente.

La plantation se fait en saison des pluies, en même temps que les travaux des champs, et est destinée à la collectivité : les reboisements sont appelés « *collectifs* ».

Le coût s'élève à 90 000 F CFA/ha, coût dans lequel intervient l'achat de grillage et de fil de fer (et de poteaux) pour protéger les parcelles contre les animaux. Les lieux de reboisement, désignés par le *groupement*, se situent sur les sols marginaux cuirassés. Le taux de reprise est inférieur dans les meilleurs cas à 50 %, la collectivité n'entretient pas « ses » arbres malgré la *sensibilisation* organisée par le CESAO et le Groupe de Recherche et d'Appui pour l'Autopromotion Paysanne (GRAAP) (LAURENT, 1985).

Enfin, à raison de 70 à 100 ha par an, si l'on voulait reboiser les superficies en sols marginaux de la région de Ouahigouya (environ 31 000 ha de régosols et

21 000 ha de sols gravillonnaires de hauts de pente), il faudrait plus de 700 ans ! De toute façon, l'opération « bois de village » ne marche pas.

Résumons-nous :

— lorsqu'il s'agit d'accroître la production dans le sens d'une *intensification*, la cible des projets est le *chef d'exploitation* que l'on tente généralement de sensibiliser à la traction attelée ;

— lorsqu'on aménage l'espace régional, globalement, le paysan est jugé inutile, voire gênant. Il est le grand absent du projet (exemple de la phase 1) ;

— lorsque l'on souhaite la participation paysanne, on s'adresse aux *structures collectives* qui ne sont que des *émanations de l'encadrement agricole officiel* et ne sont donc pas représentatives des habitants.

Décideurs et paysans parviendront-ils à se comprendre ? Entre une société fragmentée à l'extrême — autant d'individus, autant de « chacun pour soi » — et, de ce fait *surconsommatrice d'espace*, dont le devenir se situe hors de la région (migrations), et un encadrement agricole (qu'il soit ORD ou ONG) qui s'évertue à vouloir améliorer les conditions de vie sur place, en ayant pour programme l'intensification de la production et la conservation des ressources, le dialogue n'est pas possible.

Partant de ce constat, nous allons formuler de nouvelles propositions tout en sachant qu'elles ont bien peu de chance d'être acceptées (1).

CE QUE L'ON POURRAIT FAIRE (2)

Après l'inventaire qui vient d'être fait des actions de « développement » passées et présentes, il ne reste à formuler que des propositions de faible ampleur, proches du « bricolage », visant à suggérer aux hommes et aux femmes une pratique culturelle un peu plus soignée, dans le cadre de référence qui nous paraît le plus adapté à la microplanification : le *saka* (ou quartier villageois).

A l'encontre du village (« cible » des projets appelés à tort « collectif ») et de l'exploitation agricole (« cible » des thèmes techniques individualisés), le *saka* est l'unité territoriale la plus apte à la maîtrise des aménagements, en même temps que l'ensemble homogène

(1) Nous écrivons : « *surconsommatrice d'espace* » car nous nous sommes aperçu, après une étude détaillée d'un village et de son terroir, que, en quarante ans (1930-1970), lorsque la population double ($\times 1,86$), l'espace cultivé triple de superficie ($\times 2,92$). De plus, nous avons remarqué qu'à l'intérieur de cet espace cultivé, les champs occupés temporairement par les cultures doublent de superficie ($\times 1,81$), durant la même séquence de temps, pendant que les champs permanents multiplient leur superficie par sept ($\times 7,29$). La capacité d'accueil d'un système ne peut donc pas prendre uniquement en compte la charge démographique et son accroissement. Nous avons montré (MARCHAL, 1983) que la forte tendance à privilégier la culture extensive était un phénomène relativement récent au nord du Burkina et calculé, sur un « cadastre » détaillé, que la population d'un terroir utilise, aujourd'hui, un espace cultivé dont la superficie est de 46 % supérieure à ce qu'elle devrait être dans l'hypothèse du maintien de l'ancien système de production, moins extensif, moins consommateur d'espace. Ceci s'explique 1) par l'accroissement de la population et 2) par l'atomisation des cellules de production qui va de pair avec une individualisation du travail agricole.

(2) Les propos de ce paragraphe ont déjà été exposés (MARCHAL, 1983, pp.831-42). Nous reproduisons, ici, des extraits de cette étude.

de participation à l'intérieur duquel *l'attitude individuelle peut être infléchie dans le sens du bien collectif*.

Mais à l'intérieur de cet ensemble : unité spatiale et communauté d'alliances, les interlocuteurs *et interlocutrices* doivent être « abordés » un par un. *Nous insistons : hommes comme femmes*. Ces femmes qui cultivent pour elles-mêmes et leurs enfants plus du quart des superficies ont le droit d'apprendre, de comprendre et de participer aux thèmes proposés. Il est inconcevable qu'elles soient des laissés-pour-compte. Jusqu'à présent, on ne s'est adressé qu'aux hommes, perçus comme des instruments de production. Or, si l'espace est cultivé, il est aussi socialisé, territorialisé.

Quel thème proposer ? Du « bricolage » disions-nous, acceptable par toute personne ayant en main une houe (*daba*) et cultivant son ou ses lopin(s) de terre. Pas de charrue, pas d'engrais, pas d'intrants inaccessibles, même s'il est prouvé techniquement que ces intrants « éliminent, par le fait même, un des freins à la mise en œuvre de techniques plus intensives d'exploitation de l'espace ». (BEGUIN, 1974, p.272).

Nous ne croyons pas aux révolutions techniques introduites. Une révolution ne s'introduit pas, ne se donne pas ; elle se fait, elle est menée par ceux qui ont décidé de la faire. On ne « développe » pas ; on se développe si l'on en a envie, si les propositions faites coïncident avec l'interprétation que les habitants donnent de leur environnement, coïncident avec leur façon de vivre (et de cultiver).

Comme il paraît impossible de « renverser la vapeur », de s'opposer à la dynamique (et encore moins de l'inverser) — comme les actions de « développement » le prouvent —, dynamique qui tend à l'individualisation de la pratique culturale, une seule solution semble proposable : compter avec la dynamique et essayer de l'infléchir doucement dans le sens du bien collectif, en prenant comme échelle d'action le *saka* (quartier) et son *tênga* (1).

Aujourd'hui donc, proposons ce qui semble acceptable : freiner le ruissellement. Avec une *daba* (houe), une personne seule peut façonner un bourrelet de terre autour de sa parcelle. Avec deux mains, une personne seule peut soulever des blocs de cuirasse, les déplacer sur quelques centaines de mètres et les aligner en travers de son champ. Mais s'adressant à chacun, il est impératif que tous ceux qui cultivent le même *tênga*, la même portion de territoire villa-

geois, la même partie d'une unité de paysage, travaillent en même temps à l'aménagement « au ras du sol ».

Ainsi faisant, il est possible d'obtenir un *cloisonnement en nid d'abeilles* épousant les limites des parcelles, cloisonnement à entretenir (cela va de soi). Ce travail pourrait s'effectuer chaque année avant les semis.

Sur les parcelles ainsi délimitées, on pratiquerait le *paillage* (dans la mesure du stock d'herbes disponibles alentour) et l'on essaierait de semer en ligne à peu près perpendiculairement à la pente. Les traces de ruissellement indiquent en suffisance les voies empruntées par les eaux pour que cette amélioration ne représente pas un travail insurmontable.

Un pan de versant ainsi aménagé (c'est généralement de cette manière que les terres de quartiers se trouvent disposées) aura pour effet de ralentir le ruissellement et donc de favoriser l'infiltration des eaux au bénéfice de la croissance des plants et de la qualité de la récolte. Un gain de production de 1,3 à 1,4 peut être espéré au profit des parcelles ainsi protégées.

Ce qui précède peut correspondre à une phase 1, essentielle. Le tracteur peut renforcer le dispositif par le creusement de fossés tous les 150 m environ. Mais il faudrait exclure toute éventration des champs par des tracés isohypses qui recouperaient sur plusieurs centaines de mètres plusieurs dizaines de parcelles.

C'est en intervenant de cette manière, en « cultivant » l'art de la ligne droite ou du tracé à beau rayon de courbure, que l'on aboutit à ce que les banquettes ne soient pas entretenues. Que le piquetage du tracé des fossés suive parfaitement les courbes de niveaux est préférable à toute chose, rationnellement s'entend. *Mais nous ne parlons pas, ici, d'idéal mais de raisonnable et de possible*. Mieux vaut, alors, un tracé sinueux qui épouse autant que faire se peut les limites de parcelles et qui soit entretenu, qu'un tracé rectiligne et savant qui se surimpose au parcellaire et que les cultivateurs s'empressent d'effacer.

Dès lors que le tracteur serait de passage sur les terres du quartier, il pourrait être utilisé également pour gratter (ou scarifier) les langues de sol dénudé qui gagnent sur les champs. Il semble qu'« un simple travail de scarification permet la régénération d'un couvert à *Schoenefeldia gracilis*, sans semis préalable, les semences étant apportées par écoulement superficiel et des jeunes plantules d'*Acacia* germent sous le couvert » (BOUDET *et al.*, 1975, p.37 ; TOUTAIN, pp.196-97).

(1) Le terme *tênga* désigne le territoire minimal sur lequel est établi un groupe lignager : le *saka*, lui-même sous-divisé en deux segments emboîtés : le *Yiri* puis le *zaka*. Cette dernière sous-division correspond à l'unité familiale de base, le ménage : un homme, sa ou ses femme(s), ses enfants non mariés, plus un ou deux ascendants ou proches parents. Nous traduisons *saka* par quartier villageois et disons qu'à chaque quartier correspond un petit territoire, plus ou moins vaste, appelé *tênga*. Un village étant dans la majorité des cas composé de plusieurs quartiers, son territoire (ou terroir) se trouve donc formé de plusieurs *tênga* : unités territoriales parfaitement définies, aux limites fixées depuis longtemps (parfois, plusieurs siècles).

Mais, puisqu'il y a écoulement superficiel, pourquoi ne pas le contrarier, ici encore, par des alignements de blocs de cuirasse ? Nul besoin de tracteur, cette fois.

Pourquoi ne pas tester sur une plus grande échelle l'exemple de récupération de plaques de sol stérile réalisée dans le village de Gurga ? Dans un quartier de ce village, deux frères ont décidé, seuls, de lutter contre le ruissellement. En deux ans, ils ont créé des petits champs (30 ares au total) là où s'étendait une plaque damée couverte de gravillons. En barrant l'écoulement par plusieurs rangées de blocs de cuirasse (dispositif connu appelé *kwokwese*), prélevés à 300 m du lieu, la terre amenée par les eaux s'est accumulée le long des lignes de parpaings et a atteint après deux saisons pluvieuses une épaisseur suffisante (5 à 10 cm) pour permettre le développement des plants de mil. En 1981, l'expérience avait trois ans d'existence. Les parcelles étaient « paillées » avec les vestiges culturaux et, aux dires des utilisateurs, « la terre ne bougeait plus ». Les rendements calculés par un agent de l'OXFAM étaient estimés à 800 kg/ha (production des 30 ares : 240 kg). Chaque année, les deux cultivateurs réparent leurs petites diguettes (bousculées par le passage du bétail) et cassent la croûte sableuse, de place en place, à l'emplacement des futurs poquets.

Une seconde phase de l'aménagement consisterait à « habiller » le bassin-versant : association de *tênga*, par l'arboriculture. Si l'on s'adresse, une fois encore, aux personnes prises une par une et qu'on leur enseigne la technique des microparcelles mise au point par l'OXFAM, n'aboutirions-nous pas à un succès plus tangible que les reboisements « collectifs », en proposant à chacun de planter un ou deux arbres sur les parcelles qu'il cultive ?

La technique de reboisement en microparcelles s'appuie sur le dispositif de diguettes. Un trou profond de moins d'un mètre est creusé au point de rencontre de deux bourrelets (un angle du champ) et, après plantation, est remblayé en partie de la terre meuble mélangée à du « fumier de case ». Afin de freiner l'évapotranspiration, une dernière couche de matériau imperméable est étalée autour de l'arbre (argile prélevée dans le bas-fond). Le creusement du trou, la plantation et le remblaiement demandent au total une demi-journée. Le succès des reprises est pratiquement toujours assuré et la croissance des arbres est rapide (THOMSON, 1980 et OXFAM, 1980).

Nous proposons d'utiliser les fonds engagés dans le

projet de reboisement « collectif » (90 000 F CFA/ha) pour des plantations individuelles, non pas de *neem* ou d'*eucalyptus* mais d'espèces locales : *nééré*, *karité*, *zânga* (*Faidherbia*). Les qualités de l'*Acacia albida* étant connues de tous, et plus particulièrement des cultivateurs, on ne peut qu'être étonné de son absence parmi les espèces sélectionnées. Certes, sa croissance est lente et demande un entretien particulier (élagage) mais « vingt à vingt-cinq pieds par hectare autorisent des cultures sous pluie permanentes : le problème de la fertilisation des sols se trouve ainsi résolu une fois pour toutes » (sol plus riche en phosphore et en potassium) (PELISIER, 1966, pp.265-74). Pour leur part, FELKER (1978) et BENNET *et al.* (1979) parlent d'une augmentation de 400 kg de mil à l'hectare dans les champs complantés de *Faidherbia albida* (45 arbres/ha) (Nord Ghana).

Sans que la priorité soit exclusivement accordée à *A. albida* — les autres arbres rustiques ont un intérêt moindre mais tous favorisent la fertilité du sol — le reboisement en microparcelles ne relèverait plus de la sylviculture mais de l'arboriculture placée sous la responsabilité directe du cultivateur.

Dans cette seconde phase de l'aménagement, la consolidation des banquettes et des petites diguettes pourrait être envisagée à l'image de ce qui se fait déjà partiellement sous le contrôle du FDR : plantation d'*Euphorbia balsamifera* et d'*Andropogon gayanus*.

En proposant ce type d'aménagement « au ras du sol », nous ne pouvons passer sous silence les questions foncières. On ne plante pas un arbre n'importe où et certainement pas sur un terrain que l'on ne possède pas, pas plus que l'on aménage et surtout que l'on recharge une diguette autour d'une parcelle sur laquelle on a seulement un droit temporaire de culture.

Il serait donc indispensable d'attaquer de front le « gros problème » : l'élaboration d'une politique foncière qui garantisse la terre à ceux qui la mettent en valeur et non à ceux qui se contentent de la cultiver. Ne pourrait-on pas, à cet égard, réexaminer le *Coutumier du Yatênga* dont l'effet principal a été de multiplier les prêts à court terme ? Il ne s'agirait pas d'assurer la prééminence des plus forts — ceux qui détiennent la terre — mais d'assouplir les règles de prêt, de revenir en quelque sorte aux modalités qui avaient cours avant 1956 (prêts à long terme), pour ceux qui participeraient à la lutte antiérosive. Voilà une notion nouvelle à introduire dans la législation (1).

(1) Le Coutumier mossi du Yatênga, rédigé en 1956 par l'administration coloniale, stipule :

Article 14 : La terre peut être prêtée à titre gratuit pour des périodes limitées et renouvelables. Le prêteur en reste alors propriétaire.
Article 15 : Toutefois, s'agissant de terre à mil, la concession renouvelée et ininterrompue à la même personne pendant quinze années emporte, au profit du bénéficiaire du terrain considéré, l'accession à la propriété de ce terrain.

Article 17 : Dans le cas de l'article 15, le terrain concédé depuis moins de quinze ans peut être retiré à l'utilisateur par son propriétaire.

En conséquence de ces articles, les prêts de terre, nombreux entre gens du même groupe de parenté et qui intéressent à près de 100 % la culture des céréales, sont de courtes durées (10 à 12 ans au maximum).

Peut-être faudrait-il imaginer une législation foncière qui donnerait à chaque *saka* un pouvoir d'autogestion en matière juridique. Imaginer, par exemple, une responsabilité, pour l'entretien du réseau de diguettes et la surveillance des arbres, donnée au quartier en la personne de son doyen : le *sak kasma*. Celui-ci aurait pouvoir de sanctionner ceux qui, par leur négligence, nuiraient à l'efficacité de l'aménagement, peine pouvant aller jusqu'au retrait de la parcelle si cette dernière avait été prêtée (?).

Puisque les règles anciennes sont moribondes, cette nouvelle législation gérée à l'échelle du *saka* serait peut-être mieux acceptée et donc plus efficace que les mesures de simple police qui apparaissent partout comme des provocations.

En accroissant d'un peu la production par le seul fait de l'aménagement cloisonné des glacis et des plantations d'arbres (200 kg de plus sur un ensemble de parcelles permet de nourrir une personne supplémentaire), il serait possible d'expliquer l'intérêt de conserver les sols, d'enseigner, sur la base de la démonstration, que le ralentissement du ruissellement sur un espace cerné accorde une meilleure production que celle obtenue sur un espace ouvert, c'est-à-dire non aménagé.

Alors, seulement, pourrait-on songer à améliorer les techniques de culture, toujours sans grands moyens, en faisant resurgir du fond des mémoires le patrimoine enfoui : les techniques de débattage ou de billonnage, l'enfouissement des adventices au moment des sarclages. Alors seulement parviendrait-on à économiser un peu de terre pour que la végétation renaisse ici et là, pour que la brousse se régénère et que, plus tard, on puisse à nouveau s'alimenter en bois. Peut-être se produirait-il, enfin, une légère contraction volontaire de l'espace cultivé (note 1 page 176).

Peut-être. Mais en supposant que tout aille pour le mieux, à grand renfort de persuasion, d'éducation par la parole et le livre et grâce à une nouvelle législation foncière, en supposant que ce soit la seule voie possible, n'est-ce pas aussi une chimère que de proposer l'établissement d'un décor dont les hommes et les femmes chargés de le construire et de l'habiter seraient absents ! A ce propos, Y. LACOSTE (1985, p.41) souligne, après bien d'autres, que :

« Tant que l'émigration vers la Côte d'Ivoire restera aussi massive (près de deux millions de Burkinabe ; près du quart de la population recensée en Côte d'Ivoire), les opérations de développement entreprises au Burkina paraîtront offrir aux Burkinabe un intérêt moindre que les salaires qu'ils peuvent gagner à l'étranger. »

Enfin, une dernière donnée que nous ne maîtrisons pas, est ce qui se passe aujourd'hui au Burkina.

Que savons-nous des conséquences du Programme

Populaire de Développement (PPD), plan biennal adopté en 1984 ? Rien ou pas grand-chose.

La création de Comités de Défense de la Révolution (CDR) dans chaque village et d'un Pouvoir Révolutionnaire dans chacune des vingt-cinq provinces que compte maintenant le Burkina Faso a-t-elle des conséquences au niveau des programmes de gestion des ressources et surtout de la participation paysanne ? Tout le laisse croire quand on apprend que chaque province a retenu un Programme de Base axé, pour 45 % de son financement (mais quel financement ? quelle source ?), sur des réalisations hydroagricoles, aux côtés d'autres : éducation et santé.

Même si la participation massive des villageois aux réunions et manifestations des CDR, ainsi qu'aux opérations de développement qu'ils organisent, risque de relever davantage d'une certaine prudence vis-à-vis du pouvoir politique que de l'adhésion réelle aux objectifs et aux valeurs que ce pouvoir incarne (LABAZEE, 1985, p.13), les programmes en matière de sites antiérosifs et d'hydraulique villageoise sont la priorité incontestable mise en avant par les responsables et sont réalisés avec une participation villageoise nombreuse. Ceci permet une compression des coûts de réalisation et des charges récurrentes car chaque petit projet implique de la part des habitants une participation à son entretien, sous le contrôle d'un *Comité villageois de Gestion*.

De plus, l'attention du Pouvoir ne se porte plus désormais exclusivement sur les régions « rentables » mais aussi sur les régions dites « céréalières ». On peut supposer que, sous cette appellation, se range la région de Ouahigouya et celles des franges nord du pays.

Cependant, si tout est en place pour mobiliser la population, nous ne savons rien de ce qui se passe au niveau du village. Et pour ce qui nous préoccupe, la question est de taille.

B. TALLET (1985) écrit :

« L'adoption en milieu rural de principes révolutionnaires soulève de multiples questions. La nouvelle loi de réforme agraire attribue la propriété de la terre à l'Etat ; son application progressive devra montrer si c'est un changement seulement théorique ou si c'est une remise en cause des pratiques foncières traditionnelles. »

Dans ce cas, est-ce que les exploitants travaillant les terres prêtées se verront reconnaître un droit d'usage permanent ? Est-ce que les chefs de quartier perdront tout contrôle sur les terres ancestrales ? Les litiges et conflits risquent de se multiplier, et ce rapidement « car le pouvoir local serait en train de glisser des anciens et des notables aux Comités de Défense de la Révolution (CDR) ».

Or, théoriquement, les CDR ont un droit de regard sur la gestion du terroir villageois et leurs membres sont élus par les habitants du village. « Comment vont-

-ils arbitrer les différends fonciers », continue B. TALLET, « vont-ils écouter les avis des anciens ou passer outre ? ». Ainsi, à l'échelle de décision et de gestion

locale, celle que nous jugeons pertinente pour nos propositions de lutte antiérosive, nous sommes actuellement face à de grandes inconnues.

BIBLIOGRAPHIE

- BEGUIN (H.), 1974. — « Densité de population, productivité et développement agricole », *L'Espace Géographique*, T.III, n° 4 : 267-72.
- BENNET (A.) et SCHORK (W.), 1979. — *Studies toward a sustainable agriculture in Northern Ghana*, Centre de Recherche pour le développement agricole international, Heidelberg, 125 p.
- BOUDET (G.) et COULIBALY (M.), 1975. — *Etude de l'évolution d'un système d'exploitation sahélien au Mali*, DGRST-GERDAT, Paris, 48 p. multigr.
- CORTIN (J.), 1963. — *Etude pédologique : prospections de détail des aires échantillons de Tougou et Barga*, SOGETHA-GERES, Paris, rapport multigr., 2 cartes h.t. 1/20 000.
- FELKER (P.), 1978. — *State of the art : Acacia albida as a complementary permanent intercrop with annual crops*, Univ. of California, Depart. Soil and Envir. Sciences, Riverside.
- GERES, 1965. — *Périmètre de restauration des sols, Ouahigouya*, rapport général de synthèse, Min. de l'Agriculture, Ouagadougou, multigr.
- GROENE, 1961. — *Périmètre de lutte contre l'érosion, de Ouahigouya*, Dir. Eaux et Forêts, Min. Eco. Rurale, Ouagadougou, 52 p. multigr.
- LABAZEE (P.), 1985. — « Réorganisation économique et résistances sociales », *Le Burkina Faso, Politique Africaine* n° 20 : 10-28.
- LACOSTE (Y.), 1985. — « Développement : la course d'obstacles », *Actuel-Développement* n° 67 : pp.38-41.
- LAURENT (G.), 1985. — *L'évolution contemporaine d'un village mooga : l'exemple de Tangaye (Yatenga)*, Mémoire de Maîtrise, Univ. de Rouen, 260 p.
- MARCHAL (J.-Y.), 1979. — « L'espace des techniciens et celui des paysans », *Maîtrise de l'espace agraire et développement, Mém. ORSTOM* n° 89 : 245-52.
- MARCHAL (J.-Y.), 1983. — *La dynamique d'un espace soudano-sahélien*, Trav. et Doc. ORSTOM, n° 167.
- MIETTON (M.), 1981. — « Lutte antiérosive et participation paysanne en Haute-Volta », *Géo-Eco Tropicale*, vol.5 fasc.1, Univ. de Chambéry : 57-72.
- OXFAM, 1980. — *Agro-forestry project* (description), vol. 93, 53 p. multigr.
- PELISSIER (P.), 1966, *Les paysans du Sénégal : les civilisations agraires du Cayor à la Casamance*, Impr. Fabrègues, St Yriex.
- ROOSE (E.), 1971. — *Projet de lutte contre l'érosion hydrique sur le plateau mossi (Haute-Volta)*, ORSTOM, Adiopodoumé, 17 p. multigr.
- ROOSE (E.) et BIROT (Y.), 1970. — *Mesure de l'érosion et du lessivage oblique et vertical sous savane arborée du plateau mossi*, CTFT-ORSTOM, Ouagadougou, 148 p. multigr.
- ROOSE (E.) et PIOT (J.), 1984. — « Runoff, erosion and soil fertility restoration on the Mossi Plateau (central Upper Volta) », *Harare Symposium*, July 1984, IAHS Publ. n° 144 : 485-98.
- TALLET (B.), 1985. — « Espaces ethniques et migrations », *Burkina Faso, Politique Africaine*, n° 20 : 65-77.
- THOMSON (J.T.), 1980. — *Les programmes nationaux et internationaux pour l'aménagement des forêts*, Easton (USA), 11 p. multigr.
- TOUTAIN (B.), 1977. — « Essais de régénération mécanique de quelques parcours sahéliens dégradés », *Revue d'Élevage Méd. Vétérinaire des Pays Tropicaux*, vol.30, fasc. 2 : 191-98.

Méthodes et efficacité de la lutte contre l'érosion hydrique au Burkina Faso

M. MIETTON

Département de Géographie — Université de Savoie — BP 1104, 73000 Chambéry

RÉSUMÉ

Dans le contexte climatique de la sécheresse, la maîtrise de l'eau et la conservation des sols représentent un objectif prioritaire pour le Burkina Faso. Les procédés de lutte antiérosive peuvent s'inspirer aujourd'hui de toute une gamme de techniques traditionnelles, fruit d'initiatives paysannes spontanées. Il s'agit soit de procédés mécaniques (cordons de pierres, fascinage, plantations d'herbes ou d'arbustes), soit de pratiques biologiques ou culturelles (cultures associées, paillage, buttage). Depuis le début des années 1970, deux organismes publics ont lancé des programmes de conservation faisant appel à la technique des bandes d'arrêt (A.V.V. : Aménagement des Vallées des Voltas) ou des terrasses de diversion (F.E.E.R. : Fonds de l'Eau et de l'Équipement Rural). Dans le cas du F.E.E.R. la participation paysanne est effective durant la phase d'élaboration. En revanche, l'entretien des dispositifs (47 000 hectares traités entre 1977 et 1985) reste très aléatoire du fait de contraintes variées et complexes. Sur le plan technique, des enseignements utiles, du moins pour les régions septentrionales, peuvent être tirés des expérimentations animées par certaines organisations non gouvernementales. Toutefois toutes les stratégies conservatoires dépendent probablement davantage d'éventuelles réformes foncières et de mesures économiques propres à enrayer l'émigration.

MOTS-CLÉS : Burkina Faso — Erosion — Lutte antiérosive — Aménagement — Ruissellement — Infiltration — Terrasse de diversion — Techniques traditionnelles — Pratiques biologiques ou culturelles — Emigration.

ABSTRACT

METHODS AND EFFICIENCY OF THE FIGHT AGAINST HYDRO-EROSION IN BURKINA FASO

In the climatic context of drought, controlling water and preserving the soils represent a primary objective for Burkina Faso. The methods to fight erosion may today be inspired by a whole range of traditional technics stemming for the farmer's spontaneous initiatives. They are either mechanical processes (rows of stones, fascine work, plantations of grass or bushes) or biological or cultural practices (companion crops, mulching, ridging). Since the early 70s, two public bodies have launched programmes of preservation resorting to the technic of buffer strip cropping (A.V.V. : Aménagement des Vallées des Voltas) or terraces of diversion (F.E.E.R. : Fonds de l'Eau et de l'Équipement Rural). In the case of F.E.E.R., the farmer's participation is effective during the phase of elaboration. On the other hand, the maintenance of terraces (47 000 hectares treated between 1977 and 1985) remains very uncertain on account of varied and complex constraints. Technically speaking, useful lessons, at least for the northern regions, may be drawn from the experimentations conducted by some non-governmental organizations. However, all protective strategies probably depend more on eventual land reforms and economic measures that would stop emigration.

KEY WORDS : Burkina Faso — Erosion — Antierosive fight — Planning — Run-off — Infiltration — Terrace of diversion — Traditional technic — Biological or cultural practices — Emigration.

INTRODUCTION

Le contexte climatique aggravé, marqué par la persistance de la sécheresse jusqu'aux latitudes soudanaises depuis une quinzaine d'années et la « sahé-lisation » progressive du domaine savanien, la permanence d'un accroissement démographique rapide, la chute concomitante des rendements due à une surexploitation des terres dégradées, peu ou pas défendues, ni même amendées, tout concourt à faire de la protection du potentiel agricole non plus un objectif lointain, mais une nécessité impérieuse pour enrayer le déficit alimentaire au sud du Sahara, en particulier au Burkina. La lutte antiérosive constitue ainsi un des éléments d'une politique en faveur du monde rural, qui doit inclure par ailleurs d'autres incitations ou remèdes socio-économiques.

Depuis plusieurs années, les réponses des principaux acteurs, paysans et aménageurs, agissant de manière séparée puis concertée, ont abouti à des méthodes de conservation de l'eau et des sols relativement variées dont on peut rappeler l'inventaire et préciser l'efficacité si l'on veut comprendre certains échecs et rechercher d'éventuelles voies nouvelles.

INITIATIVES PAYSANNES ET MÉTHODES TRADITIONNELLES

Ces méthodes traduisent là, comme sous d'autres latitudes, le fait que la lutte antiérosive a été tout d'abord le fruit d'une perception, par les paysans eux-mêmes, de la dynamique du milieu naturel. La très grande majorité des dispositifs observables aujourd'hui témoigne ainsi de la volonté d'un individu ou d'un groupe de mieux maîtriser, à un moment donné, cette dynamique.

Par ailleurs, quelques réalisations, plus ponctuelles et récentes mais faisant appel aux mêmes techniques, sont le fruit d'une initiative extérieure, d'une organisation non gouvernementale le plus souvent, qui tente de perfectionner des procédés déjà connus.

Les pratiques de conservation des agricultures traditionnelles peuvent être de deux types : mécaniques ou biologiques. Les premières sont suffisamment diffusées à travers le territoire pour avoir été citées par bon nombre d'auteurs (KABORÉ, 1982).

Les procédés mécaniques

Ils correspondent à des techniques simples, basées sur l'utilisation de matériaux locaux, disposés en petits barrages et destinés à dissiper l'énergie des eaux de ruissellement. Il s'agit de :

— *La mise en place d'alignements de blocs de cuirasse ferrugineuse*, grossièrement perpendiculaires à la pente, sur les champs eux-mêmes le plus souvent, ou bien, hors des terres de culture, sur des rigoles d'écoulement concentré ou des plaques de ruissellement intense. Ces aménagements se rencontrent à proximité d'affleurements cuirassés, principalement dans les régions birrimiennes, plus rarement dans des secteurs à substratum granitique, sur des hauts de versants ou des convexités de bas de pente.

A ce souci de protection des sols peut se superposer celui d'une extension des terres de cultures notamment sur les pentes fortes des reliefs résiduels birrimiens ou granitiques. Dans ce cas, la mise en place des cordons de pierres va de pair avec la constitution d'une terrasse d'épierrement ; leur occupation répondant soit à un repli ancien sur des sites de défense, (MIETTON, 1980, p.60), soit à une « expansion pionnière récente » (BILLAZ, 1980, cité par MARCHAL, 1983, p.448).

La multiplication de ces alignements est d'abord liée à leur facilité d'édification. Les blocs de cuirasse épars sont ramassés comme tels plus qu'ils ne sont cassés dans la masse, puis transportés sur de courtes distances sans trop de dépense d'énergie d'autant que l'aménagement d'un versant peut se faire sans contrainte sur plusieurs années. En second lieu, leur efficacité n'est pas négligeable dans la mesure où ils ne visent pas à stopper les écoulements, ni même à les détourner mais à provoquer un ralentissement de l'eau, ralentissement qui peut être accru par le dépôt d'herbes sarclées ou de fanes dans les orifices.

Le barrage conserve quoi qu'il en soit une grande porosité qui évite les ruptures brutales. En outre, lors des débordements, les blocs dépassent généralement la compétence du ruissellement, hormis au pied des reliefs résiduels (collines birrimiennes, buttes cuirassées). Dans le meilleur des cas, des atterrissements de sable et de limon se constituent en amont de ce microbarrage comme nous l'avons constaté à Imiga (nord-ouest de Zorgho) (1) sur des dispositifs ayant 50 ans d'âge (photo 1). L'effet de frein est alors lié à la diminution de la pente entre chaque alignement et aussi à une possible végétalisation du cordon si des graines ont été piégées entre les cailloux (ROOSE, 1985).

Leur facilité d'implantation constitue un troisième atout pour ces dispositifs : d'une part la matérialisation au sol d'une courbe de niveau n'est pas nécessaire ; d'autre part l'alignement peut être de longueur limitée, à l'échelle de la parcelle, à l'inverse des banquettes de diversion. Dès lors, ce cloisonnement « défensif » de l'espace agricole peut se superposer plus aisément au cloisonnement foncier.

(1) Les noms de lieux dans le texte sont situés sur la figure 1.

Aménagements spontanés



1 — Ancien cordon de pierres (50 ans d'âge) et atterrissement de sables (à gauche). (Imiga — nord-ouest de Zorgho).



2 — Transplantation de *Vetiveria nigritana* dans les rigoles de bas de versant. (Songo — sud-est de Pô).



3 — Pratique du paillage sur champ de bas de versant. (Imiga — nord-ouest de Zorgho).

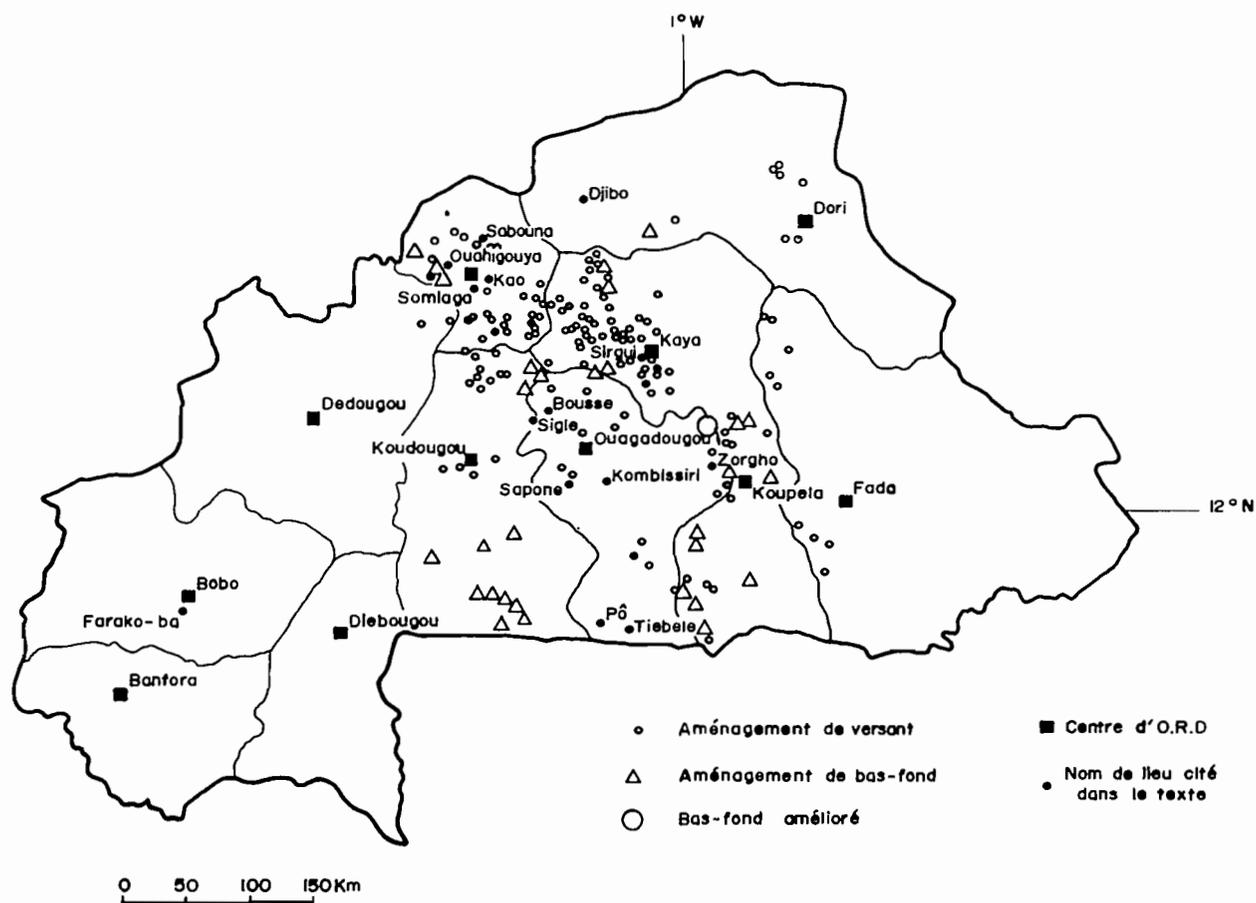


Fig.1. — Carte de localisation et exemple de distribution des aménagements antiérosifs (Campagne FDR : 1979-80).

— *Le clayonnage et le fascinage*, à base de branchages et surtout de tiges de mil, plus ou moins liées en fagots et s'appuyant sur des piquets fichés en terre, conservent les mêmes qualités techniques de facilité d'implantation et de porosité. Toutefois, à l'inverse des blocs, il s'agit de matériaux peu durables, largement consommés par les termites. C'est probablement la raison d'une diffusion bien plus faible de ce procédé à travers le pays.

— *Les plantations d'espèces locales* comme les euphorbes (*Euphorbia balsamifera*) ou les andropogonées (*Andropogon gayanus*) font également partie de l'arsenal des techniques paysannes. Mais les premières sont rares hormis quelques points en régions subsahariennes où elles s'opposent également à la déflation éolienne. Les paysans estiment que l'euphorbe est nocif pour les plants de mil (MARCHAL, 1983, p.837) ; ses boutures ne résistent pas toujours aux termites. En revanche, les haies d'andropogonées sont au moins localement très nombreuses, mais utilisées, il est vrai,

dans une optique de démarcation foncière. Elles n'en constituent pas moins un réseau serré de lignes contraignant le ruissellement et bien visibles sur photos aériennes (région de Zorgho par exemple).

La transplantation d'espèces à fort enracinement telles que *Vetiveria nigriflora*, dont les grosses touffes poussent spontanément dans les bas-fonds, correspond à une pratique, semble-t-il peu courante, observée dans le sud du pays (MIETTON, 1981, p. 59). Ces espèces hygrophiles, transplantées à partir de juillet, sont disposées sur les ravineaux de bas de versant (photo 2) où elles freinent l'érosion régressive tout en réduisant les apports de sable et de graines dans les bas-fonds cultivés.

Les bas-fonds eux-mêmes peuvent être l'objet de tentatives d'aménagement, en pays lobi par exemple (DA, 1984, p.183). Mais les contraintes hydrauliques sont évidemment plus fortes et les réalisations plus rares qu'en cultures sèches. L'ingéniosité de certains mérite d'autant plus d'être soulignée : ainsi à Tampinko (Kombissiri) dans le centre sud du pays mossi, un paysan et

sa proche famille ont transformé une plaine inondable en un terroir rizicole de 5 hectares environ où la maîtrise de l'eau est assurée par une série de bourrelets et surtout une digue principale avec un système de buses remarquablement implantées, « réinventées » (1) dans leur géométrie, leur système de protection contre l'afouillement (parpaings et grillage à l'aval de la prise d'eau) et d'ouverture graduelle à l'aide de deux pierres plates seulement.

Les pratiques biologiques et les façons culturales

Ce ne sont pas à proprement parler des aménagements mais ces pratiques doivent être rajoutées à la gamme

des techniques traditionnelles du fait de leur aspect tout aussi bénéfique, sinon davantage, que les procédés mécaniques. Elles ne traduisent toutefois pas forcément une perception nouvelle, une volonté supplémentaire d'enrayer une dégradation chimique des sols mais correspondent plus sûrement à une tradition agricole, d'ailleurs changeante d'un groupe ethnique à un autre, aux avantages multiples et inégalement appréciés par le paysan.

Les cultures associées sont significatives à cet égard. L'association mil-niébé, par exemple, a un effet bénéfique indéniable sur le plan morphodynamique comme on l'a constaté sur l'une de nos parcelles expérimentales cultivées près de Pô (MIETTON, 1980).

TABLEAU I
Erosions comparées sur parcelle avec ou sans association de cultures.

Année	1978	1979
	Mil seul	Mil + niébé
Indice annuel d'agressivité des pluies	362	232
Coefficient de ruissellement annuel moyen	14,1 %	18,2 %
Erosion (t/ha/an)	1,43	0,91

La baisse de l'agressivité annuelle des pluies en 1979 n'explique pas seule la diminution de l'érosion. L'augmentation du ruissellement, dans le même temps, signifie que le niébé, plante rampante qui couvre bien le sol, protège contre l'érosion pluviale et piège également les particules transportées. C'est en outre un bon fixateur d'azote. Mais n'est-ce pas avant tout, aux yeux des paysans, la meilleure protection contre un échec complet des récoltes pendant les mauvaises saisons climatiques et l'assurance d'une augmentation de la production pendant les bonnes années (2).

Le recours au paillage représente également plusieurs aspects bénéfiques (ROOSE, 1971, p.9), diminuant l'érosion pluviale et la déflation, favorisant les apports organiques et la vie microbienne, piégeant l'eau de ruissellement et limitant l'évaporation. Cette pratique apparaît très inégale non pas tant suivant les régions qu'à l'intérieur d'un même terroir. A proximité de l'habitat, les tiges de mil, de sorgho ou de maïs sont d'abord utilisées à des fins domestiques, comme matériau de

construction (toiture, clôture) ou source d'énergie pour la cuisine mais aussi le chauffage au cœur de la saison fraîche, ce qui renforce le caractère précoce et néfaste du ramassage. Le paillage est ainsi davantage pratiqué sur des champs de « brousse ». Dans la région de Zorgho (Imiga), des paysans coupent des graminées sèches pour les déposer en un tapis serré, notamment sur des champs de bas de versant (photo 3). A proximité de Kombissiri, T. ZOUNGRANA (1985, p.72) note que c'est une pratique courante de couvrir de branchages les plaques de sols dénudés afin de les ameublir. Dans tous les cas, le souci principal paraît bien être la conservation de l'eau, secondairement l'apport organique. La fumure représente, à travers différents procédés, une préoccupation comparable mais son emploi reste très aléatoire dans l'espace et dans le temps.

Les techniques de sarclage, quant à elles, s'opposent plutôt d'une région à l'autre ou, à l'intérieur d'une même région, suivant l'appartenance ethnique ou secondairement la force de travail de l'unité de production.

(1) Le paysan n'avait jamais observé auparavant pareil dispositif. La précision de l'implantation a été confirmée par un levé topométrique des services de l'hydraulique (HER) qui a apporté son aide pour la réalisation, dans une deuxième phase, d'un bas-fond dit amélioré.

(2) J.Y. MARCHAL (1983, p.385) fait même l'hypothèse, pour le Yatenga, de cultures associées pratiquées principalement dans « une stratégie antirisques fonciers ».

Dans le centre-nord du Yatênga par exemple, seuls les Têngbîse et les Saaba pratiquent au moins ponctuellement le buttage intercalaire (débuttage) le plus apte à enrayer la dégradation des sols ; les Mossi dans le même secteur (MARCHAL, 1983, p.440) ou d'autres provinces (KOHLER, 1971, p.90, LAHUEC, 1980, p.47) se contentent de sarclages à plat et éventuellement d'un buttage sommaire en fin de cycle afin d'éviter la verse.

En résumé, ces techniques conservatoires, mécaniques ou biologiques, méritent d'être bien connues et encouragées par les cadres du développement rural (DEBAZAC *et al.*, 1983). Elles apparaissent en effet variées dans leur simplicité et bien adaptées aux contextes physique et socio-économique. Elles expriment en outre la capacité et la volonté d'une partie au moins du paysannat de résoudre par lui-même ses problèmes. Cette volonté est en effet plus ou moins marquée dans l'espace et dans le temps. L'hypothèse faite par KOHLER (1971, p.75), pour l'Ouest-mossi, d'une relation entre l'extension des aménagements et le manque de terres ne peut être étendue à l'ensemble du pays. C'est en effet, dans le Sud-Ouest, en pays Bobo notamment, où l'espace ne fait pas défaut aux cultivateurs, que ces derniers combattent le plus efficacement les méfaits du ruissellement (SAVONNET, 1960). Dans l'ensemble du pays mossi et à l'heure actuelle, il ne nous semble pas que les initiatives spontanées d'aménagement soient plus perceptibles comme si, au-delà d'un certain seuil de pression dans l'occupation d'un espace dégradé en outre par la sécheresse, les paysans avaient opté définitivement pour d'autres solutions économiques, l'émigration en particulier.

C'est dans ce contexte difficile que les pouvoirs publics sont intervenus dès 1972 pour tenter de réactiver la lutte antiérosive à travers des méthodes nouvelles, supposant des moyens matériels et financiers plus lourds, tout en faisant appel à une participation paysanne.

INITIATIVES EXTÉRIEURES ET PARTICIPATION PAYSANNE

Les pouvoirs publics ont été instruits dans leur démarche par l'expérience malheureuse de l'opération Geres-Volta, conduite dans la région de Ouahigouya entre 1962 et 1965. L'histoire de ce périmètre a été retracée dans le détail par MARCHAL (1979). L'intervention, totalement imposée de l'extérieur et ne prévoyant que trop tardivement une sensibilisation auprès des populations locales, s'est soldée par un échec technique et psychologique, malgré ou à cause des moyens énormes mis

en œuvre (1 500 manœuvres recrutés localement mais attirés par les seuls salaires, 85 topographes, 15 bulldozers), pour traiter 120 000 hectares en banquettes et fossés antiérosifs. De cette opération coûteuse ne subsistent aujourd'hui que les retenues ou bien, de manière significative, les seuls ouvrages modestes comme des murets de pierre ou des « demi-lunes », sortes de cuvettes de 2 mètres de rayon, limitées par des bourrelets de 40 centimètres de hauteur ouverts à l'amont aux eaux de ruissellement donnant au mil une meilleure croissance (Somiaga — Sud Yatênga). A partir du début des années 1970, les pouvoirs publics inscrivent la lutte antiérosive dans le cadre de vastes programmes conduits par deux organismes, le Fonds de Développement Rural (F.D.R.) (1) et l'Autorité pour l'Aménagement des Vallées des Voltas (A.V.V.), dont les objectifs et les méthodes d'intervention sont bien différents. L'A.V.V. a en effet pour tâche la mise en valeur de terres nouvelles réputées fertiles et libérées de l'onchocercose tandis que le F.D.R. est chargé du financement de projets agricoles plus modestes, susceptibles d'améliorer les conditions de vie dans les terroirs traditionnels. Tandis que, dans le premier cas, la lutte antiérosive ne représente qu'un élément d'une politique d'aménagement global du territoire que nous ne pouvons étudier ici, elle constitue, dans le second, le domaine d'activité le plus préoccupant, le plus important par la mobilisation de la population et son implication financière.

Les réalisations des organismes publics

LES TYPES D'AMÉNAGEMENTS

Les aménagements de versants

Dans les périmètres de l'A.V.V., l'aménagement s'effectue en bandes de cultures de 100 mètres, disposées perpendiculairement à la pente et séparées par des bandes de végétation intercalaires de 10 mètres. Cette méthode des bandes d'arrêt, testée avec succès en Côte d'Ivoire, au Niger ou au Burkina (Farako-Ba) réduit les pertes en terre au dixième et le ruissellement au tiers environ des valeurs correspondantes sur parcelle témoin (ROOSE et BERTRAND, 1971 — ROOSE, 1974 et 1975). Elle apparaît en outre bien adaptée à cette volonté de modeler un espace nouveau dans lequel il est possible de fixer un premier cadre cadastral. Les réalisations portent sur 24 500 hectares aménagés entre 1974 et 1983.

Les aménagements de versants du F.E.E.R. consistent en une édification, le long des courbes de niveau, de banquettes de terre, de section trapézoïdale, hautes de 50 centimètres, distantes de 25 mètres sur une pente de 2 % et dont l'emprise au sol (3,5

(1) Depuis 1984, le F.D.R. a pris le nom de Fonds de l'Eau et de l'Équipement Rural (F.E.E.R.).

mètres environ) (1) n'est pas excessivement contraignante. Il s'agit d'un procédé tout à fait classique de conservation des eaux mais aussi du sol. Les deux préoccupations sont en effet d'autant plus inséparables en ce milieu savanien qu'en dépit de la diminution de la quantité annuelle de pluie ainsi que du pourcentage des plus grosses averses, supérieures à 40 mm (CARBONNEL *et al.*, 1984), ces dernières conservent leur agressivité unitaire et ont un impact renforcé par la disparition ou l'appauvrissement du couvert végétal protecteur. Deux objectifs essentiels sont visés : freiner l'eau, favoriser l'infiltration (REEB, 1979).

La vitesse de ruissellement est diminuée par les bourrelets, construits le long de courbes de niveau ou caractérisés par une faible pente transversale (0,2 %). Dans tous les cas, le tracé au sol de ces ouvrages est préalablement piqueté par une équipe de topographes. Une unité motorisée (tracteur et charrue à disque) matérialise ensuite ces lignes. Enfin, les diguettes sont élevées par les paysans eux-mêmes avec du matériel (pelles, pioches, dames) fourni par l'office et qui sert à compacter la terre en couches successives.

L'infiltration totale, dans un système fermé, n'a été envisagée que jusqu'en 1976-1977. Les ouvrages à absorption, avec diguette de ceinture, satisfaisants dans les conditions optimales d'une recherche sur parcelles expérimentales, se sont en effet révélés défectueux dans la pratique en raison des imperfections inévitables dans la conception et la réalisation de longs bourrelets (PIOT, 1981).

L'ensemble de ces banquettes réalise depuis lors des systèmes dits de diversion, dans lesquels les eaux en excès sont évacuées vers des exutoires naturels préexistants ou artificiels et mis en place tous les 100 à 200 mètres. L'infiltration, qui reste essentiellement fonction de l'état de surface du sol, est toutefois renforcée par ce dispositif. Plusieurs indices l'attestent :

— D'une part, une meilleure recharge en eau des puits situés sur les sites aménagés (Komsilga — région de Sapone).

— D'autre part, les observations, malheureusement limitées à une seule année, permettant une comparaison de la croissance des mils (tabl. II) et des rendements entre une parcelle protégée (P.P.) et un champ traditionnel (C.T.) voisin (SANOU, 1981). Les rendements comparés

TABLEAU II
Croissances comparées des mils (Sirgui)

Parcelles	P.P.	C.T.	P.P.	C.T.	P.P.	C.T.	P.P.	C.T.
Date	22.07.1980		22.08.1980		26.09.1980		10.10.1980	
Hauteur moyenne en cm	1,0	2,8	21,4	14,8	156,1	70,5	175	101
Nombre de pieds de mil (sur 4 m ²)	26	16	25	14	21	10	21	6

de mil donnent ici un rapport de 1,42 au profit de la parcelle protégée. D'après les enquêtes plus générales du F.D.R., l'augmentation de production, durant les trois années suivant l'aménagement, est comprise entre 30 % et 60 % (F.D.R., 1983).

— Enfin, nos mesures de teneur en eau du sol, réalisées sur ce même site de Sirgui, au sud-ouest de Kaya, durant les hivernages 1980 et 1981. Celles-ci se placent en trois points A, B, C de l'intervalle entre deux bourrelets (2) ainsi que sur le champ traditionnel voisin aux caractéristiques pédologiques identiques. Quelles que soient la position ou la profondeur sur le site antiérosif, les pourcentages d'humidité y apparaissent toujours plus élevés que sur le site non protégé.

TABLEAU III

Moyennes des teneurs en eau (en %) comparées sur aménagement antiérosif (A, B, C) et champ non protégé (C.T.) Hivernage 1980 — Sirgui.

Localisation / Profondeur	A	B	C	C.T.
0 - 10 cm	10,6	9,4	9,6	8,6
10 - 20 cm	13,6	11,7	11,8	10,3
20 - 30 cm	14,3	12	13,7	11,1

(1) L'emprise au sol est comprise entre 6,2 et 10,2 % de la superficie totale sur les 4 aménagements présentés au tableau IV.

(2) A, B et C sont situés dans cet ordre d'amont en aval dans l'intervalle : A et C à 3 mètres de chacun des bourrelets, B au centre.

Deux éléments d'information permettent une meilleure appréciation de ces résultats : l'aménagement, de deux ans d'âge au moment des mesures, est relativement bien entretenu (photo 4) ; en revanche les façons culturales (rayonnage, sarclage, buttage) ne sont pas pratiquées parallèlement aux courbes de niveau comme le recommandent les consignes officielles. On constate enfin que l'humidité du sol est toujours la plus forte en amont (A) ; ceci est confirmé neuf fois sur dix si l'on considère les valeurs journalières. La partie supérieure de l'intervalle entre deux banquettes ne semble donc pas souffrir d'un déficit relatif en eau mais au contraire bénéficier d'une infiltration différée sous la banquette amont.

Les paysans sont apparemment sensibles à ces bénéfices si l'on considère les demandes d'intervention émanant des groupements villageois auprès du F.D.R. ou des organismes régionaux de développement (O.R.D.).

Plus de 47 000 hectares ont été aménagés entre 1977 et 1985 ; le rythme des réalisations passant de 450 à 9 300 hectares par an après avoir plafonné à 7 500 hectares entre 1982 et 1984 (1). Le travail non rémunéré des villageois fait que le coût n'en est pas excessif, de l'ordre de 50 000 francs CFA (1000 FF) par hectare. Cet appel à la participation paysanne se retrouve dans les aménagements de bas-fonds.

Les aménagements de bas-fonds

Différents types d'ouvrages ont été réalisés, marquant une tentative d'adaptation progressive aux contraintes hydrauliques :

— Aménagements fermés puis aménagements ouverts simples (fig.2) permettant, à l'inverse des précédents, une admission d'eau latérale pendant les plus petits ruissellements, le déversement s'opérant sur les extrémités des ailes des diguettes préalablement « taillées » (fig.3).

Maîtrise de l'eau dans les bas-fonds

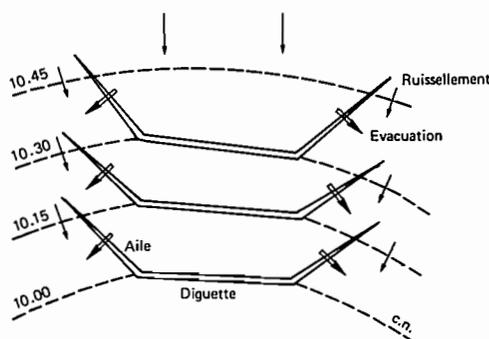


Fig.2. — Bas-fond ouvert simple

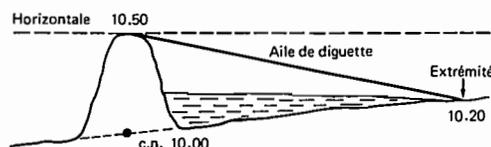


Fig.3. — Taille des ailes de diguettes

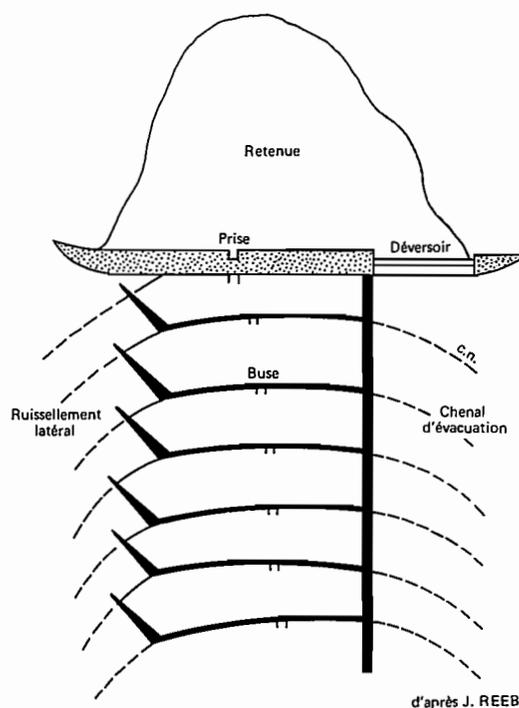


Fig.4. — Bas-fond amélioré

— Aménagements avec chenal central ou semi-ouverts, protégés par un cavalier des débordements du lit mineur.
— Enfin, quelques bas-fonds, dits améliorés, ont été

réalisés à partir de 1977 à l'abri cette fois d'une digue en terre (empierrée à l'amont), créant un petit lac de retenue (40 à 50 000 m³), d'un déversoir maçonné

(1) Depuis deux années (1984 et 1985), la majorité (42,8 % puis 34,3 %) des aménagements antiérosifs de versants est implantée dans l'O.R.D. de Koudougou tandis que le Yatenga arrivait en tête auparavant (figure 1).

Aménagements dirigés



4 — Mise en charge d'une terrasse de diversion. Hauteur suffisante du bourrelet mais faible enherbement. (Sirgui — sud-ouest de Kaya).



5 — Dégradation d'un aménagement antiérosif de versant (Sabouna — nord de Ouahigouya). Matériau sableux poussé à l'ouest (à gauche) du bourrelet.



6 — Terrasse perméable sur site aménagé par l'OXFAM et riziculture sur versant (Kao — est de Ouahigouya).

et d'un chenal d'évacuation (fig.4). Cette conception vise à résoudre les problèmes techniques fondamentaux des aménagements classiques, à savoir les dégâts des diguettes causés par les crues et les sécheresses intercalaires ou de fin de cycle du riz. Une irrigation d'appoint est désormais possible en effet à partir d'une ou deux prises à batardeaux ; l'alimentation des casiers se faisant alors soit en cascade (système semi-ouvert) par les ailes, soit par les buses des diguettes.

Tous ces ouvrages sont évidemment plus onéreux, particulièrement pour les bas-fonds améliorés (300 000 francs CFA/ha), malgré le maintien d'une participation paysanne. Ils le sont cependant cinq fois moins que les avals de barrages. Près de 3 500 hectares ont été ainsi réalisés durant les projets F.D.R. 1 (1972-1976) et F.D.R. 2 (1976-1981) ; le rythme des réalisations (620 hectares entre 1982 et 1985) ayant chuté depuis lors en raison de diverses difficultés.

En résumé, la participation paysanne représente un acquis précieux durant la phase de mise en place des aménagements : les paysans ou du moins les groupements villageois demandent l'intervention du F.D.R. puis réalisent eux-mêmes, sans salariat, des dispositifs relativement peu coûteux. Ce moindre coût n'exclut pas une certaine qualité technique, garantie par la matérialisation des courbes de niveau et un contrôle final par les services centraux permettant le remboursement des frais engagés par l'organisme régional de développement.

Toutefois, l'intérêt d'une telle politique d'intervention, sa réussite ou son échec, ne peuvent être appréciés qu'avec un peu de recul dans le temps, en fonction de la durée de vie des dispositifs. Or leur manque d'entretien nous apparaît comme un point faible et d'autant plus préoccupant que les causes en sont variées.

LES DIFFICULTÉS D'ENTRETIEN DES AMÉNAGEMENTS

Quelques constats de dégradation

Dès 1980, un examen rapide à travers plusieurs régions (Sapone, Boussé, Kaya, Ouahigouya) nous permet d'affirmer qu'une dégradation, certes inégale mais trop rapide en moyenne, de ces aménagements est indéniable (MIETTON, 1981). Au Yatênga, MARCHAL dresse à la même époque un bilan plus inquiétant (1983, p.830), corroboré par les travaux des chercheurs de l'I.P.D. (1) sur le site de Sabouna où 15 % seulement des diguettes sont en bon état au bout d'un an et 7 % seulement après deux années (BILLAZ *et al.*, 1982, p.14). Les banquettes en terre sont souvent recoupées par les sentiers (secteur C — fig. 5) et les pistes de bétail, dont le tracé reste attaché à un parcellaire foncier inchangé.

Leur enherbement est très limité, y compris sur des sites où la sensibilisation relative à d'autres pratiques est pourtant bien perçue. Les bourrelets sont même localement semés et sarclés pour quelques cultures dérobées sur les ados plus humides.

Des enquêtes plus détaillées, conduites en 1981 dans les secteurs de Siglé au nord-ouest de Ouagadougou (SINARÉ, 1982) et de Sapone au sud-ouest (SAKANDÉ) (2), confirment cette évolution. Sur quatre aménagements de versants proches de Sapone (Komsilga, Guisma, Ipelce, Singdin) représentatifs par leur différence de taille (tabl. IV), les brèches ouvertes ou colmatées, les tronçons de diguettes abaissées ou même totalement laminées sont comptabilisés (tabl. V).

TABLEAU IV

Caractéristiques de 4 aménagements antiérosifs de la région de Sapone.

Sites	Année d'implantation	Superficie (ha)	Longueur cumulée des diguettes(m)	Longueur/ha (m/ha)
Komsilga-Gulpo	1978	33	6 112	186
Ipelce	1978	63	11 157	177
Guisma	1979	45	10 812	243
Singdin	1979	95	27 682	291

De 2 à 9 % (en longueur) des terrasses sont donc détruites en 3 ans. Encore la longueur moyenne des diguettes totalement effacées a-t-elle été estimée à 20 mètres ; en fait, l'entaille peut aller jusqu'à 100 mètres ! Si l'on ajoute ce qui est vulnérabilisé, c'est 10 % au moins du dispositif qui a perdu son efficacité. Le cas de Komsilga est particulier : il s'agit en fait d'un groupement villageois dynamique ce qui se traduit par le nombre élevé de colmatages de brèches (apport de terre, de cailloux, de troncs d'arbre). Le cumul des pourcentages ne serait pas ici significatif. On peut noter enfin que c'est le dispositif le plus vaste qui est le plus endommagé.

Ces pourcentages, qui concordent avec ceux donnés par le F.D.R. (CAPO-CHICHI et SAMRETH, 1983), ne sont pas trop alarmants pris comme tels. Toutefois, il faut considérer qu'on se trouve, sur ce secteur proche de Ouagadougou, dans des conditions optimales de sensibilisation et aussi de résistance d'un matériau moins sableux que dans les régions septentrionales (Yatênga, Sahel). Enfin, cette vitesse de dégradation n'est probablement pas linéaire mais exponentielle : chaque brèche nouvellement ouverte ayant des répercussions en chaîne sur les bourrelets à l'aval et fragilisant l'ensemble du système.

(1) I.P.D. : Institut Panafricain de Développement.

(2) Communication personnelle des résultats préliminaires d'une thèse de 3^e cycle.

TABLEAU V
Dégradation des aménagements en 3 ou 4 ans (1981).

Sites	Nombre de brèches (long. moyenne 4 m)		Sections diguettes (long. moyenne 20m)		Tronçons vulnérables	Tronçons disparus
	ouvertes (1)	comblées (2)	abaissées (3)	laminées (4)	(2)+(3)	(1)+(4)
Komsilga	29	72	65	0	1 580 m (25,9 %)	120 m (1,9 %)
Ipelce	169	20	14	0	360 m (3,2 %)	680 m (6,1 %)
Guisma	126	40	20	9	560 m (5,1 %)	680 m (6,3 %)
Singdin	253	26	64	72	1 400 m (5,1 %)	2 450 m (8,9 %)

La vulnérabilité des aménagements de bas-fonds est évidemment plus grande encore. Les services évaluation-suivi du F.D.R. ne manquent d'ailleurs pas de le signaler dès 1979. Les bas-fonds améliorés eux-mêmes peuvent être endommagés comme celui de Guesna, en 1978, dans la région de Bousé, à l'aval d'un bassin-versant de 100 km². Mais même sur un bassin plus petit comme celui d'Imiga (12 km²), la crue du 19 juin 1983 consécutive à une pluie moyenne de 73,9 mm (1) entraîne le débordement, heureusement momentané, d'une tranche d'eau d'une dizaine de centimètres par-dessus la digue sans entraîner sa rupture (MIETTON, 1984). Cet exemple suffit à prouver que tout, du seul point de vue technique, n'est pas résolu pour l'aménageur.

La diversité des contraintes

Les contraintes auxquelles est confronté l'aménageur sont nombreuses, de nature variée : technique, sociologique, économique ou foncière, générales au pays ou parfois régionales, jouant de manière isolée ou plus souvent conjuguée même si nous les envisageons séparément par souci de clarté.

Les difficultés spécifiquement techniques et notamment le problème du dimensionnement des ouvrages élémentaires continuent de peser sur les aménagements de bas-fonds. Les durées de retour des averses exceptionnelles ainsi que les débits de crues instantanés maximaux sont encore méconnus et les abaques utilisés (GRÉSILLON, 1977 ; PUECH, 1983) ne permettent d'obtenir que des ordres de grandeur. Dans les aménagements de bas-fonds les plus simples, les débits maximaux peuvent également dépasser les capacités de déversoirs représentés par les ailes de diguettes, d'autant que

leur taille constitue une opération délicate (fig.3), souvent mal exécutée, les encadreurs eux-mêmes n'en comprenant pas toujours la nécessité. Dans tous les cas, l'eau en excès crée des brèches dans les bourrelets centraux, ce qui entraîne une vidange brutale des casiers et compromet les récoltes de riz.

La méconnaissance des averses de fréquence rare hypothèque d'ailleurs pareillement la résistance des terrasses de diversion sur les versants eux-mêmes. Cette résistance peut être appréciée de manière différentielle, à l'échelle régionale. Ainsi, dans les contrées sahéliennes ou subsahéliennes (Yatenga), la nature sableuse du matériau rend le compactage de la diguette plus aléatoire. En outre, la déflation éolienne relaie activement des pluies plus rares pour « raboter » à grande vitesse les bourrelets (photo 5). Quant au thème de l'enherbement, on comprend qu'il soit plus difficilement vulgarisé qu'ailleurs !

C'est donc une série d'interactions qui conditionnent de manière négative l'évolution de ces dispositifs dans les régions septentrionales du Burkina. Le bilan dressé en 1982 par les chercheurs de l'I.P.D. sur deux sites du Yatenga (BILLAZ *et al.*, 1982, p.51) est lourd : à Sabouna, aménagé en 1979, sur 124 diguettes recensées, 7 sont en bon état, 40 en état moyen, 77 jugées inefficaces ; à Bamba (1980), sur 80 diguettes, 13 sont encore en bon état, 27 en état moyen, 40 ne jouent plus aucun rôle !

Cette vulnérabilité des ouvrages peut enfin être appréciée à l'échelle du versant. Les aménagements antiérosifs sont en effet particulièrement menacés lorsqu'ils sont situés à l'aval d'impluviums non aménagés où les ruissellements les plus efficaces se concentrent avant de

(1) La durée de retour d'une telle averse, en juin, à Zorgho, après ajustement suivant la loi de Gumbel (moindres carrés), est comprise entre 10 ans (59,5 mm) et 100 ans (89,7 mm).

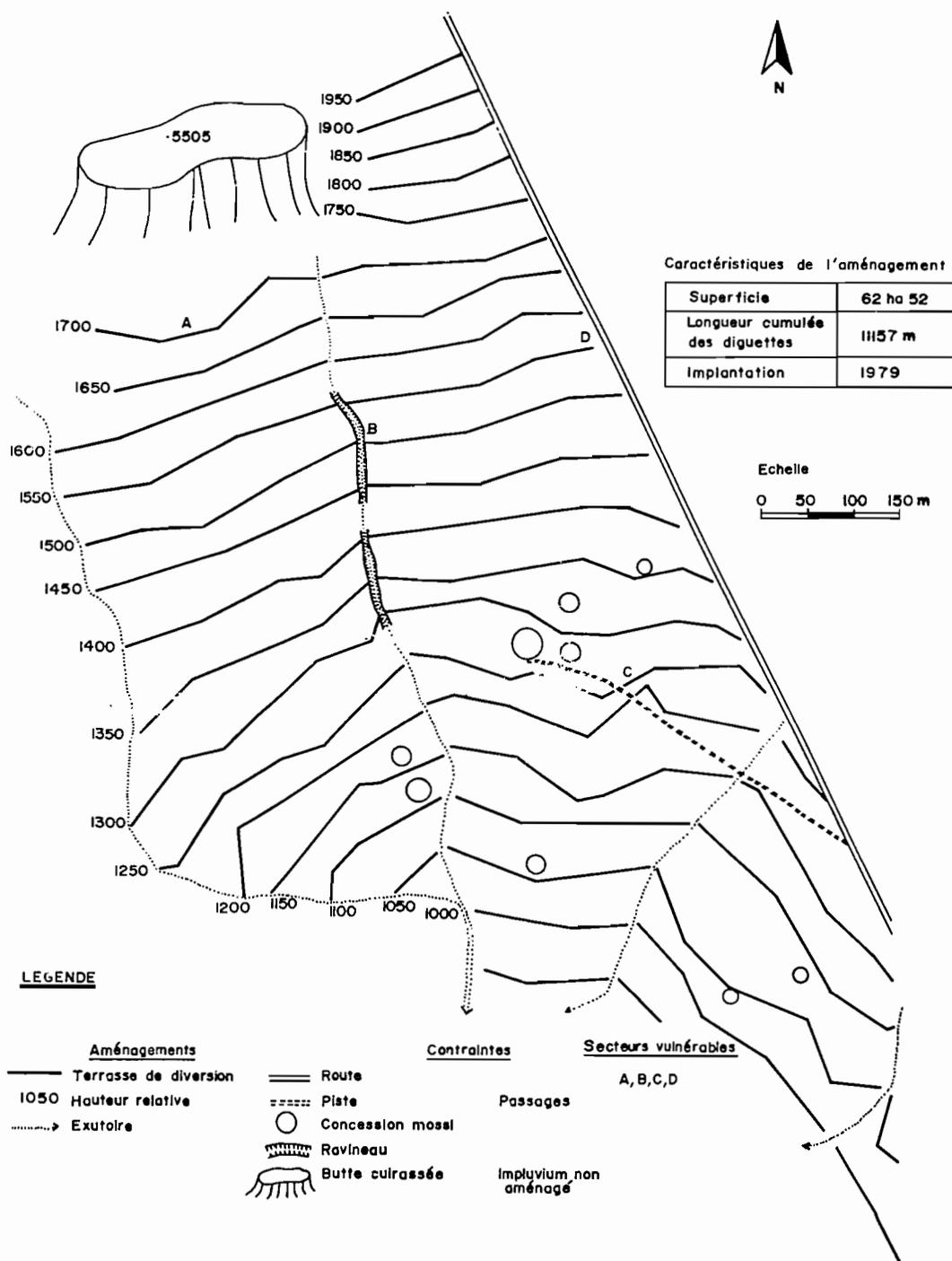


Fig.5. — Exemple d'aménagement antiérosif de versant : Ipelce (région de Sapone)

frapper la partie haute du dispositif (A - fig.5). Dans le meilleur des cas, les eaux en excès sont évacuées par les exutoires où se développent des ravineaux, siège d'une érosion régressive linéaire mais aussi latérale aux dépens des banquettes elles-mêmes (B - fig.5). Il faut

alors dégager des moyens supplémentaires pour enrayer ce nouveau type d'érosion. (VAN DIJK, 1981).

Les problèmes techniques jouent en fait rarement seuls. Dans l'exemple précédent, il y a interaction étroite entre facteurs naturels et humains. Les aménagements

sont en effet réalisés à plus de 80 % sur des champs permanents, proches des cases. Dès lors, leur implantation est étroitement dépendante des sites d'habitat qui ne se distribuent pas au hasard. Si, en pays kassena par exemple, au sud du pays, les villages sont en tête d'interfluves, les concessions mossi sont, elles, généralement placées à mi-versant (ou au tiers à partir de l'amont), délaissant la partie supérieure du glacis où la cuirasse est affleurante, l'aménagement impossible.

Autre exemple : dans les bas-fonds, la réfection des diguettes est d'autant plus négligée que la préoccupation principale des paysans et des paysannes du plateau mossi est représentée par les cultures sèches de mil et de sorgho. Les contraintes se combinent donc pour faire des aménagements de versants une priorité absolue dans ce type d'intervention.

Les difficultés socio-économiques apparaissent étroitement liées aux difficultés techniques lorsqu'on cherche à se représenter précisément les efforts de mise en place et d'entretien de ces ouvrages. Pour un champ de 40 hectares, c'est un réseau de 10 kilomètres de diguettes qu'il faut confectionner (tabl.IV), 2 500 m³ de terre à remuer. Au rythme de 10 à 15 jours/homme/hectare (1), il faut compter au moins 10 jours d'activité pour un groupe de 30 hommes.

La mise en place peut en fait se prolonger un ou deux mois, voire n'être terminée qu'en une deuxième campagne après l'hivernage. Bien sûr, ce labour intervient en saison sèche à une époque où il y a peu d'activités ; des vivres sont distribués par le F.E.E.R. mais le travail est réalisé essentiellement par des femmes, des enfants ou des hommes âgés. Les plus jeunes ne sont plus là ; l'émigration définitive ou saisonnière vide en effet le pays d'une bonne partie de ses forces vives. Au Yatênga, la moitié des hommes sont absents dans la classe d'âge 20-30 ans, le tiers dans celle des 30-40 ans (BILLAZ, 1982). Sur le bassin-versant d'Imiga, dans le centre est du plateau mossi, on dénombre 67 hommes émigrés pour 78 présents. L'ensemble des émigrés, adultes et enfants, saisonniers et annuels, représente un tiers de la population totale. L'émigration prive donc incontestablement le monde rural d'une force de travail qui serait bien nécessaire pour l'entretien des dispositifs. L'effort supplémentaire accompli pour l'édification des ouvrages, dans l'espoir d'une amélioration durable des rendements, ne peut être renouvelé. L'enherbement, dont on parle tant, supposerait en réalité la création de pépinières pour le repiquage de graminées pérennes ou d'arbustes. Mais qui peut se consacrer à cette activité ? Et surtout où trouver l'eau nécessaire ? Ce

problème de la force de travail nous paraît être la principale pierre d'achoppement de toute cette stratégie du F.E.E.R.

Un dernier obstacle, d'ordre sociologique, doit être envisagé : celui de la représentativité du groupement villageois par rapport à la communauté villageoise tout entière (MARCHAL, 1983, p.829). Si le premier s'identifie aux seuls paysans influents, il est évident que les autres ne se sentiront pas longtemps concernés. L'entretien, en groupe, d'un réseau où l'on n'a pas de parcelles à soi, alors que le travail presse sur ses propres terres, va apparaître immanquablement comme une corvée. Dans le même esprit, la réfection des diguettes a peu de chances d'être assurée sur des parcelles où l'on a seulement un droit temporaire de culture (MARCHAL, 1983, p.837).

Sans verser dans un pessimisme excessif ou une critique négative, qui n'est pas de mise devant la gravité de la situation et la débauche d'énergie de bon nombre d'aménageurs, force est de constater que certains obstacles à la réussite d'une stratégie comme celle du F.E.E.R. ne sont pas levés. En ce sens, le travail complémentaire de quelques organisations non gouvernementales, qui doit être conçu pour l'heure comme une approche expérimentale, peut avoir des enseignements significatifs.

Les réalisations des organisations non gouvernementales

Depuis le début des années 1980, la philosophie d'intervention de ces organisations étrangères consiste à aider le monde rural dans la recherche de son autosuffisance alimentaire. Différentes sources de financement sont ainsi conduites à s'intéresser au domaine de la conservation des eaux et des sols. Leurs interventions sont menées à titre expérimental et à une échelle très ponctuelle, en relation avec quelques paysans seulement, tout en espérant un effet d'entraînement ultérieur. Parmi ces organismes, on peut citer :

— « Euro-Action-Accord » et « Agro-Ecologie » qui conduisent depuis 1981 des programmes expérimentaux dans les régions de Kaya pour le premier, de Djibo et de Ouahigouya pour le second. L'un et l'autre ont adopté la technique des bourrelets antiérosifs réalisés par les paysans eux-mêmes, y compris le piquetage des courbes grâce à l'utilisation du niveau à eau. Sur le projet allemand (Agro-Ecologie), la confection des bourrelets fait également appel à une traction animale pour un labour de début de saison des pluies ; les diguettes sont renforcées à l'amont par des pierres. Dans les deux

(1) Une enquête réalisée par le F.D.R., dans l'O.R.D. de Kaya, sur 20 sites dont la superficie est comprise entre 7 et 25 hectares, nous montre que la moyenne de travail est de 115 heures/homme/hectare.

cas, la hauteur de ces terrasses est de l'ordre de 20 centimètres seulement, ce qui nécessite une densité plus grande d'ouvrages et détermine une emprise au sol non négligeable. Quelques hectares seulement ont été traités, le nombre de paysans ayant imité le système étant très limité.

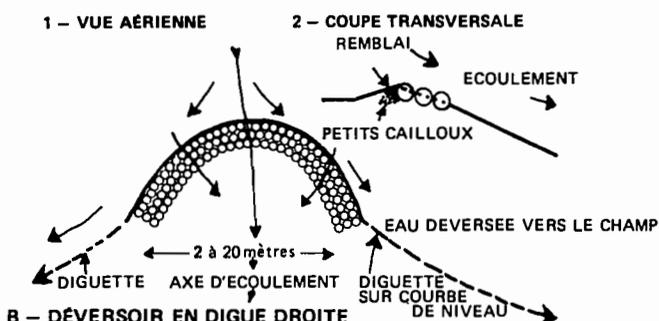
— *Caritas* fait réaliser également des bourrelets de terre damée mais aussi des cordons de pierres, après piquetage au niveau à eau. Ce retour partiel aux techniques traditionnelles est intéressant à suivre ; en revanche, la rémunération de la main-d'œuvre (75 F CFA le mètre de bourrelet, 100 F CFA le mètre de parpaings) nous semble critiquable dans ses effets vis-à-vis des autres organismes.

— L'opération *Agro-Foresterie*, commencée en 1980 sous financement OXFAM, apparaît plus instructive (WRIGHT, 1985). Les quelques hectares traités à l'est de Ouahigouya ont été en effet véritablement reconquis sur les sites apparemment les plus ingrats, correspondant à des plaques de ruissellement intense aux sols très compacts. Ces plaques avaient été d'ailleurs aménagées par le GERES dont les ouvrages sont aujourd'hui totalement effacés. Les seuls techniques utilisées sont traditionnelles (clayonnage, alignements de blocs, plantations d'arbustes). Aucune aide en matériel n'est accordée aux paysans volontaires : seule l'utilisation du niveau à eau ou de l'équerre, d'un maniement moins compliqué mais moins précise, est enseignée par un ani-

mateur. Plusieurs modèles de terrasses, plus ou moins perméables, sont ainsi mises en place, liées dans leur conception à la disponibilité en matériaux et à l'appréciation par le paysan des volumes ruisselés, des besoins en eau, des capacités de rétention. Certaines terrasses perméables dérivent d'une opération de clayonnage, limitant des parcelles de 50 mètres de côté, ouvertes à l'amont du dispositif. Des bandes d'arrêt de 50 centimètres à 2 mètres de large, constituées d'herbes annuelles ou plantées préférentiellement de graminées pérennes ou encore d'euphorbes, accompagnent ce cloisonnement. Le travail initial des sols encroûtés consiste en un ameublement avec un pic : des poches d'eau (« zay ») sont réalisées en entassant une partie de la terre en aval du trou : la partie meuble restante assurant un bon enracinement. Des terrasses perméables peuvent aussi être construites avec des cailloux de moyen calibre, sur une largeur de 20 à 30 centimètres et une hauteur variable suivant l'importance des écoulements. L'ouvrage est légèrement ancré au sol pour éviter l'affouillement.

Les terrasses imperméables sont faites de pierres et de terre ou de terre seule s'il y a peu de chances de submersion et si le compactage peut être assuré (sols limoneux ou argilo-limoneux). Là où il y a insuffisance de pierres, les banquettes de terre sont placées en bas de versant, à la suite des alignements de blocs qui assurent une protection.

A — DÉVERSOIR SUR COURBE DE NIVEAU : TROIS RANGÉES DE PIERRES



B — DÉVERSOIR EN DIGUE DROITE

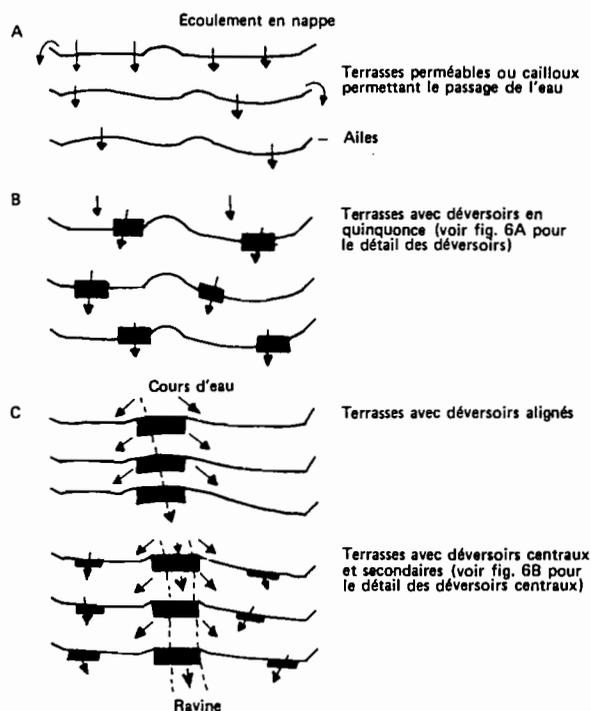
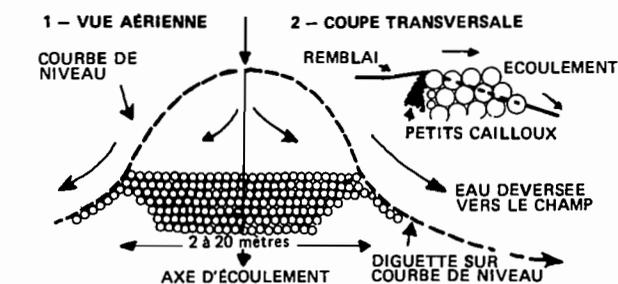


Fig. 6. — Ouvrages de répartition d'eau d'après P. Wright (1985) Fig. 7. — Déversoirs de captage des eaux d'après P. Wright (1985)

Toutes ces terrasses peuvent être équipées de déversoirs en pierres, alignés ou disposés en quinconce et assurant l'écoulement des eaux en excès (fig.6 et 7). Enfin, l'espacement entre terrasses est laissé au libre arbitre de l'exploitant qui fait d'abord son choix en fonction de la disponibilité en matériaux.

En résumé, cette expérience de l'OXFAM est intéressante à double titre :

— d'une part, elle conduit à un perfectionnement de méthodes traditionnelles et met en valeur la capacité des agriculteurs à prendre en main leurs propres problèmes économiques (WRIGHT, 1985, p.32) ;

— d'autre part, elle assure une extension des terroirs par reconquête d'un espace qu'on pouvait croire stérile. Même si cette reconquête ne devait être que momentanée du fait d'un nouvel appauvrissement des sols, les productions gagnées dans l'intervalle bénéficient de rendements surprenants, de l'ordre de 800 kg à 1 tonne par hectare de sorgho ou même de riz cultivé ici sur versant ! (photo 6).

CONCLUSION

L'examen des méthodes de lutte antiérosive et des réalisations récentes au Burkina Faso conduit, en premier lieu, à un double constat qualitatif et quantitatif, et à une interrogation.

Qualitativement, le projet du F.E.E.R. voit sa réussite compromise par l'absence d'entretien durable des

terrasses de diversion tandis que certaines expérimentations, comme celles de l'OXFAM, favorisant un retour à des procédés traditionnels à peine perfectionnés, obtiennent des succès ponctuels mais encourageants. On peut se demander dès lors s'il n'est pas possible pour l'office public de s'en inspirer en diversifiant ses pratiques, notamment en fonction de la qualité des matériaux disponibles, à l'échelle régionale, voire à l'échelle du versant.

Quantitativement, seule l'opération conduite par le F.E.E.R. est importante mais elle reste insuffisante, au rythme actuel, eu égard aux besoins du pays. Là encore la recherche d'une plus grande efficacité n'implique-t-elle pas le recours, au moins partiel, à des dispositifs plus simples ?

Ce constat doit être dépassé : il ne faut pas se cacher en effet qu'une révision des modalités d'intervention ne représente qu'une solution technique, probablement insuffisante. A propos de l'expérimentation de l'OXFAM elle-même, on doit se demander pourquoi ces méthodes connues des paysans avaient été abandonnées ; pourquoi, après avoir montré une nouvelle fois leur efficacité, elles n'ont pas d'effet d'entraînement sur les communautés voisines. Il faut manifestement proposer autre chose aux paysans pour les fixer au pays, des réformes foncières peut-être, des solutions économiques à coup sûr, notamment des prix à la production plus rémunérateurs (PÉLISSIER, 1979). La responsabilité de l'aménageur cède la place à celle du pouvoir politique.

BIBLIOGRAPHIE

- BILLAZ (R.) *et al.*, 1982. — Recherches et développement au Yatenga. Acquis 1980-1981. IPDAOS/IFARC, 70 p.
- BILLAZ (R.), 1982. — Programmes posés par l'évaluation d'un programme de culture attelée. Exemple du Yatenga. *Economie rurale* n° 147-148 : 136-138.
- CAPO-CHICHI (M.) et SAMRETH (L.), 1983. — Aspects socio-économiques des aménagements de lutte antiérosive. Programme F.D.R. Haute-Volta. Séminaire E.I.E.R. (31 mai - 12 juin 1983). 7 p.
- CARBONNEL (J.P.) *et al.*, 1984. — Pluies, eaux de surface, productions végétales. Haute-Volta (1920-1983). ORSTOM — Ouagadougou. 64 p.
- DA (E.C.), 1984. — Recherches géomorphologiques dans le sud-ouest de la Haute-Volta. La dynamique actuelle en pays Lobi. Thèse de 3^e cycle. ULP Strasbourg, 309 p.
- DEBAZAC (E.F.) *et al.*, 1983. — Rapport de synthèse. Séminaire E.I.E.R. Conservation des sols et des eaux au sud du Sahara (31 mai — 12 juin 1983), 22 p.
- F.D.R., 1983. — Aménagement des sites antiérosifs. Programme complémentaire au F.D.R. 3 — Etude de faisabilité. Ouagadougou, 27 p.
- GRESILLON (J.M.) *et al.*, 1977. — Note sur le dimensionnement des ouvrages évacuateurs de crues en Afrique de l'Ouest sahélienne et tropicale. Bulletin du C.I.E.H. n° 28-29 : 17-48.
- KABORE (M.), 1982. — Communication au séminaire CIEPAC-IPDM. Lutte antiérosive — Ouahigouya.
- KOHLER (J.M.), 1971 — Activités agricoles et changements sociaux dans l'Ouest mossi (Haute-Volta). *Mém. ORSTOM* n° 46, 246 p.
- LAHUEC (J.P.), 1980. — Le terroir de Zaongho. Les Mossi de Koupéla (Haute-Volta). *Atlas des structures agraires au Sud du Sahara* 15. 108 p.
- MARCHAL (J.Y.), 1979. — L'espace des techniciens et celui des paysans. Histoire d'un périmètre antiérosif en Haute-Volta. in *Maîtrise de l'espace agricole et développement en Afrique tropicale*, CNRST-ORSTOM, *Mém. ORSTOM* n° 89 : p.245-252.

- MARCHAL (J.Y.), 1983. — Yatenga. Nord Haute-Volta. La dynamique d'un espace rural soudano-sahélien. *Trav. et Doc. de l'ORSTOM* n° 167, 873 p.
- MIETTON (M.), 1980. — Recherches géomorphologiques au sud de la Haute-Volta. La dynamique actuelle dans la région de Pô-Tiébé. Thèse de 3^e cycle. Grenoble, 235 p.
- MIETTON (M.), 1981. — Lutte antiérosive et participation paysanne en Haute-Volta. *Géo-Eco-Trop*, 5(1) : 57-72 Liège.
- MIETTON (M.), 1984. — Ruissellement et érosion sur petits bassins-versants (Imiga — Province de Ganzourgou). Rapport de fin de campagne 1983, 34 p.
- PELISSIER (P.), 1979. — Le paysan et les techniciens : quelques aspects d'un difficile face-à-face in *Maîtrise de l'espace agraire et développement en Afrique tropicale*, CNRST-ORSTOM, *Mém. ORSTOM* n° 89 : 1-8.
- PIOT (J.), 1981. — La protection des sols en zone sahélienne. Le cas de la Haute-Volta. XVII^e Congrès mondial de l'IUFRO. Kyoto, 10 p.
- PUECH (C.), *et al.*, 1983. — Méthode de calcul des débits de crue décennale pour les petits et moyens bassins-versants en Afrique de l'Ouest et centrale — C.I.E.H. 80 p.
- REEB (J.), 1979. — FDR 2 — Aménagements. Service HAER. Haute-Volta, 29 p.
- ROOSE (E.J.), 1971. — Projet de lutte contre l'érosion hydrique sur le plateau mossi (Haute-Volta) ORSTOM. Centre d'Adiopodoumé. 22 p.
- ROOSE (E.J.) et BERTRAND (R.), 1971. — Etude de la méthode des bandes d'arrêt pour lutter contre l'érosion hydrique en Afrique de l'Ouest. *Agronomie Tropicale* 26, 11 : 1270-1283.
- ROOSE (E.J.), 1974. — Conséquences hydrologiques des aménagements antiérosifs. XIII^e Journées de l'Hydraulique. Société Hydrotechnique de France. Paris. 6 p.
- ROOSE (E.J.), 1975. — Quelques techniques antiérosives appropriées aux régions tropicales. Communication au Colloque sur la conservation et l'aménagement du sol dans les Tropiques humides. I.I.T.A.. Ibadan. 7 p.
- ROOSE (E.J.), 1985. — Terrasses de diversion ou microbarrages perméables ? Analyse de leur efficacité en milieu paysan ouest-africain pour la conservation de l'eau et des sols dans la zone soudano-sahélienne. IV^e Conférence Internationale de Conservation des Sols. ISCO. Maracay (Venezuela) 3-9 novembre 1985, 15 p.
- SANOU (D.), 1981. — Etude comparative entre une parcelle pourvue de bourrelets antiérosifs et des parcelles traditionnelles à Sirgui (Kaya). Mémoire de maîtrise. Université de Ouagadougou. 102 p.
- SAVONNET (G.), 1860. — Un système de culture perfectionnée, pratiqué par les Bwaba-Bobo-Oulé de la région de Houndé (Haute-Volta). *Etudes voltaïques*, 1 : 19-52.
- SINARE (A.), 1982. — Bénéfices et limites d'un aménagement dans le centre-ouest du plateau mossi. Région de Siglé. Mémoire de maîtrise. Université de Ouagadougou, 97 p.
- VAN DIJK (G.), 1981. — La lutte contre l'érosion dans la région Centre-Nord (Kaya). Expériences et propositions. FDR 2. 28 p.
- WRIGHT (P.), 1985. — La gestion des eaux de ruissellement, OXFAM. Projet agro/forestier. Province du Yatenga. Burkina Faso. 38 p.
- ZOUNGRANA (T.), 1985. — Dynamique du changement et pesanteurs sociétales en pays mossi. Mémoire de D.E.A. Université de Lyon II. 116 p.

Terrasses de diversion ou microbarrages perméables ?

Analyse de leur efficacité en milieu paysan ouest-africain pour la conservation de l'eau et des sols dans la zone soudano-sahélienne (1)

Eric ROOSE

Pédologue ORSTOM s/c ENGREF BP 5093 Montpellier 34033 - France

RÉSUMÉ

Le développement agricole en Afrique occidentale s'est traduit par une extension des surfaces cultivées parallèlement à la croissance démographique et par une dégradation alarmante des terres, encore accélérée par 17 années de sécheresse. Bien que l'érosion et surtout le ruissellement soient une entrave au développement, il s'avère difficile de mettre en place le système antiérosif classique des terrasses de diversion. L'auteur dénonce son inefficacité et propose une très ancienne méthode, mieux adaptée aux conditions régionales, les diverses formes de microbarrages perméables aboutissant à la formation de terrasses progressives. Il fait enfin remarquer que ces structures ne sont qu'un cadre cadastral, à l'intérieur duquel il faut mettre en place un système agro-sylvo-pastoral intensif véritablement intégré car les méthodes antiérosives biologiques sont de loin les plus efficaces.

MOTS-CLÉS : Afrique occidentale — Zone soudano-sahélienne — Conservation de l'eau et des sols — Diguette en terre — Microbarrage — Parcelles d'érosion — Techniques de lutte antiérosive traditionnelles.

ABSTRACT

DIVERSION CHANNEL TERRACES OR PERMEABLE MICRODAMS ? ANALYSIS OF TWO SOIL AND WATER CONSERVATION APPROACHES IN THE LITTLE FARMS OF SOUDANO-SAHELIAN AREA OF WESTERN AFRICA (2)

The agricultural development in Western Africa found expression by an extension of cultivated surface parallelly to demographic extension and by an alarming degradation of the land, still accelerated by 17 years of drought. Although erosion and runoff are handicap to rural development it is difficult to establish a diversion channel terraces system in the little farms. The author exposes its inefficiency and proposes a very old system, better adapted to local conditions: the various forms of permeable microdams abutting on « progressive terraces ».

He notes these structures are only a cadastral frame: inside, it must be developed an intensive agro-sylvo-pastoral production system because the biological antierosive methods are the most efficient.

KEY WORDS : Western Africa — Soudano-sahelian area — Soil and water conservation — Diversion channel terraces — Permeable microdams — Runoff plots — Traditionnal soil conservation methods.

(1) Communication à la 4^e Conférence Internationale de Conservation des Sols : Maracay Venezuela 3-9 novembre 1985.

(2) Communication to ISCO IV : Maracay, November 3-9, 1985 by E. ROOSE. Soil scientist at ORSTOM, France.

RESUMEN

TERRAZAS DE DIVERSION U MICROREPRESAS PERMEABLES ?
 ANALISIS DE SU EFICACIDAD PARA LA CONSERVACION DEL AGUA Y DE LOS SUELOS
 EN EL MEDIO CAMPESINO DE LA ZONA SOUDANO-SAHELIANA EN EL OCCIDENTE AFRICANO (1)

El desarrollo agrícola en Africa Occidental se tradujo por la extension de las superficies cultivadas parallamente con el crecimiento demografico y por la degradacion alarmante de las tierras, aun acelerada por 17 anos de sequia. Aunque la erosion y sobre todo el excurrimiento sean un freno al desarrollo, se revelo dificil instalar el sistema anti erosif clasico con terasas de diversion. El autor indica su ineficiencia y propone un metodo muy antiguo, mejor adaptado a las condiciones regionales, las diversas formas de microrepresas permeables llegan a conformar terrazas progresivas. Senala tambien que aquellas estructuras son unicamente un marco catastral dentro del cual se debe ordenar un sistema agro-silvo-pastoral intensivo, verdaderamente integrado, pues los métodos antierosivos biologicos son desde lejos los mas eficaces.

PALABRAS CLAVES : Africa Occidental — Zona soudano-saheliana — Conversación del agua y de los suelos — Malecón de tierra — Microrepresa — Parcelas de erosión — Métodos antierosivos tradicionales.

INTRODUCTION

Depuis les années 1950, et plus spécialement depuis la longue période sèche, on constate une évolution profonde des paysages soudano-sahéliens d'Afrique occidentale : dégradation de la végétation (disparition d'arbres et même de graminées pérennes), dénudation, encroûtement puis décapage des sols, augmentation du ruissellement, ravinement des versants, changement du régime d'écoulement des rivières, baisse du niveau des nappes et finalement aridification du microclimat régional (MULLARD et GROENE, 1961 ; MARCHAL, 1979 ; ROOSE, 1985). Les causes principales sont les pressions démographiques (trop forte charge en hommes et en gros bétail pour une potentialité de production très variable) et socio-économiques (extension des surfaces défrichées, dessouchées et labourées mécaniquement en vue de cultures industrielles, surpâturage, feux de brousse, etc.). La sécheresse plus longue que d'habitude (déjà 17 ans) n'a fait qu'accélérer le déséquilibre entre la biomasse produite et les besoins de consommation (PEYRE de FABREGUE, 1985, ROOSE, 1985).

Face à cette dégradation des terres, une méthode antiérosive classique a été largement préconisée, celle des terrasses de diversion des eaux de ruissellement vers des exutoires aménagés (BENNET, 1939 ; FAO, 1967 ; HUDSON, 1973 ; CTFT, 1980). Devant les échecs plus ou moins caractérisés de cette approche en milieu paysan ouest-africain, une analyse des principes de base des résultats de mesure et des observations de terrain pourrait débloquent le problème. Une autre approche peut être suggérée qui s'appuie sur la pratique traditionnelle

microbarrages perméables : lignes de paille ou de pierres, bandes enherbées, haies vives, rideaux d'arbres, etc.

L'objectif de cette note est d'attirer l'attention des professionnels sur :

- les limites de l'application des méthodes de terrassement en milieu paysan ;
- l'intérêt de méthodes très simples comme les barrages perméables aboutissant à la formation progressive de terrasses à pente faible.

Il faut souligner la nécessité d'une approche plus souple (basée sur les besoins et les possibilités des paysans) et plus globale, visant au-delà de la conservation des sols, le développement harmonieux de la production animale et des plantes industrielles, vivrières et forestières.

LE MILIEU SOUDANO-SAHELIEEN EST FRAGILE

Les précipitations annuelles varient de 1200 à 600 mm vers le nord mais elles ont diminué de 250 mm en moyenne ces dix dernières années. Les pluies tombent en 4 à 6 mois avec des intensités très élevées (55 à 80 mm/h pendant 30 minutes) en comparaison avec la faible capacité d'infiltration des sols. Les averses journalières atteignent 60 à 75 mm tous les ans, 120 mm tous les 10 ans et 150 mm tous les 50 ans (BRUNET - MORET, 1963). L'indice d'érosivité des pluies « RUSA » diminue de 600 à 300 à mesure qu'on se rapproche du Sahel (ROOSE, 1977-80).

Les paysages les plus fréquents sur granite et sur grès (fig.1) sont formés d'un plateau cuirassé plus ou moins vaste, d'un court éboulis de blocs, d'un long glacis gravillonnaire recouvert d'un voile sablo-limoneux

(1) Communication para la 4^o Conferencia Internacional de Conservacion de Suelos — Maracay 3-8 novembre 1985.

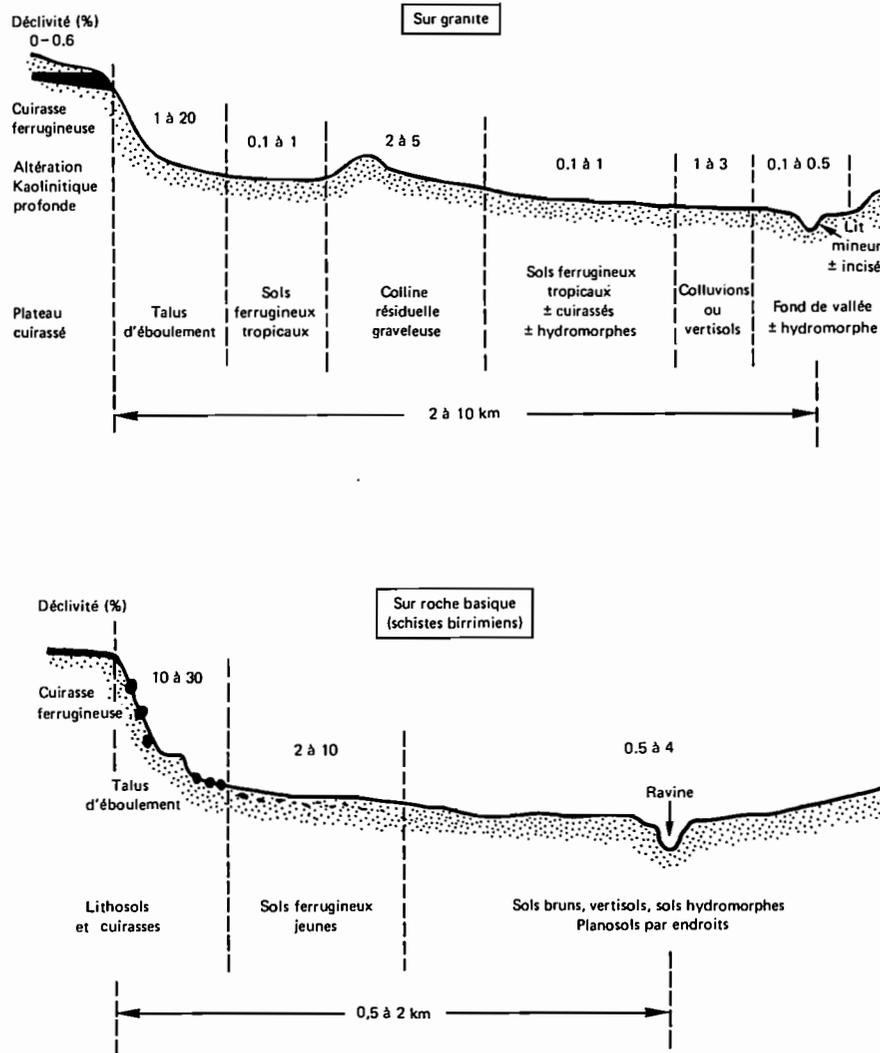


Fig.1. — Toposéquences typiques sur le plateau Mossi.

de plus en plus épais, d'un bourrelet de berge et du lit mineur souvent encaissé. La majorité des pentes sont faibles (0 à 5 %) mais très longues.

Les sols ferrugineux tropicaux plus ou moins lessivés et hydromorphes en profondeur et les sols bruns plus ou moins hydromorphes ou vertiques de bas de pente sont pauvres chimiquement (carences N-P... parfois K, pH 5 à 4) et de structure instable (peu de matière organique, beaucoup de limons et sables fins). Dès qu'ils sont dénudés, il se forme en surface une croûte de battance très peu perméable (moins de 10 mm/h). Après quelques années de culture alternée (coton (arachide) — céréales (sorgho ou mil) en continu) avec labour et deux sarclo-buttagés par an exécutés avec la traction

bovine, il se forme vers 12-15 cm une semelle de labour impénétrable aux racines (compacité, pH, carence ou toxicité ?). Le pédoclimat est donc beaucoup plus sec encore pour les plantes. Les jachères sont en voie de disparition, trop courtes et trop surpâturées pour être efficaces pour régénérer la fertilité des sols.

Les cultures laissent très peu de résidus : les tiges de cotonnier sont brûlées, les fanes d'arachide sont utilisées comme fourrage, les feuilles de céréales sont broustées sur place et les tiges restantes utilisées pour quelques travaux artisanaux.

La végétation, une savane arborée assez dense à l'origine, a été terriblement dégradée ces dernières années du fait de l'extension des cultures, du ruissellement

et de la baisse de niveau des nappes, des énormes besoins en bois de feu et du surpâturage. Les troupeaux se sont beaucoup développés durant les années humides dans tout le Sahel ; aussi durant la période sèche, la biomasse produite en diminution n'arrive plus à nourrir à la fois les troupeaux du village et les troupeaux transhumant du Sahel vers des zones plus humides (HALLAM, VAN CAMPEN, 1985).

Les mesures en parcelles d'érosion (100 à 5000 m²) (ROOSE, ARRIVETS POULAIN, 1979 ; ROOSE et PIOT, 1984) sur quatre stations situées à moins de 100 km de Ouagadougou ont montré :

— un très fort ruissellement sur les versants, intolérable dans ces régions où les cultures manquent cruellement d'eau pour terminer leur cycle.

Ruissellement annuel de

40 %	sur sol nu
20 à 30 %	sur cultures sarclées : sorgho, mil, coton
0,2-2-20 %	sur vieilles jachères protégées, feu précoce, feu tardif

Ruissellement de 60 à 70 % lors des fortes averses sur sol peu couvert (savanes, sorgho, sol nu).

— des pertes en terres modérées (0,1 à 20 t/ha/an), vu la faiblesse des pentes (< 1 %) mais extrêmement sélectives vis-à-vis des colloïdes (matières organiques, argile + limon) et des nutriments. Sous cultures relativement intensives (labour + buttage + engrais), les pertes en terre ont tout de même dépassé largement (3 à

14 t/ha/an) la limite admissible pour des sols qui se reconstituent lentement ($T = 1 \text{ à } 2 \text{ t/ha/an}$).

Ces résultats ont été confirmés à l'aide de simulateurs de pluie qui ont montré en outre, que plus les sols sont instables plus ils sont érodibles, plus l'effet bénéfique du travail du sol sur l'infiltration est limité (COLLINET, VALENTIN, 1979).

2. MÉTHODES DES TERRASSES DE DIVERSION (fig.2)

Principes

Le sol est considéré comme incapable d'infiltrer les fortes intensités des pluies. Il faut donc évacuer vers des exutoires naturels ou aménagés l'excédent d'eau, qui en s'accumulant tout au long du versant, acquiert de la vitesse et donc une énergie supplémentaire.

$$(E \text{ Ruiss} = \frac{\text{Masse} \times \text{Vitesse}^2}{2})$$

En limitant la longueur de pente, on réduit donc les risques de voir se développer une érosion linéaire ravissante, mais on n'arrête pas la battance des pluies ni la dégradation des sols cultivés entre diguettes.

Mesures en parcelles (tableau I)

Les rares mesures en parcelles concernant l'influence de la longueur de pente en Afrique occidentale (BENIN,

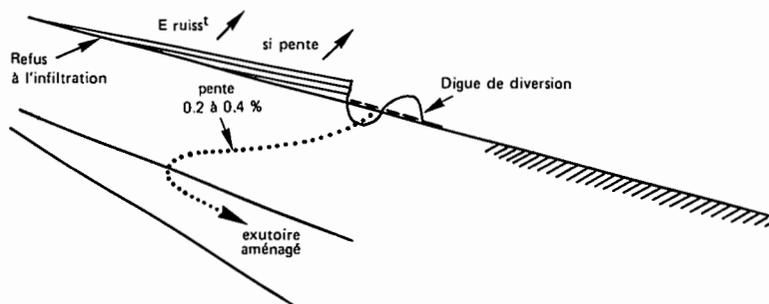
• L'érosion est fonction de :

- l'énergie des pluies (constante tout le long de la pente)
- l'énergie du ruissellement (qui croît avec la pente) : $\frac{MV^2}{2}$

$$E = f(\text{longueur})^n \times (\text{pente})^m$$

• Les terrasses

- peuvent évacuer l'Énergie du Ruissellement accumulée
- ne peuvent pas réduire l'Énergie des pluies ni la Dégradation du Sol



INCONVENIENTS :

1. Nécessité d'équipes de topographes experts
 2. Important travail d'installation et d'entretien
 3. L'aménagement doit rompre s'il advient une pluie de fréquence inférieure à 1/10 ans
 4. Variation de largeur des champs cultivés
 5. N'arrête pas l'érosion en nappe ni la dégradation
 6. Finalement, risques graves de ravinement s'il y a rupture des digues (1 fois en 4 à 10 ans)
- d'où généralement { digues non protégées
canaux encombrés de sédiments
exutoires non enherbés, ni protégés
(surcreusés ou ensablés)

Fig.2. — Terrasses de diversion

TABLEAU I
Résultats à Gampela (CTFT/HV)

Coordonnées : Longitude 1°21'W ; latitude 12°25'N ; altitude 280 m.
Dispositif : 3 parcelles de 5000 m², longueur 100 m, pente 0,8 %,
1 parcelle nue standard 200 m², longueur 25 m.
Sols ferrugineux tropical gravillonnaire peu épais (30 cm) sur cuirasse.

Années	1967	1968	1969	1970	1971	1972	Mean	
Pluies (mm)	636*	722	773	720	720	917	731	
RUSA index	270	254	449	266	308	366	319	
RUISSELLEMENT								
KRAM %	P1	4	2,3	10,1	18,1	20,5	7,6	10,4%
	P2	12	12,6	23,3	31,5	45,3	17,1	23,7%
	P3	22,2	15,1	15,8	23,1	32,4	26,2	22,5%
KRMAX %	P1	29	14	37	33	31	31	31
	P2	46	70	40	45	57	39	45
	P3	42	38	43	39	37	51	40
EROSION (t ha⁻¹)								
	P1	non testé	0,64	1,67	6,12	5,43	2,14	3,20
	P2	"	2,53	4,22	8,18	10,28	4,27	5,90
	P3	"	1,56	2,54	5,12	6,54	4,52	4,06
	PW	"	non testé	10,60	21,07	18,12	14,38	16,04
K index			0,054	0,09	0,32	0,24	0,16	0,20
CULTURES								
	Local sorgho	Sorghum striga	IRAT mil	TE3 arachide	IRAT mil	TE3 arachide		
RENDEMENTS (t ha⁻¹)								
	P1	0,83	0,43	1,08	1,58	1,35	1,46	1,12
	P2	0,85	0,46	1,01	1,46	1,03	1,40	1,03
	P3	0,76	0,43	1,24	1,63	0,99	1,25	1,05

§ Développement considérable de STRIGA, parasite du SORGHO.

P1 Diguettes de diversion (h = 40 cm, pente 0,2 %) ; billonnage isohypse cloisonné en 1967, 1968 et 1972 ; non cloisonné en 1969, 1970 et 1971 labour isohypse au tracteur, fertilisation à la dose vulgarisée.

P2 Diguettes idem, labour au tracteur selon la plus grande pente, sarclage et buttage selon la pente, fertilisation idem.

P3 Méthode traditionnelle de semis à la houe mais avec une densité et une fertilisation semblable à P1-P2. Sarclage non butté.

PW Parcelle nue, labourée chaque année et sarclée chaque fois que le sol s'encroûte, environ toutes les 3 semaines (donc plus souvent que dans les conditions standard définies par Wischmeier).

KRAM : coefficient de ruissellement moyen annuel.

KRMAX : coefficient de ruissellement maximum lors d'une forte averse.

VERNEY et WILLAIME, 1965 ; ROOSE, 1976 - Sénégal : ROOSE, 1967 - Nigéria : LAL, 1975) et les 532 mesures effectuées aux USA (WISCHMEIER *et al.*, 1958) ont montré que le ruissellement et même l'érosion n'augmentent pas forcément avec la longueur de pente et peuvent même diminuer. En effet, la vitesse du ruissellement reste constante tant qu'il s'écoule en nappe (frottement très élevé : cas des parcelles) mais ce n'est plus le cas dans les rigoles et les ravines (cas des champs et versants). Les variations interannuelles sont aussi importantes que les variations d'une station à l'autre.

A l'échelle du champ, il y a donc interaction entre l'effet de la longueur de pente et celui de l'état de la surface du sol (en particulier sa rugosité, son inclinaison, le couvert végétal et l'aménagement des résidus de culture).

Si l'érosion croît généralement de façon exponentielle avec la longueur de pente, l'exposant varie de 0,1 à 0,9 en fonction de l'importance du ruissellement (SMITH, WISCHMEIER, 1962) et de sa concentration dans l'espace (érosion linéaire).

Sur le tableau I sont présentés les résultats des essais effectués par le Centre Technique Forestier Tropical

(CTFT) sur des champs (0,5 ha) de la station de Gampela, 25 km à l'est de Ouagadougou, région centre du Burkina Faso (jadis Haute-Volta). En comparant les résultats des parcelles P1 (diguettes + billonnage isohypse, cloisonné en 1967-68 et 72) et P2 (diguettes isohypses + billonnage selon la plus grande pente, non cloisonné) (P1 + P2 représentent le « système moderne amélioré ») au témoin P3 (= culture traditionnelle mossi = travail minimum à la houe), on peut conclure que l'état de surface du sol (sens et cloisonnement du billonnage) est bien plus efficace pour modifier le ruissellement et l'érosion que l'aménagement proprement dit (= diguettes de diversion).

Observations sur le terrain

En 1962-65, sous l'impulsion du service des Eaux et Forêts, le GERES (Groupe Européen de Restauration des Sols en Haute-Volta) réalise un grand projet de conservation des sols dans la région de Ouahigouya touchant 120 000 ha de versants traités en fossés de diversion (35 000 km), de 650 ha d'exutoires protégés par des murettes en parpaings de latérite et 24 barrages collinaires en terre compactée (1 015 milliards de CFA). MARCHAL (1979) a montré comment ce projet, bien monté sur le plan technique, s'est rapidement avéré un échec car il n'a été tenu aucun compte de l'organisation traditionnelle de l'espace ni des possibilités des paysans de valoriser et d'entretenir les aménagements. Dès 1965, le BDPA constate l'inadaptation au contexte régional non seulement sur le plan humain mais aussi sur le plan technique. « Il peut être dit que dans son ensemble, l'efficacité des bordures plantées en graminées est telle que l'on se demande si l'aménagement des fossés sur des pentes inférieures à 2 % est vraiment nécessaire ! L'amélioration des cultures devrait aller de pair avec la défense des sols » (note 10 p.41 - tiré de MARCHAL, 1979).

Depuis 1972, le Fonds de Développement Rural, toujours au Burkina Faso aide les groupements villageois qui en font la demande, à implanter les courbes de niveaux sur lesquelles les paysans eux-mêmes construisent leurs diguettes de diversion. Le coût est moins important et les paysans concernés à tous les niveaux mais les surfaces aménagées (15 000 ha en 1980) n'atteignent pas 20 % de l'espace à traiter. MIETTON (1981) constate que l'entretien n'est pas assuré (les bourrelets sont nus, souvent affaissés) et la mise en place du dispositif représente un effort considérable (10 à 15 jours homme/ha pour remuer 100 m³ de terre).

Au Sud Mali (HALLAM et VAN CAMPEN, 1985), cette méthode a connu un certain succès chez quelques gros paysans sénoufos (les eaux ruisselantes ravinent en dehors de leurs champs) mais elle n'a connu que peu d'extension.

En réalité cette méthode n'a pas donné satisfaction dans le paysannat ouest-africain (sinon elle serait répandue d'elle-même) non seulement pour des raisons socio-économiques (importance du travail de mise en place et d'entretien, perte de surface cultivée) mais aussi pour des raisons techniques (risque de rupture, faible efficacité par rapport à d'autres moyens) qu'il nous faut analyser de plus près.

Critique

(1°) Cette méthode exige une implantation soignée, donc une équipe de topographes qualifiés très consciencieux car les fossés et diguettes de diversion doivent évacuer les eaux avec une pente de l'ordre de 0,2 à 0,5 %, ce qui n'est pas facile à réaliser dans les paysages ondulés à pentes inférieures à 3 %. On observe donc un certain nombre de ruptures de digues par défaut de construction : contre-pente locale, diguette pas assez haute ni assez tassée, diguettes trop écartées (optimum 20 à 50 m).

(2°) Cette méthode exige un gros travail d'implantation (15 jours-h/ha) et d'entretien tout au long des années (2j-h/ha). En effet, les diguettes doivent être protégées par un tapis herbacé rampant sinon elles se dégradent par la battance des pluies et les bêtes errantes. Les fossés doivent être curés car les terres érodées sur le champ s'y déposent forcément du fait du changement de pente (2 → 0,2 %) et de compétence des eaux. Les exutoires doivent être aménagés, recouverts d'herbes. Or les herbes s'y implantent très difficilement si on y a décapé l'horizon humifère biologiquement actif ; de plus le courant violent ravine le fond et arrache les jeunes plantules. Un tel entretien n'étant presque jamais réalisé, par manque de moyen et par incompréhension du système, on observe au bout de 2 à 6 ans de nombreuses ruptures des dispositifs.

(3°) Ces structures imperméables sont calculées pour évacuer, sans danger d'érosion, le ruissellement des averses décennales : il serait trop cher de dimensionner les canaux pour évacuer les crues plus importantes de fréquence plus rare. Or, on ignore le plus souvent les coefficients de ruissellement sur terres cultivées, coefficients doubles ou triples de ceux qu'on observe à l'échelle des bassins versants (fonction des états de surface, saturation de la surface du sol, faible couvert végétal). surtout, il peut advenir chaque année en un point du terrain une pluie ou une série de pluies de fréquence de 1/20 à 1/50 qui causent le débordement des fossés, la rupture en série de diguettes, le ravinement des exutoires, l'ensablement et l'inondation des bas-fonds.

(4°) Ces structures de diversion doivent impérativement suivre les courbes de niveau (à 0,2 — 0,5 % près) de telle sorte que la largeur des bandes cultivées varie

(de 20 à 50 m). De plus on perd de 6 à 14 % de la surface cultivable du sol : fossés et diguettes ne peuvent être cultivées. Ce sont là deux inconvénients majeurs à la mécanisation et à l'intensification lorsqu'on manque de terre.

(5°) Ces structures en creux « déchirent le terroir » « font mourir la terre » disent les vieux et se surimposent à l'organisation traditionnelle du terroir. Il est très difficile de changer les habitudes des gens et des animaux si bien qu'on observe de nombreuses ruptures au croisement des diguettes avec les anciens chemins et sentiers d'animaux (MARCHAL, 1979).

Au bout de quelques années, on constate qu'on a transformé une érosion en nappe insidieuse en une érosion ravinante localisée (exutoires + diguettes emportées), mais on n'a pas résolu le problème de la dégradation des terres ni de l'érosion en nappe sur les bandes de terre cultivée. On n'a modifié ni l'inclinaison de la pente, ni le couvert végétal, ni les techniques culturales, mais seulement la longueur de pente et parfois (pas toujours) l'orientation du travail du sol. A Ouahigouya, la comparaison à partir des photos aériennes de

1952-73 entre dix terroirs situés dans l'espace aménagé et dix autres comparables en dehors de l'aménagement « ne laisse aucun doute sur l'inefficacité du système antiérosif : non seulement les aménagements les mieux conçus n'ont pas pu enrayer l'érosion, mais ils ont permis une extension supérieure à celle des terroirs non aménagés ». (MARCHAL, 1979).

MIETTON (1981) observe cependant une augmentation du stock d'eau du sol aux abords des diguettes (d'où l'intérêt de les rapprocher) et une augmentation de rendements en année déficitaire (tout au moins en paille).

Si cette méthode n'a pas donné satisfaction dans le paysannat ouest-africain, tant pour des raisons socio-économiques que techniques, cherchons s'il est possible de généraliser des méthodes localement appliquées et dont l'efficacité ne fait pas de doute.

MÉTHODE DES BARRAGES PERMÉABLES ET DES TERRASSES PROGRESSIVES (fig.3).

Face à cet ensemble de méthodes de diversion importées des USA et imposées de l'extérieur, il existe dans

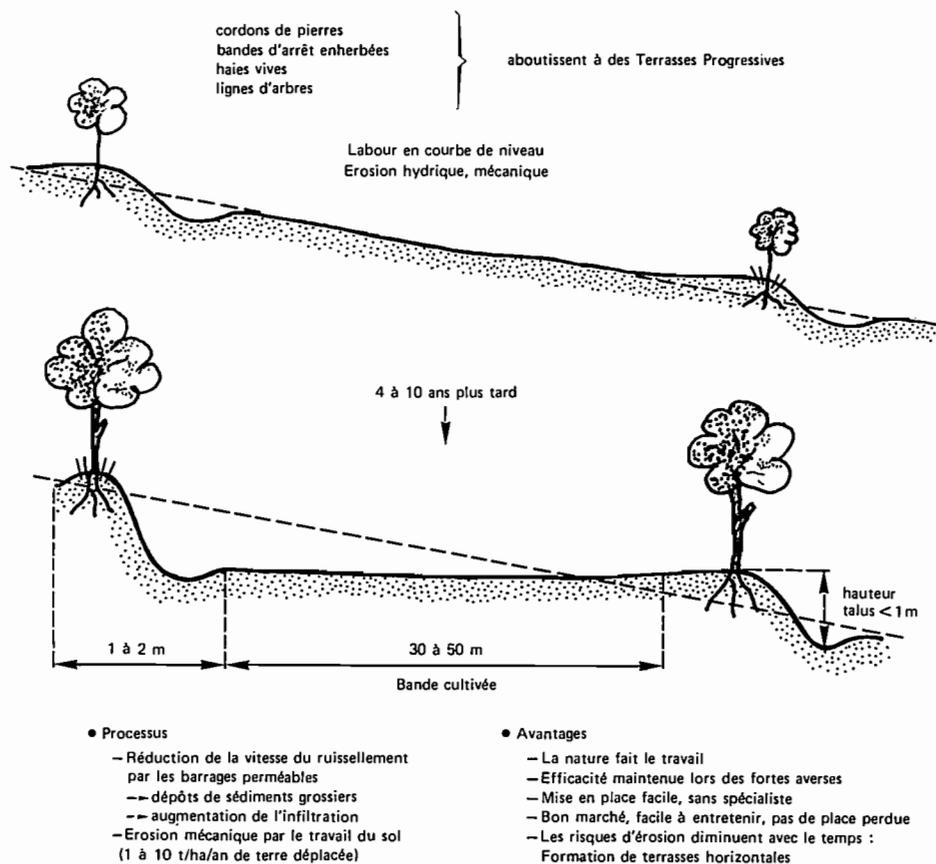


Fig.3. — Microbarrages semi-perméables.

Microbarrages imperméables



1. Exemple de digue de protection contre les eaux ruisselant des sommets gravillonnaires.
Essais DRSPR — Kaniko (Sud-Mali)



2. Zone amont d'un barrage en demi-lune destiné à capter dans une fosse périodiquement recreusée, la plus grande partie de la terre érodée et des eaux ruisselées. Ce système accroît les réserves en eau facilement exploitables.
Ziga (Burkina Faso)



3. Petit barrage collinaire sans exutoire construit par une communauté de Ziga pour les besoins en eau des hommes et des bêtes, pour la recharge de la nappe et pour l'irrigation de petits jardins.
Essais CIRAD-DSA-Ziga (Burkina Faso)

Microbarrages perméables



4. Cordons de pierres en pays Mossi. (Burkina Faso).



5. Détail d'un cordon de pierres à un seul niveau :
En amont, dépôt de débris organiques et d'éléments minéraux grossiers.
En aval, formation de griffes par effet venturi.
Essais CIRAD-DSA-Ziga (Burkina Faso).



6. Diguette avec « fusible » (brèche plus ou moins colmatée par des branchages).
Essais CIRAD-DSA-Ziga (Burkina Faso)

Clichés E. ROOSE, 1986

les paysages africains, de même qu'en Europe et en Asie, toute une gamme de dispositifs conservatoires très simples qui ont fait leur preuve au cours des siècles passés et peuvent s'adapter à des circonstances très diverses : ce sont les haies vives, les rideaux d'arbres, les bandes d'arrêt enherbées, les lignes de cailloux, de pailles ou de branches. Il s'agit de microbarrages perméables qui donnent naissance à des « terrasses progressives ».

Principe

Lorsqu'on freine un filet d'eau chargé en diminuant l'inclinaison de la pente ou en augmentant la rugosité de la surface du sol, on provoque une diminution de la compétence et de la capacité de transport de l'eau, donc un dépôt préférentiel des sédiments les plus grossiers (sables, agrégats et matières organiques). En s'accumulant, ces dépôts perméables modifient progressivement la pente et accélèrent le processus naturel. De plus, si on oriente les lignes de freinage et le travail de sol plus ou moins le long des courbes de niveau, à chaque opération de préparation du sol, on pousse vers le bas (ou vers le haut) 1 à 10 tonnes/ha de terre, si

bien qu'on modifie rapidement (4 à 10 ans) le paysage en une suite de talus enherbés et de champs cultivés en terrasses à pente douce : les risques d'érosion diminuent donc naturellement en même temps que la pente. Les eaux excédentaires passent sans danger par-dessus le talus enherbé et arrivent sans énergie et débarrassées de leurs sédiments à la terrasse sous-jacente : là, un fossé, peut les évacuer si nécessaire vers des exutoires.

Mesures en parcelles (tableau II)

Sur parcelles d'érosion en milieu guinéen forestier, des bandes d'arrêt enherbées de deux mètres de large ont réduit l'érosion à 0,3-0,1 et le ruissellement à 0,6 à 0,3 du témoin sous cultures sarclées. Même en région sahéenne, une triple rangée d'herbes (andropogon) ou un cordon de pierres se sont montrés très efficaces pour piéger l'eau et surtout les terres érodées (ROOSE, BERTRAND, 1971 ; DELWAULLE, 1973).

Observations sur le terrain

En Côte d'Ivoire (CRA de Bouaké et Man) et à Madagascar (Manankazo) l'aménagement antiérosif

TABLEAU II

Influence des bandes d'arrêt sur le ruissellement annuel moyen (Kr %) et l'érosion (t/ha/an ou % du témoin)

1) Adiopodoumé, 1965 - Culture de manioc, pente 7 %

Largeur bande d'arrêt				Rapport
	0 m	2 m	4 m	d'efficacité
Ruiss. Kr %	16,5	10,3	6,0	1/0,6/0,36
E t/ha/an	18,9	5,7	1,8	1/0,3/0,1
2) Bouaké Kr %				
1965 arachide + maïs	9,4	3,2	1,8	1/0,34/0,19
E t/ha	4,6	0,54	0,19	1/0,12/0,04
1966 maïs + maïs Kr %	15,4	6,7	5,5	1/0,44/0,36
billons parallèles	10,6	1,2	1,1	1/0,11/0,10
pente E t/ha				

(D'après ROOSE, BERTRAND, 1971)

3) Allokoto (NIGER) 1966-70 : Sorgho, coton, arachide, mil.

	Ruiss %	E t/ha/an	Rapport d'efficacité	
- Témoin sans aménagement labour minimum à la houe	17,6 %	9,5	1	1
- Bande enherbée (3 lignes Andropogon) labour-billon-binage-isohypses	5,2 %	1,1	0,3	0,11
- Cordon de pierres (dh = 0,8 m) labour-billon-binage-isohypses	3,8 %	0,5	0,2	0,05
- Diguettes en terre armées de pierres labour + billon + binage isohypses	0,9 %	0,2	0,05	0,02

(D'après DELWAULLE, 1973)

de versants (en culture motorisée de 4 à 9 % de pente) par des bandes d'arrêt de 2 à 4 m de large (couvertes de diverses graminées et légumineuses, distantes de 25 mètres) a permis la formation de talus de 50 à 100 cm en 4 à 6 ans (ROOSE, BERTRAND, 1971).

Au Burkina Faso, des Mossi des environs de Ouahigouya, sans aucune aide extérieure, ont restauré la fertilité de sols complètement décapés et encroûtés en piégeant le ruissellement et sa charge solide (sables, agrégats et matières organiques) par une ligne brisée de cailloux et d'herbes (structures des champs en nid d'abeille), en enrichissant les sédiments avec du fumier (revitalisation de la terre) et en travaillant ce nouveau sol pour améliorer l'infiltration (ROOSE, PIOT, 1984). Au bout d'un an, le sol est suffisamment amélioré pour produire 1,2 t/ha de sorgho ; on procède alors à l'aménagement d'un nouveau champ en amont.

Au Sud Mali (collaboration du KIT et IER dans la région de Koutiala) dans des zones surpâturées où la jachère a presque disparu suite à l'extension des cultures de coton et céréales, tractées aux bœufs, des haies vives ont été implantées (*Euphorbia balsamifera* + herbes + arbres à buts multiples), d'abord à titre de démonstration, puis par les paysans volontaires de trois associations villageoises (HALLAM, VAN CAMPEN 1985, ROOSE, 1984). L'objectif est de délimiter des barrages perméables à l'eau (mais pas au bétail) des bandes de terre de largeur constante (de 23 - 31 ou 48 mètres selon les risques érosifs) facilitant l'introduction des techniques modernes d'intensification (engrais, pesticides, herbicides, fumier, agroforesterie, travail du sol en courbe de niveau, etc.) Cette méthode plus souple et plus facile à réaliser a été bien accueillie par les paysans, mais il est trop tôt pour conclure sur son efficacité et l'extension qu'elle prendra.

Critique de la méthode

(1°) Cette méthode n'utilise que des moyens simples, peu coûteux et s'appuie sur une technique déjà connue en milieu paysan traditionnel. Elle n'exige pas de topographe spécialisé car les haies vives peuvent être implantées parallèlement les unes aux autres, en suivant plus ou moins la direction des courbes de niveau principales du milieu de versant.

(2°) Les terrasses sont construites progressivement, naturellement, sans effort. Le travail d'implantation des haies et d'entretien est réduit au minimum si on choisit au départ des espèces rustiques.

(3°) Les microbarrages étant petits, nombreux et perméables, il n'y a pas de risque de catastrophe au cours des plus fortes averses : les nappes d'eau qui n'auraient pu être infiltrées ou stockées au champ (billonnage cloisonné) peuvent s'écouler sans danger par-dessus les talus

protégés par les pierres et les végétaux (racines, litières, herbes). Si les pentes sont fortes il peut être prudent de prévoir l'évacuation de ces eaux claires dans un fossé évasé enherbé à l'aval du talus.

(4°) Les bandes cultivées ont une largeur constante pour permettre une agriculture mécanisée vraiment intensive : leur longueur peut atteindre 200 à 400 mètres, maximum pour le travail aux bœufs. Au-delà on ne gagne que peu de temps et les risques de pente secondaire donc d'érosion sont trop grands. Il n'y a pas de perte de terrain car, quelques années après l'installation on peut récolter sur les bandes d'arrêt du paillage, du fourrage, des fruits, du bois de feu (plus tard des perches) qui peuvent être commercialisés (GORSE, 1985).

(5°) Il est cependant une limite à cette méthode, c'est l'épaisseur de terre meuble. En déplaçant progressivement la terre par érosion naturelle et par le travail du sol, on épaissit la couche arable en aval des bandes cultivées, mais simultanément on amaigrit la couche arable des parties hautes. Tant que la terre est meuble, on peut compenser les pertes en amont par des apports préférentiels de matières organiques et d'engrais minéraux. Mais si on rencontre la roche à moins de 50 cm, il faut un an sur deux effectuer le travail du sol en sens inverse, c'est-à-dire en remontant la terre pour assurer un volume de sol suffisant pour le réseau racinaire.

CONCLUSION

L'analyse des principes, des résultats de mesure et des observations de terrain montre clairement que la méthode des microbarrages perméables aboutissant naturellement à la formation de terrasses progressives est mieux adaptée que les terrasses de diversion pour servir de cadre à l'aménagement antiérosif des terroirs de la zone soudano-sahélienne d'Afrique occidentale.

Il faut cependant faire deux remarques :

(1) Il existe très peu de données scientifiquement valables démontrant l'efficacité et la rentabilité de ces aménagements sur la conservation de l'eau et des sols à l'échelle d'un bassin versant. On continue pourtant à appliquer aveuglément les méthodes définies par Benet, il y a près de 50 ans dans les conditions très particulières de l'agriculture intensive des climats tempérés de la Grande Plaine américaine.

(2) Les rares mesures d'érosion effectuées en parcelles montrent que même si ces aménagements sont efficaces (P varie de 1 à 0,3-0,1) ils le sont beaucoup moins que les méthodes biologiques d'utilisation des champs (C varie de 1 à 0,1-0,01).

Une fois l'aménagement correctement réalisé et adapté à chaque secteur du paysage, il reste donc à définir des systèmes agro-sylvo-pastoraux régionalement bien

adaptés qui permettent réellement d'intensifier la production à la fois des cultures (industrielles et vivrières), du bois (principale source d'énergie dans

le milieu paysan africain) et du bétail pour répondre aux besoins les plus élémentaires des populations en pleine expansion.

BIBLIOGRAPHIE

- BDPA, 1965. — Périmètre de restauration des sols Ouahigouya : projet d'aménagement et de mise en valeur. 3 tomes : 85-68-38 p.
- BENNET (H.H.), 1939. — Elements of soil conservation. 2nd edition New York, Mac Graw-Hill.
- BRUNET-MORET (Y.), 1963. — Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique occidentale ; Haute-Volta. ORSTOM. CIEH, 23 p.
- COLLINET (J.), VALENTIN (C.), 1979. — Analyse de différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. *Cah. ORSTOM, Ser. Pédol.*, (17)4 : 283-328.
- CTFT, 1980. — Conservation des sols au sud du Sahara. Min. Coop. — CTFT, Paris 2^e édit. 296 p.
- DELWAILLE (J.C.), 1973. — Résultats de six années d'observations sur l'érosion au Niger. — *Bois et for. Trop.* 150 : 15-37.
- FAO, 1967. — La défense des terres cultivées contre l'érosion hydrique. FAO Rome, 202 p.
- GORSE (J.), 1985. — La désertification dans les zones sahéliennes et soudanaises de l'Afrique de l'Ouest. Comm. Coll. Gembloux (Belgique) 60 p. *Multigr.*
- HALLAM (G.), VAN CAMPEN (W.), 1985. — Reacting to farmers complaints of soil erosion on intensive farms in Southern Mali. Comm. Coll. Isc 04, Macaray, 13 p. *Multigr.*
- HUDSON (N.W.), 1973. — Soil conservation. B.T. Badsford limited London 320 p.
- LAL (R.), 1975. — Soil erosion problems on an alfisol in Western Nigeria and their control. IITA monograph n° 1. Ibadam 126 p.
- MIETTON (M.), 1981. — Lutte antiérosive et participation paysanne en Haute-Volta. *Géo. Eco. Trop.* 5, 1 : 57-72.
- MULARD (M.), GROENE (D.), 1961. — Les méthodes de lutte contre l'érosion du sol en Haute-Volta. *Bois et For. Trop.* 79 : 7-16.
- PEYRE de FABRÈGUE (B.), 1985. — Conséquence de la sécheresse dans le domaine pastoral de la république du Niger. Comm. Coll. Gembloux (Belgique) 7 p. *multigr.*
- PIOT (J.), MILLOGO (E.), 1980. — Rapport de synthèse de six années d'étude du ruissellement et de l'érosion à Linoghin (Haute-Volta). CTFT/Haute-Volta. 47 p. *multigr.*
- QUILFEN (J.P.), MILLEVILLE (P.), 1984. — Résidus de culture et fumure animale : un aspect des relations agriculture-élevage dans le nord de la Haute-Volta. *Agron. Trop.* 38, 3 : 206-212.
- ROOSE (E.), 1967. — Dix ans de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal. *Agron. Trop.* 22, 2 : 123-152.
- ROOSE (E.), BERTRAND (R.), 1971. — Etude de la méthode des bandes d'arrêt pour lutter contre l'érosion hydrique en Afrique de l'Ouest. *Agron. Trop.* 26, 11 : 1270-1283.
- ROOSE (E.), 1976. — Use of the universal soil loss equation to predict erosion in western Africa. SSSA. Special Publication n° 21 : 60-74.
- ROOSE (E.), 1976. — Le problème de la conservation de l'eau et du sol en république du Bénin. FAO-ORSTOM Abidjan, 34 p.
- ROOSE (E.), 1977. — Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles. *Trav. Doc. ORSTOM n° 78*, Paris, 108 p.
- ROOSE (E.), 1977. — Adaptation des méthodes de conservation des sols aux conditions écologiques et socio-économiques de l'Afrique de l'Ouest. *Agron. Trop.* 33, 2 : 132-140.
- ROOSE (E.), 1980. — Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. *Trav. Doc. ORSTOM*, n° 130, Paris, 567 p.
- ROOSE (E.), PIOT, 1984. — Runoff, erosion and soil fertility restoration on the Mossi Plateau (Central Upper Volta). Proc. Harare Symposium, IASH n° 144 : 485-498.
- ROOSE (E.), 1984. — Causes et facteurs de l'érosion hydrique sous climat tropical. Conséquences sur les méthodes antiérosives. *Mach. Agric. Trop.* 87 : 4-18.
- ROOSE (E.), 1984. — Impact du défrichement sur la dégradation des sols tropicaux. *Mach. Agr. Trop.* 87 : 24-36.
- ROOSE (E.), 1985. — Dégradation des terres et développement en Afrique de l'Ouest. Comm. Coll. de Gembloux (Belgique) 30 p. *multigr.*
- SMITH (D.D.), and WISCHMEIER (W.H.), 1962. — Fainfall erosion. *Advance in Agron.* 14 : 109-148.
- VERNEY (R.), WILLAIME (P.), 1965. — Résultat des études de l'érosion au Dahomey. Comm. Coll. Conser. et amélior. de la fertilité des sols ; Khartoum OUA/STPC n° 98 : 43-53.
- WISCHMEIER (W.H.), SMITH (P.), UHLAND (D.D.) Evaluation of factors in the soil loss equation. — *Agron. Eng.* 39,8 : 458-462, 474.
- WISCHMEIER (W.H.), SMITH (D.D.), 1978. — Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning — USDA, *Agric. handbook* n° 537, 58 p.

Les transports solides dans l'écosystème forestier tropical humide guyanais : effets du défrichement et de l'aménagement de pâturages

J.M. FRITSCH (1) et J.M. SARRAILH (2)

(1) Hydrologue ORSTOM, B.P. 165, 97323 Cayenne Cedex — (2) C.T.F.T., B.P. 701, 97387 Kourou Cedex

RÉSUMÉ

Les effets du défrichement mécanisé de la forêt primaire et des premiers stades de l'implantation de pâturages sur l'érosion sont mesurés sur petits bassins-versants et sur parcelles d'érosion. A partir des données recueillies dans le même temps sur deux bassins témoins et sur trois parcelles élémentaires en forêt naturelle, les auteurs ont mis en évidence l'importance de l'augmentation, après défrichement, des transports solides en suspension (20 à 30 fois plus qu'en milieu naturel) et du charriage (50 à 500 fois plus).

Le suivi topographique d'un bassin défriché montre que les transports solides mesurés à l'exutoire ne constituent qu'une petite fraction de l'érosion effective sur les versants.

Les transports solides observés sous prairies artificielles sont faibles : 2,4 fois ceux observés sous forêt sur le bassin C et 3,2 fois sur le bassin A ; les valeurs de l'érosion sur parcelles et sur bassins apparaissent tout à fait comparables, quoique légèrement supérieures sur bassins.

MOTS-CLÉS : Bassin expérimental — Parcelle d'érosion — Ruissellement — Erosion — Transports solides — Déforestation — Conservation des sols — Forêt tropicale humide — Guyane française.

ABSTRACT

SOLID DISCHARGES IN THE GUIANESE RAINFOREST :
EFFECTS OF CLEARING AND OF PASTURE MANAGEMENT.

Mecanized clear-cutting of tropical rain forest and pasture management effect on erosion and solid discharge are investigated on 8 small experimental watersheds and erosion plots.

Under natural forest cover, annual sediment discharge is highly correlated with quickflow. Observed values of natural suspended sediment discharge are varying from 50 kg ha⁻¹ year⁻¹ to 700 kg. ha⁻¹.year⁻¹, according to runoff range in the set of watersheds.

After clear-cutting, sediment discharge measured on both experimental watersheds and two undisturbed catchments operated as paired-watersheds and three plots, increases from 35 to 50 times over discharge in natural conditions.

Levelling methods used on clear-cutted bassins indicate that sediment exportation measured at the weir are a very small part of effective erosion of slope which medium value was estimated at 8 cm for the whole basin.

Solid discharges measured on artificial pasture are returning to lower values, such as 540 kg. ha⁻¹. year⁻¹ (A catchment) and 106 kg. ha⁻¹.year⁻¹ (C catchment), with respective increase of 2.4 times and 3.2 times in relation to natural forest cover.

KEY WORDS : Experimental watershed — Erosion plot — Runoff — Erosion — Solid discharge — Clear-cutting — Soil conservation — Amazonian tropical Rain forest — French Guiana.

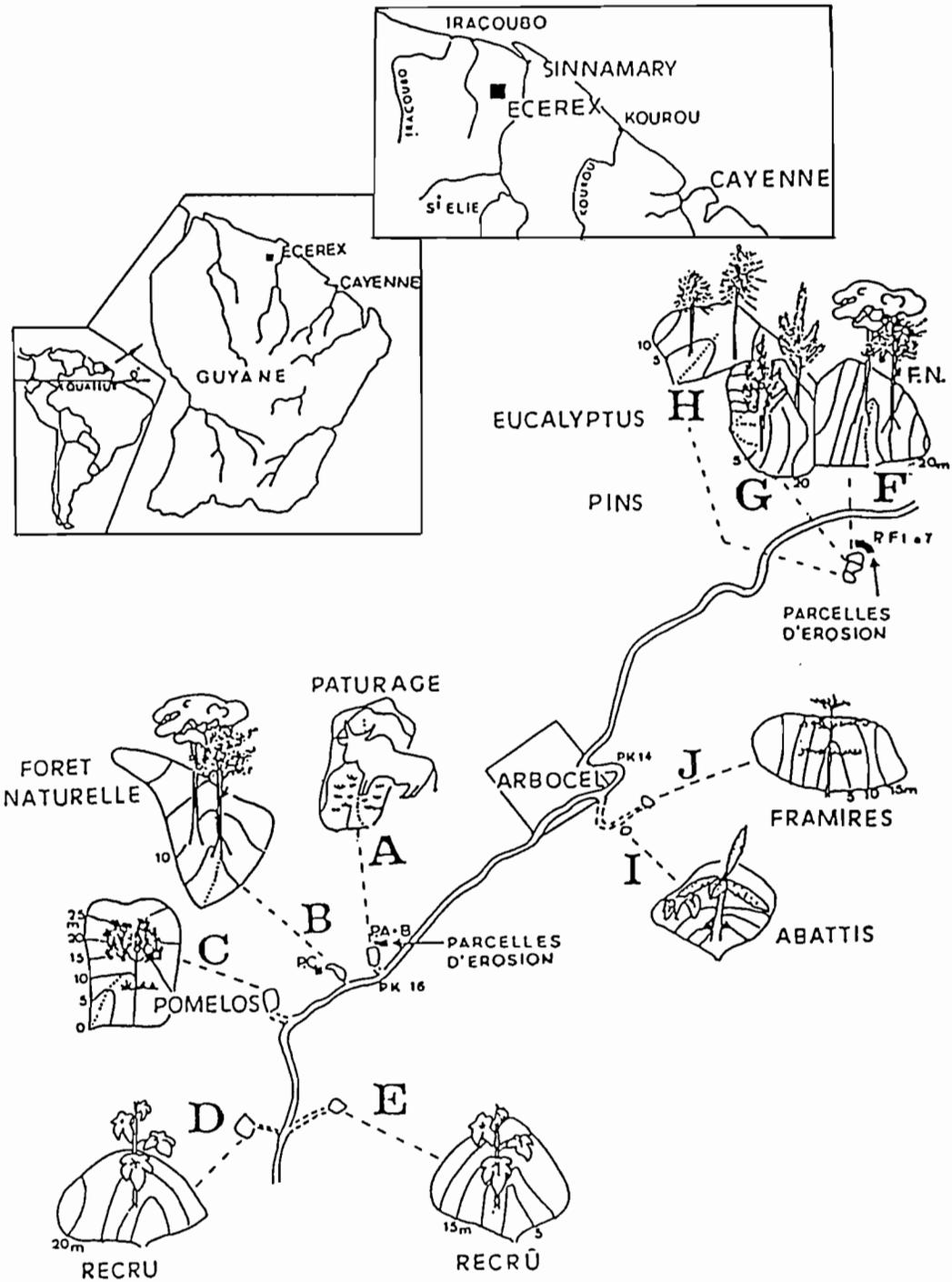


Fig.1. — Dispositif général.

L'opération ECEREX (ECologie ERosion EXpérimentation) a été conçue en 1976 pour répondre aux problèmes posés à la fois par l'exploitation de la forêt, dans l'optique d'un développement papetier de la Guyane et par un développement rural à partir des surfaces déforestées.

Elle consiste en un vaste projet multidisciplinaire dont le but est de préciser les effets de la mise en valeur sur l'équilibre des facteurs de production en relation avec le fonctionnement de l'écosystème forestier initial (dont il s'agit en premier lieu de parfaire la connaissance).

L'essentiel du projet consiste à exploiter des dispositifs comparatifs en petits bassins versants expérimentaux « étalonnés » sous forêt naturelle pendant deux saisons des pluies, puis mis en valeur selon divers schémas de développement concevables pour la Guyane française (SARRAILH, 1984).

DISPOSITIFS DE MESURE DE L'ÉROSION

Les mesures de l'érosion à ECEREX ont été conduites à différentes échelles spatiales et temporelles. On distingue :

— *un ensemble de dix bassins-versants* drainant de 1 à 1,6 hectares (notés A et J) dans lequel 2 bassins témoins ont conservé leur couvert forestier. Après une phase d'étalonnage du milieu naturel, les autres ont été défrichés selon les techniques de la culture traditionnelle sur brûlis pour l'un d'entre eux, tandis que 7 bassins subissaient un défrichement mécanisé (fig.1).

Les débits sont connus par enregistrement continu des niveaux d'eau sur des déversoirs, en V ou de type H-FLUME. Les transports solides en suspension sont calculés à partir de prélèvements unitaires effectués à intervalles de temps rapprochés pendant certaines crues. Les matières transportées en dehors des prises d'échantillons sont reconstituées crue par crue au moyen de régressions.

A l'amont immédiat des déversoirs, des fosses à sédiments captent les dépôts grossiers, dont le volume est connu après une vidange effectuée à la fin de chaque mois.

Les observations ont commencé en 1977 sur 3 bassins (A, B, C). Une première synthèse de l'écoulement et de l'érosion sous forêt naturelle a été établie à partir des données de 8 bassins-versants exploités en 1978 (M.A. ROCHE, 1982).

— *Des parcelles de 100 m² à 400 m²*, sur lesquelles l'érosion est mesurée au pas de temps journalier, selon un procédé qui fournit des résultats sans lacunes depuis le début des observations.

Trois parcelles (PA, PB et PC) sont situées sous forêt primaire et sept autres sont plantées en espèces fourragères (PF1 à PF7). Une parcelle en sol nu de 5 m × 20 m, exploitée selon le protocole de WISCHMEIER complète le dispositif. Les sédiments et les écoulements superficiels sont captés dans des cuves de réception, séparées par des partiteurs.

— *Des levés topographiques* ont été exécutés le long de 8 transects sur les versants de l'un des bassins en juin 1980 sous forêt primaire, puis en juillet 1981 après passage des engins.

LES CONDITIONS DE L'ÉROSION DANS LE MILIEU NATUREL

La pluie

LE RÉGIME PLUVIOMÉTRIQUE

Le climat de la Guyane française est de type équatorial de transition. La pluviométrie moyenne interannuelle (calculée sur 6 ans) sur le site ECEREX est de 3 255 mm. Le régime présente deux périodes pluvieuses distinctes (fig.2) : un premier épisode en décembre-janvier qui reçoit en tout 596 mm et la « grande saison des pluies » de fin mars à juillet avec 2 087 mm, c'est-à-dire 64 % du total annuel.

La pluie moyenne du mois le plus arrosé (mai) atteint pratiquement 600 mm, mais on a observé pour ce mois plus de 1 000 mm (1 027 mm en 1984). On note l'occurrence d'une véritable saison sèche qui s'étend de fin août à la fin novembre, pendant laquelle l'évapotranspiration potentielle est supérieure à la pluie. Durant cette période, aucun mois ne reçoit plus de 100 mm et on n'observe pratiquement jamais d'écoulements.

Les intensités maximales des pluies, observées à petits pas de temps sont faibles et diminuent très rapidement lorsque le pas de temps augmente (tabl. 1). Ainsi on a tout juste atteint 50 mm en une heure ce qui correspond à la pluie horaire de fréquence biennale à l'aéroport de Cayenne-Rochambeau. Par contre on a enregistré des intensités en 5 minutes dépassant souvent 100 mm.h⁻¹ avec un maximum à 156 mm.h⁻¹ en 1979. A Rochambeau ce chiffre correspond approximativement à une période de retour de 5 ans.

L'INDEX DE PLUIE DE WISCHMEIER

Cet indice se propose de représenter le potentiel érosif des pluies. Sa moyenne interannuelle à ECEREX, calculée sur 6 ans, vaut 972 unités américaines (R. USA), le décompte ayant porté sur les averses unitaires de plus de 10 millimètres (fig.2). Cette moyenne est fortement influencée par l'année 1983-84 dont le total atteint 1 373.

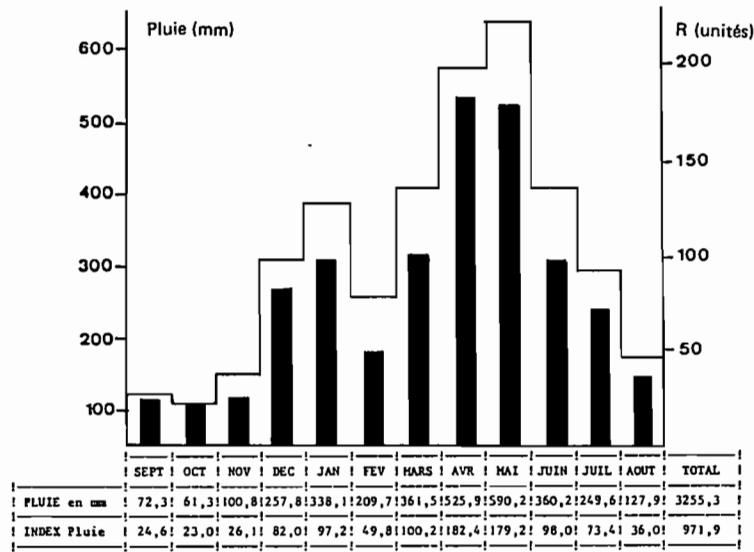


Fig.2. — Régime pluviométrique à ECEREX (moyennes sur 6 ans).

TABLEAU I

Intensités maximales annuelles des pluies mesurées à ECEREX au bassin B, exprimées en millimètres par heure pendant des durées de 5, 15, 30 et 60 minutes.

	5'	15'	30'	60'
1977	120	90	68	46
1978	144	96	72	52
1979	156	81	49	34
1980	102	81	59	44
1981	103	88	56	30
1982	88	76	49	28

La moyenne observée sur les 5 premières années, voisine de 900 unités américaines, paraît plus représentative de la moyenne climatique de la région. On peut comparer cette valeur avec celle calculée 20 kilomètres plus au sud, à la crique Grégoire, sur 9 années de 1968 à 1976 et qui vaut 895 avec un seuil d'averses prises en compte fixé à 5 mm (J.M. FRITSCH, 1984).

Ces chiffres correspondent à une agressivité annuelle importante. Sous des climats réputés très érosifs comme l'Afrique du Nord, l'indice annuel varie entre 50 et 300 et il faut se référer à des climats hyper-humides comme ceux de la côte est de Madagascar ou de la côte de Guinée en Afrique pour trouver des valeurs de R dépassant 1 000 (E. ROOSE, 1981).

Néanmoins toutes les observations et mesures d'érosion effectuées en Guyane avec le couvert forestier originel concluent à des taux de transports solides très bas ; à l'occasion d'une étude d'impact de l'aménagement hydroélectrique du fleuve Sinnamary, on a pu conclure que sur ce bassin de 6 000 km², la concentration annuelle moyenne des eaux en matières minérales ne dépasse pas 15 mg.l⁻¹ (J.M. FRITSCH, 1984).

Cette faible activité de l'érosion est à mettre en rapport avec la couverture de forêt dense primaire absolument continue et presque partout intacte. Le rôle joué par cette couverture végétale est tout à fait capital puisque l'on sait que dans les équations empiriques de calcul de l'érosion, telle l'U.S.L.E. (Universal Soil Loss Equation) de Wischmeier et Smith, l'érosion d'un sol nu est 1 000 fois supérieure à celle observée sous forêt, toutes choses égales par ailleurs (E. ROOSE, 1973, 1981).

Ce phénomène s'explique également par les intensités de pluie qui sont modérées dès que les durées dépassent quelques dizaines de minutes, et la valeur élevée de l'indice R résulte davantage des effets du cumul d'un nombre important d'averses plutôt que de l'énergie particulière de quelques-unes d'entre elles.

Les sols

A ECEREX, le modelé est constitué d'une succession de petites collines culminant à environ 100 m, donnant un relief « en dents de peigne » (M. BOYER, 1976) ou en « amandes » (B. CHOUBERT, 1974). Le lecteur n'aura aucune peine à imaginer que les bassins versants qui s'individualisent dans ce modelé sont de très petite taille, et qu'à partir de quelques hectares, les talwegs

se perdent dans des bas-fonds marécageux en saison des pluies. Les pentes des versants des bassins expérimentaux varient entre 17 et 35 % avec des valeurs modales de 20-25 %, alors que la pente des talwegs oscille entre 10 et 20 % (tabl.II).

Bien que le substratum géologique de la zone étu-

diée soit cartographié comme une unité homogène, (le schiste de Bonidoro), les sols qui en dérivent apparaissent très différenciés au plan de la dynamique de l'eau en fonction des états successifs de transformation de la couverture pédologique (R. BOULET *et al.*, 1982) :

TABLEAU II

Caractéristiques physiques et pédologiques des bassins-versants. Pluviométrie, écoulement et ruissellement sous forêt naturelle en 1979.

	C	I	E	D	B	A	J	G	F	H
Surface (ha)	1.6	1.1	1.6	1.4	1.6	1.3	1.4	1.5	1.4	1.0
Pente des versants (%)	17-20	22-23	32-23	28-18	17-17	20-20	32-29	26-34	35-31	19-24
Surfaces à drainage libre (%)	100	60	57	60	10	0	2	0	0	0
Surfaces à drainage bloqué (%)	0	40	43	40	90	100	98	90	96	86
Zones de nappes (%)	-	-	-	-	-	-	-	10	4	14
Pluie annuelle (mm)	3526	3365	3407	3197	3286	3430	3229	3187	3141	3288
Lame écoulée (mm)	372*	488	497	533	668	690*	996	1551	1617	1833
Coefficient d'écoulement (%)	10.6	14.5	14.6	16.7	20.3	20.1	30.8	48.7	51.5	56.8
Lame ruisselée (mm)	212*	372	471	506	565	597*	948	967	1079	1143
Coefficient de ruissellement (%)	6.0	11.1	13.8	15.8	17.2	17.4	29.4	30.3	34.3	35.4

— Lorsque la couverture initiale est restée intacte, cas le moins fréquent, le cheminement de l'eau est vertical et profond. La dynamique de ces sols à perméabilité élevée est dite « à drainage vertical libre » (DVL).

— Dans un stade ultérieur, et par suite de l'amincissement des horizons supérieurs à porosité élevée, la pénétration de l'eau est interrompue ou fortement ralentie à faible profondeur ce qui entraîne de forts ruissellements et une circulation latérale au-dessus d'un volume de terre compacte, « sec au toucher ». A ce stade les sols sont dits à « drainage vertical bloqué » (DVB).

Il est fréquent de rencontrer sur un même petit bassin des couvertures mixtes, avec une partie des versants, généralement la partie supérieure, en drainage vertical libre et le reste à drainage vertical bloqué.

— Enfin la partie aval du bassin peut être le siège d'une nappe phréatique, temporaire ou permanente, qui peut même affleurer en saison des pluies lorsque la couverture pédologique à dynamique latérale atteint le magasin de la nappe phréatique générale par suite de son enfoncement dans la couverture initiale.

Les écoulements naturels

LES ÉCOULEMENTS SUR BASSINS VERSANTS

Comme on pouvait s'y attendre, avec l'existence des types pédologiques très différenciés qui viennent d'être décrits, les écoulements et les ruissellements varient dans une gamme très étendue (tabl. II).

Ainsi, sous forêt naturelle, on aurait enregistré, en 1979, 212 millimètres de ruissellement, soit 6 % de la pluie sur le bassin C entièrement composé de sols à drainage libre alors qu'à l'autre extrême le ruissellement sur le bassin H a atteint 1 143 millimètres, c'est-à-dire 35 % de la pluie annuelle. Sur ce dernier type de bassin, des coefficients de ruissellement de plus de 80 % à l'échelle de l'averse ne sont pas rares. Les débits maxima instantanés peuvent y atteindre des valeurs aussi élevées que 277 ou 288 litres par seconde et par hectare (tabl.III), soit l'équivalent en intensité de 100 millimètres par heure. Or comme on peut le constater sur le tableau I, ce seuil pluviométrique n'est dépassé que de très peu et pendant des temps très courts, de l'ordre de

5 minutes : c'est dire que les bassins du type F, G et H peuvent présenter un rendement hydrologique exceptionnel. L'existence de tels bassins à côté d'unités à drainage libre comme le bassin C, entraî-

nant une dispersion dans les écoulements de 1 à 5, annonce des comportements différentiels du même ordre de grandeur pour l'érosion sous forêt primaire.

TABLEAU III

Débits maxima instantanés (en l.s⁻¹.ha⁻¹) des 5 plus fortes crues enregistrées sous forêt sur les bassins ECEREX

Bassin	A	B ₁	C	D	E	F	G	H	I	J
Période	77-78	77-83	77-78	78-80	78-80	78-83	78-80	78-80	79-81	79-82
N° 1	177	128	73.9	168	97.4	277	244	288	106	143
N° 2	167	113	47.4	124	89.7	149	156	169	74.2	113
N° 3	156	110	45.5	111	81.3	146	126	161	72.5	97.1
N° 4	93.8	102	43.9	102	79.4	143	106	157	72.5	93.8
N° 5	86.1	93.2	41.6	89.4	72.9	135	104	153	53.6	92.8

LES ÉCOULEMENTS SUR PARCELLES

Dans des situations pédologiques équivalentes, les écoulements annuels des parcelles et la somme des écoulements en crues des bassins sont tout à fait comparables. Le seul phénomène d'échelle qui soit perceptible est une plus grande inertie du bassin versant qui écoule moins d'eau que la parcelle en début de saison des pluies ou après une période peu arrosée, alors que c'est l'inverse qui se produit lorsque les averses se succèdent quasiment sans interruption en périodes d'activité de la Zone Intertropicale de Convergence. Cependant l'écart cumulé entre les 2 systèmes reste toujours inférieur à 8 % même dans des conditions très pluvieuses (fig.3).

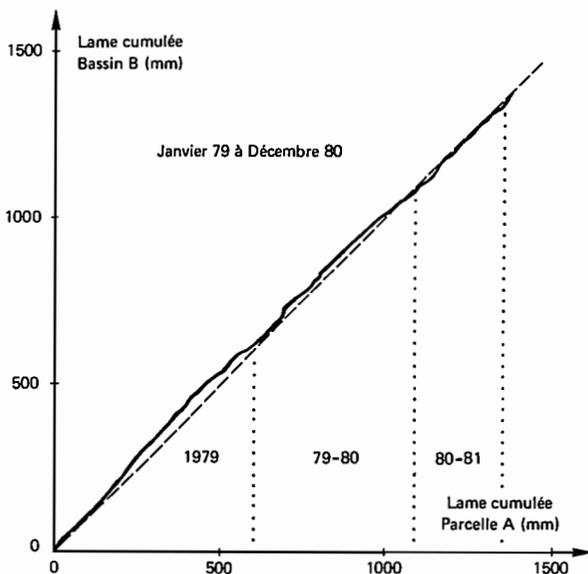


Fig.3. — Evolution comparée des écoulements sous forêt naturelle sur parcelle et sur bassin-versant.

EROSION ET TRANSPORTS SOLIDES DANS L'ÉCOSYSTÈME FORESTIER

L'écosystème forestier primaire amazonien constitue un milieu en équilibre : les transports solides en suspension et par charriage mesurés à un exutoire sont donc égaux en poids à l'érosion mécanique qui s'exerce sur toutes les surfaces drainées à l'amont de ce point.

Les transports solides à l'exutoire des bassins-versants

Les concentrations instantanées en matières en suspension sont faibles et varient relativement peu avec les débits. Par exemple, les concentrations des échantillons prélevés sur le bassin B n'ont jamais dépassé 150 milligrammes par litre et la répartition des teneurs en suspension s'ordonne selon une courbe unimodale qui comporte 60 % des prélèvements dans la gamme 10-25 mg.l⁻¹ et 93 % de ceux-ci dans les limites 6-63 mg.l⁻¹ (fig.4). Cette faible dispersion explique que le transport solide soit relativement régulier dans l'année et que la contribution des crues importantes puisse être moindre que dans d'autres biotopes. Ainsi en 1979, sur ce même bassin B, 40 % du transport solide en suspension s'est écoulé pendant les phases de crue, c'est-à-dire pendant que les débits se maintenaient au-dessus de 20 litres par seconde, alors que 60 % de celui-ci s'écoulait avec des débits inférieurs à ce seuil. La situation sur l'autre bassin témoin (F) est très semblable : même valeur modale (15 mg.l⁻¹), avec cependant un léger aplatissement de la courbe de fréquence qui comporte davantage d'échantillons en dessous de 10 mg.l⁻¹ et quelques rares éléments dans la gamme 150-300 mg.l⁻¹, non représentée sur le bassin B. Cette stabilité dans les concentrations implique que, à l'échelle annuelle, les transports solides en suspension des bassins-versants soient en assez bonne corrélation avec le ruissellement (fig.5, tabl.IV).

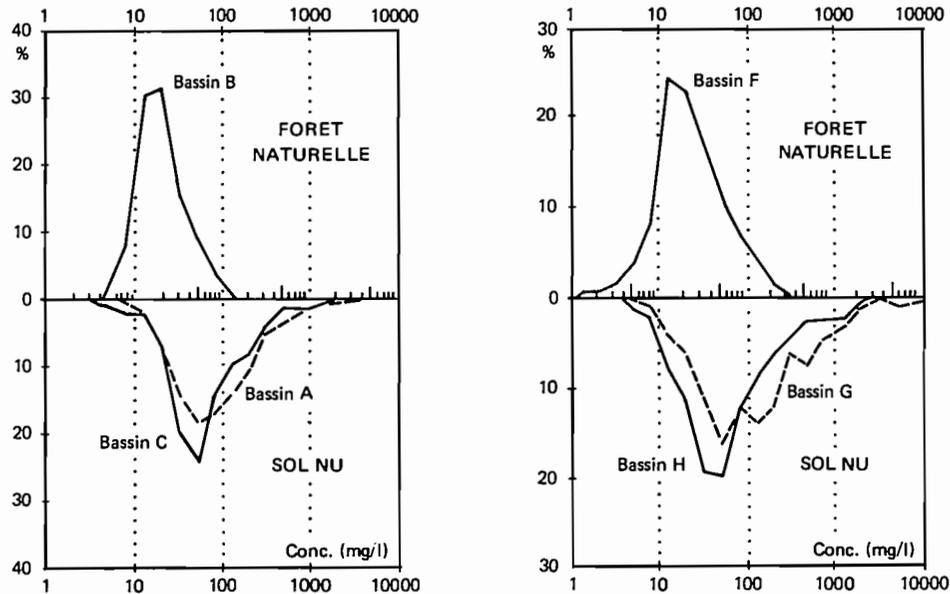


Fig.4. — Histogramme des concentrations de matières en suspension sur les bassins-versants.

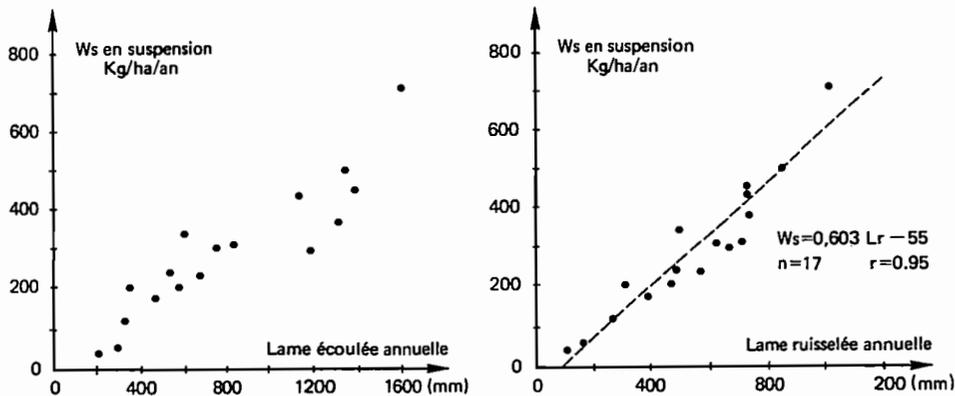


Fig.5. — Transports solides en suspension dans l'écosystème forestier en fonction de l'écoulement total annuel et du ruissellement annuel.

On obtient par ajustement linéaire :

$$W_s = 0,61 L_r - 55 \quad (1)$$

Avec W_s = transport en suspension en $kg \cdot ha^{-1}$ par an
 L_r = lame ruisselée annuelle en mm.

Une autre estimation, moins précise, du transport solide en suspension, mais qui n'exige pas de connaître le ruissellement, peut être faite à partir de l'écoulement global, sur la base d'un gradient moyen annuel de 35 kg de suspensions par hectare et par tranche de 100 mm d'écoulement.

Les charriages sont extrêmement faibles en milieu naturel non perturbé, ce qui rend leur mesure très aléatoire les premiers mois qui suivent la construction

des déversoirs ou les prospections à pied sur le bassin, faites à l'occasion des levés topographiques et pédologiques et des inventaires botaniques.

Le tableau 5 donne une idée des valeurs absolues de transports de fond, qui représentent quelques kilogrammes de terre par hectare et par an, le charriage du bassin B semblant se stabiliser autour de 10-15 kg et celui du bassin F dans des limites de 40 à 60 kg par hectare et par an. Le rapport de 1 à 4 entre ces deux résultats est dans l'ordre de celui des écoulements respectifs des 2 bassins-versants.

Les sédiments qui sont retirés des fosses sont surtout constitués de « sables » : selon les bassins-versants de 75 à 93 % des sédiments ont une granulométrie

TABLEAU IV

Lame écoulee, lame ruisselée et transports solides en suspension par années sur les bassins ECEREX sous forêt naturelle. Le et Lr en mm. W_s en $kg \cdot ha^{-1}$

Année	Bassin	Le	Lr	W_s
77	A	841	713	299
	D	759	628	293
	C ⁽¹⁾	203	93.4	31.3
78	A	580	495	323
	B	564	464	195
	C	296	150	47.9
	D ⁽²⁾	356	302	191
	F	1395	720	427
	C	1191	656	284
	H	1323	730	357
79	B	668	565	225
	D	533	484	226
	F	1617	1079	707
80	B	461	379	167
	F	1355	893	493
81	D	322	264	113
	F	1153	735	413

(1) : juin-décembre (2) : mai-décembre

TABLEAU V

Transports solides par charriage (en $kg \cdot ha^{-1}$) sur les bassins-versants en forêt naturelle et proportion (en %) de ceux-ci par rapport aux transports en suspension W_s .

B.V		1978	1979	1980	1981	1982
B	Charriage	270	52	39	12	13
	% à W_s	139	23	23	11	7
F	Charriage	148(1)	104	50	38	58
	% à W_s	35	15	10	9	12

(1) d'avril à décembre

comprise en 50 microns et 2 millimètres (résultats de l'année 1979). La fraction supérieure à 2 millimètres est négligeable.

On a également figuré sur ce tableau la proportion

des charriages (en %) par rapport aux matières en suspension. On constate que ces transports grossiers, importants les premières années, évoluent à la baisse et tendent à représenter une masse de l'ordre de 10 % de celles des suspensions.

En utilisant l'équation (1) on peut donc paramétrer l'ensemble du transport solide annuel résultant de l'érosion hydrique dans l'écosystème forestier, sous la forme :

$$W = 1.1 * (0,61 Lr - 55) \quad (2)$$

Avec W = charriages + suspensions (en $kg \cdot ha^{-1}$)

Lr = lame ruisselée annuelle (en mm).

Les tentatives de prédétermination de l'érosion à partir des formules empiriques, telle l'U.S.L.E. très utilisée sur le continent nord et sud-américain, se sont révélées décevantes en raison des comportements hydrologiques très contrastés des bassins-versants. Ces formules utilisent l'index de pluie de Wischmeier, qui est pratiquement le même sur tous les bassins-versants, qui ne sont séparés que de quelques kilomètres, alors que leurs coefficients de ruissellement annuels varient de 6 % à 35 % (tableau II, dernière ligne). Dans ces conditions, prétendre déterminer les pertes en terre à partir de la pluviométrie paraît tout à fait aléatoire. Pareille constatation avait été faite par les agronomes américains, dont certains proposent d'utiliser un index de ruissellement (Runoff Energy Factor) dans l'U.S.L.E. en substitution de l'index de pluie de Wischmeier (J.R. WILLIAMS, 1971).

L'érosion sur les parcelles

La méthode de prélèvement global des eaux et des sédiments utilisée sur les parcelles ne permet pas de séparer les suspensions et les charriages : les résultats représentent l'ensemble de l'érosion hydrique. La première année d'exploitation, les résultats sont amplifiés par les perturbations créées lors de la mise en place du dispositif et ne représentent pas l'érosion qui s'exerce effectivement dans le milieu naturel. C'est ainsi que l'on a mesuré sur la parcelle A sur drainage vertical bloqué plus de $440 kg \cdot ha^{-1}$ la première année de mise en service (1979), soit près du double du bassin-versant B soumis aux mêmes conditions hydro-pédologiques. Cet écart n'est pas dû à un facteur d'échelle, puisqu'on peut constater qu'au cours des campagnes 1979-80 et 1980-81, les résultats enregistrés sur les deux dispositifs évoluent avec un parallélisme impressionnant (fig.6)

ÉROSION ET TRANSPORTS SOLIDES APRÈS DÉFRICHEMENT

Destinés à vérifier l'impact d'une exploitation de la forêt pour la production de pâte à papier, les bassins expérimentaux ont été défrichés selon le protocole suivant :

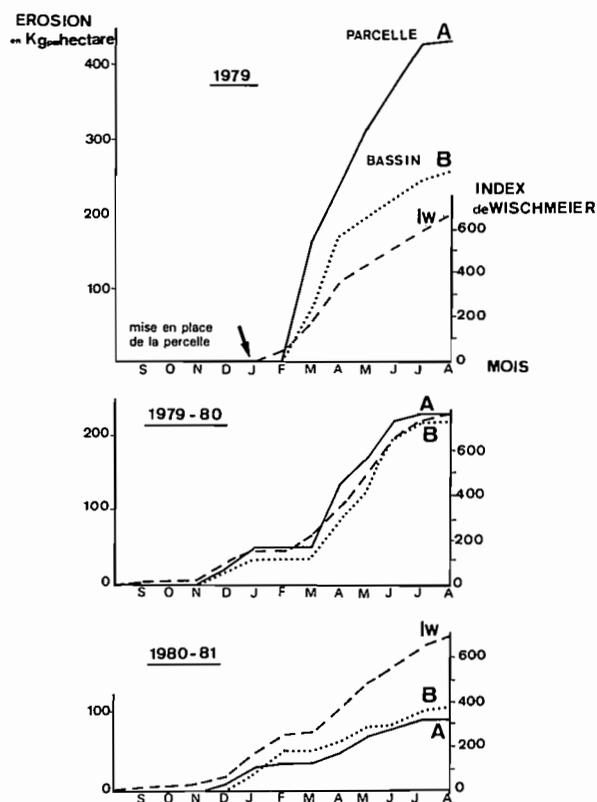


Fig.6. — Evolution de l'érosion sous forêt naturelle, sur la parcelle élémentaire A et le bassin versant B, et de l'indice de pluie de Wischmeier IW de 1979 à 1980-81.

- Coupe manuelle à la scie à chaîne des arbres de plus de 40 cm de diamètre — Façonnage en grumes.
- Débardage et exportation des grumes vers les hauts des bassins par un tracteur à pneus (Timber-jack), sur des pistes ouvertes par un chenillard léger (Caterpillar D4).
- Défrichement de la biomasse aérienne et souterraine restante au moyen d'un tracteur lourd à chenilles (Caterpillar D8), équipé d'une lame forestière (dite Rome ou KG) et d'un râteau andaineur hydraulique (FLECO).

Les concentrations en suspension à l'exutoire des bassins-versants pendant les mois qui suivent le défrichement mécanisé et alors que le sol est nu augmentent de façon très significative, puisque par exemple sur les bassins A et C, le mode se situe à 50 milligrammes par litre, contre 25 sous forêt naturelle au bassin B, mais surtout on constate l'apparition de concentrations nettement plus élevées, allant jusqu'à 5000 mg.l⁻¹ au bassin A, sur lequel 25 % des prélèvements présentaient des teneurs supérieures à la limite maximale sous forêt qui était de 150 mg.l⁻¹ (fig.4). La situation est comparable sur le groupe F, G, H où l'on observe la part importante occupée par des échantillons contenant de 200 à 10 000 mg.l⁻¹, après défrichement des unités G

et H. Ces taux de transport en suspension, dont les valeurs absolues peuvent paraître encore modestes, sont à mettre en rapport avec le dispositif de mesure : les écoulements, canalisés sur plusieurs mètres à l'amont de la lame déversante, ont une vitesse très faible et la turbulence est réduite au minimum ; dès lors, seuls les sédiments les plus fins (argiles et limons fins) ne sont pas captés par les fosses et s'écoulent au-delà du seuil où sont faits les prélèvements.

Par ailleurs, il a été établi qu'après défrichement le ruissellement augmentait selon des rapports qui ont varié de 1,5 à 3,3 selon les bassins-versants par rapport au milieu naturel (J.M. FRITSCH, 1986), les gains relatifs les plus importants étant réalisés par les bassins qui, à l'origine, écoulaient les lames les plus faibles.

La conjonction des deux phénomènes — augmentation du ruissellement et augmentation des concentrations en suspension aboutit à des transports solides aux exutoires tout à fait remarquables (tabl.VI), surtout si l'on compare ces chiffres avec ceux des bassins témoins en forêt naturelle (fig.7).

TABLEAU VI

Transports solides annuels en suspension et par charriage (en kg.ha⁻¹) et accroissement par rapport au milieu naturel l'année du défrichement sur les bassins A, C, G et H.

	A	C	G	H
Suspensions	5696	1898	7823	2786
Accroissement des suspensions	x 19	x 28	x 25	x 8
Chariages	6322	1284	9165	3085
Accroissement du charriage	x 108	x 49	x 515	x 126
Total des transports solides	12018	3182	16988	5871
Accroissement des transports solides	x 34	x 34	x 51	x 16

Périodes de référence :

- Forêt naturelle : A, B et C juillet 1977 à août 1978
- F, G et H août 1978 à juillet 1980
- Année du défrichement : A et C déc. 1978 à nov. 1979
- G et H janv. 1981 à déc. 1981

A l'exception du bassin-versant H, on peut constater selon le tableau 6 que les transports solides en suspension après défrichement se situent selon des rapports de 20 à 30 fois supérieurs à ceux du domaine naturel, et avec des valeurs respectives de 7 800, 5 700 et 1 900 kg.ha⁻¹ dans l'ordre des coefficient d'écoulement des bassins G, A et C, à savoir 61 %, 47 % et 22 %. Le groupe A-C a été défriché pendant la saison sèche de 1978 alors que G et H l'ont été en saison des pluies, en décembre 1980 et janvier 1981. Cette particularité

explique le chiffre élevé obtenu sur G (7 800 kg.ha⁻¹) et paradoxalement aussi la faible valeur du bassin H (2 800 kg.ha⁻¹) qui correspond à un accroissement de 8 seulement, par rapport au milieu naturel. Les bas-fonds de ce bassin étaient si humides, que les conducteurs d'engins ont renoncé à s'aventurer dans la partie basse, proche du talweg et à déblayer un barrage composé de terre, de souches et de racines qui s'est comporté comme une banquette qui a capté la plus grande part des sédiments provenant des versants. Sans aucun doute, si ce processus n'avait pas existé, les transports solides auraient été comparables à ceux mesurés à l'exutoire du bassin G.

Quant aux charriages, leurs accroissements sont encore plus sensibles, puisque ce mode de transport quasi inexistant sous forêt se voit multiplié selon des facteurs de 50 à 500, ce qui correspond à des masses de 9 200, 6 300 et 1 300 kg.ha⁻¹, toujours dans l'ordre G, A, C. Alors que sous forêt, le contenu de fosses à sédiments était principalement constitué par des sables fins, on y trouve maintenant des sédiments grossiers de taille centimétrique. Sur le bassin A, par exemple, 28 % des dépôts sont refusés par un tamis à mailles carrées de 13 mm de côté. Il s'agit de nodules présents dans des horizons pédologiques situés parfois à plusieurs centimètres, voire plusieurs dizaines de centimètres sous la surface, ce qui constitue d'ores et déjà un indice de l'amplitude de l'érosion sur les versants.

En conclusion, l'ensemble des transports solides d'origine mécanique au cours de l'année qui a suivi le défrichement s'établit à 17 tonnes par hectares sur le bassin G, c'est-à-dire 50 fois plus que dans l'écosystème forestier, à 12 tonnes. ha⁻¹ sur A et 3,2 tonnes. ha⁻¹ sur C, soit un accroissement de 34 pour ces derniers bassins.

Il est intéressant de noter que le paroxysme des apports solides à l'exutoire n'est pas contemporain ni immédiatement postérieur au passage des engins de défrichement, mais se produit plusieurs mois plus tard, au cours de phases de travail du sol non mécanisées lors de la mise en place de l'aménagement : labour à la fourche pour la plantation d'un pâturage sur le bassin A et trouaison pour la plantation d'agrumes sur le bassin C ou de pins caraïbes sur le bassin G.

Cependant, même une perception sommaire des effets du défrichement laisse à penser que l'érosion provoquée est sans commune mesure avec les chiffres qui viennent d'être présentés. Dix ou quinze tonnes de sédiments ne représentent que quelques mètres cubes de sol en place, c'est-à-dire pratiquement le volume arraché par le râteau FLECO lors du dessouchage d'un gros arbre et moins de terre que n'en remue en une seule manœuvre le tracteur débardeur embourbé, sur une pente à 25 %. Cette constatation, faite pendant le défrichement de la première série de bassins A et C, nous a amenés

à mesurer l'érosion effective sur les versants, en parallèle avec les transports solides à l'exutoire. Ce suivi, à partir de méthodes topographiques, a été fait sur le bassin H, le long de 8 transects répartis sur le bassin et orientés selon la ligne de plus grande pente (fig. 8). Par interpolation à l'ensemble du bassin-versant, on a pu estimer l'ablation moyenne à une tranche de sol de 84 millimètres, avec des maxima ponctuels de 150 à 300 millimètres selon les transects (J.M. FRITSCH, 1983). Plus précisément, les volumes colluvionnés dans le

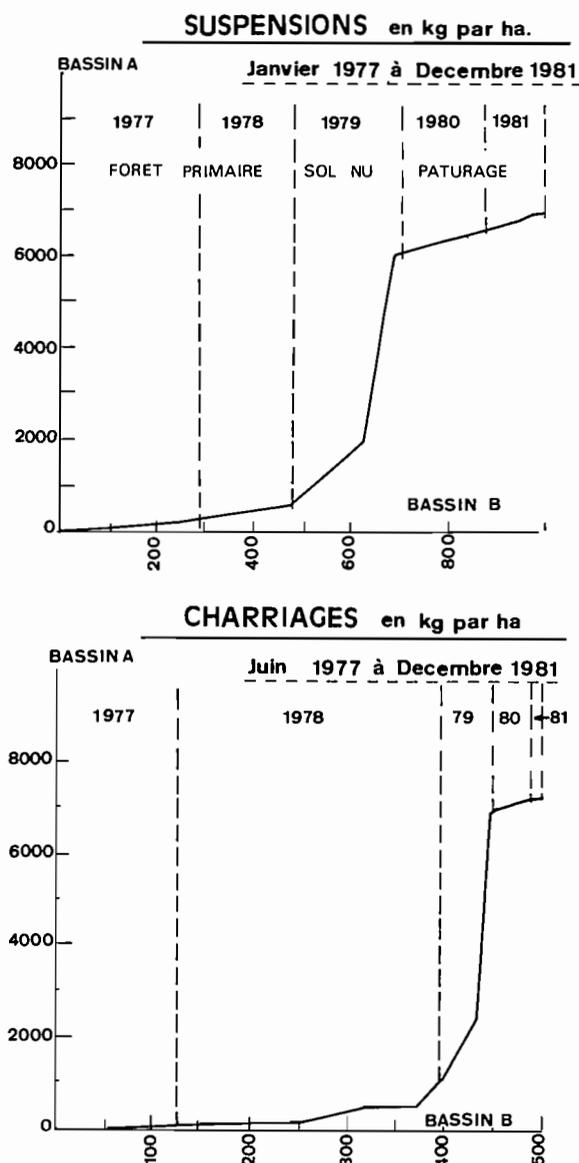


Fig.7. — Evolution comparée des transports solides en suspension et en charriage sur les bassins expérimentaux A et C avec ceux du bassin témoin B.

talweg depuis les parties moyennes et supérieures des versants s'établissent à 656 m³ sur 8 100 m², c'est-à-dire une érosion effective par hectare de 1 200 tonnes !...,

à comparer avec les 2,8 tonnes de suspensions et les 3,1 tonnes de charriages effectivement exportées en dehors du bassin-versant.

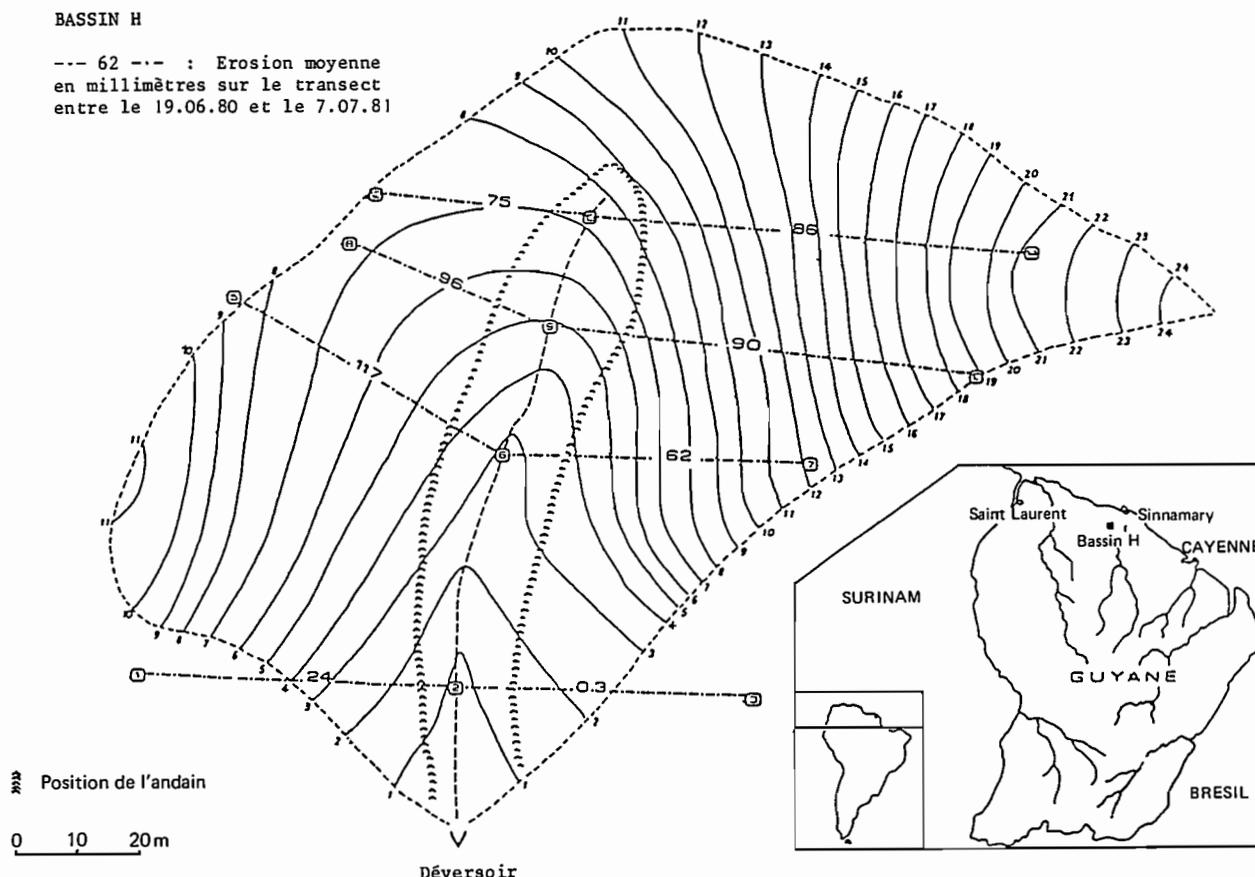


Fig.8. — Erosion après défrichement sur les versants du bassin H (valeurs moyennes, par transect, en millimètres).

Rapportés aux concepts de conservation des sols ou d'impacts agronomiques du défrichement, les transports solides à l'exutoire sont donc très peu significatifs de la rupture d'équilibre et de l'érosion provoquées à l'amont. Selon une analogie électronique « signal-bruit » familière aux amateurs de haute-fidélité, on peut dire que, si l'on assimile l'érosion sur les versants au signal, les transports solides à l'exutoire ne constituent que le bruit, que l'on s'évertue à mesurer avec beaucoup d'efforts et d'application.

Une extrême prudence s'impose donc pour comparer entre eux « les bruits » des différents bassins-versants ou ceux enregistrés par ailleurs sur d'autres dispositifs expérimentaux. Par contre, il est évident que la notion de transports solides garde tout son sens, si l'on considère les impacts plus à l'aval sur la qualité des eaux ou sur les processus de sédimentation.

On a d'autre part mesuré l'érodibilité du sol au moyen d'une parcelle standard appelée *parcelle Wischmeier*, (fig.9).

Sur une parcelle au sol nu régulièrement travaillé (ratissage après chaque averse) les transports solides atteignent des valeurs impressionnantes, si l'on se rapporte à l'érosion mécanique sous forêt (en moyenne : 0,11 tonnes. ha⁻¹ sur la parcelle A, cf. fig.9).

- 1979 (sur trois mois) : 53,3 tonnes.ha⁻¹
- 1979-80 : 109 tonnes.ha⁻¹
- 1980-81 : 87,1 tonnes.ha⁻¹
- 1981-82 : 44,2 tonnes.ha⁻¹

En fait dans l'équation de Wischmeier cela correspond à une susceptibilité des sols à l'érosion faible, puisque seule la première année le facteur K atteint 0,10.

Néanmoins l'érosion qui se produit alors est déterminante puisqu'elle conduit à l'exportation de la

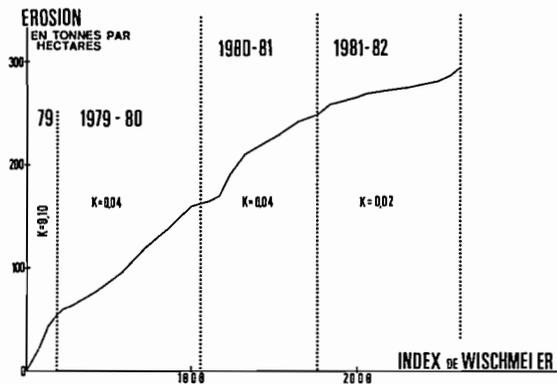


Fig.9. — Erosion sur la parcelle Wischmeier en fonction de l'érosivité de la pluie.

fraction granulométrique fine du sol. La diminution du facteur K les années suivantes est due au fait qu'en sur-

face il ne reste qu'un pavage de nodules qui ne sont plus mobilisables par les eaux de ruissellement et le potentiel agronomique du sol est devenu pratiquement nul.

ÉROSION SOUS PRAIRIES ARTIFICIELLES (1)

Les résultats globaux (tabl.VII) portent la moyenne interannuelle des transports solides, calculés sur les deux années 1980 et 1981 à 541 kg.ha⁻¹ sur le bassin A (*Digitaria swazilandensis*) et à 106 kg.ha⁻¹ sur le bassin C (*Brachiaria U.S.D.A.*). La comparaison faite à partir du bassin témoin pendant cette même période permet d'estimer ces valeurs comme étant 3,2 fois supérieures à ce que l'on aurait observé sous forêt sur le bassin A, et 2,4 fois supérieures à cette même référence sur le bassin C (fig.11).

Les valeurs absolues et relatives sont assez faibles, surtout si l'on considère qu'une partie d'entre elles ont été mesurées pendant la période immédiatement postérieure à la mise en place de l'aménagement.

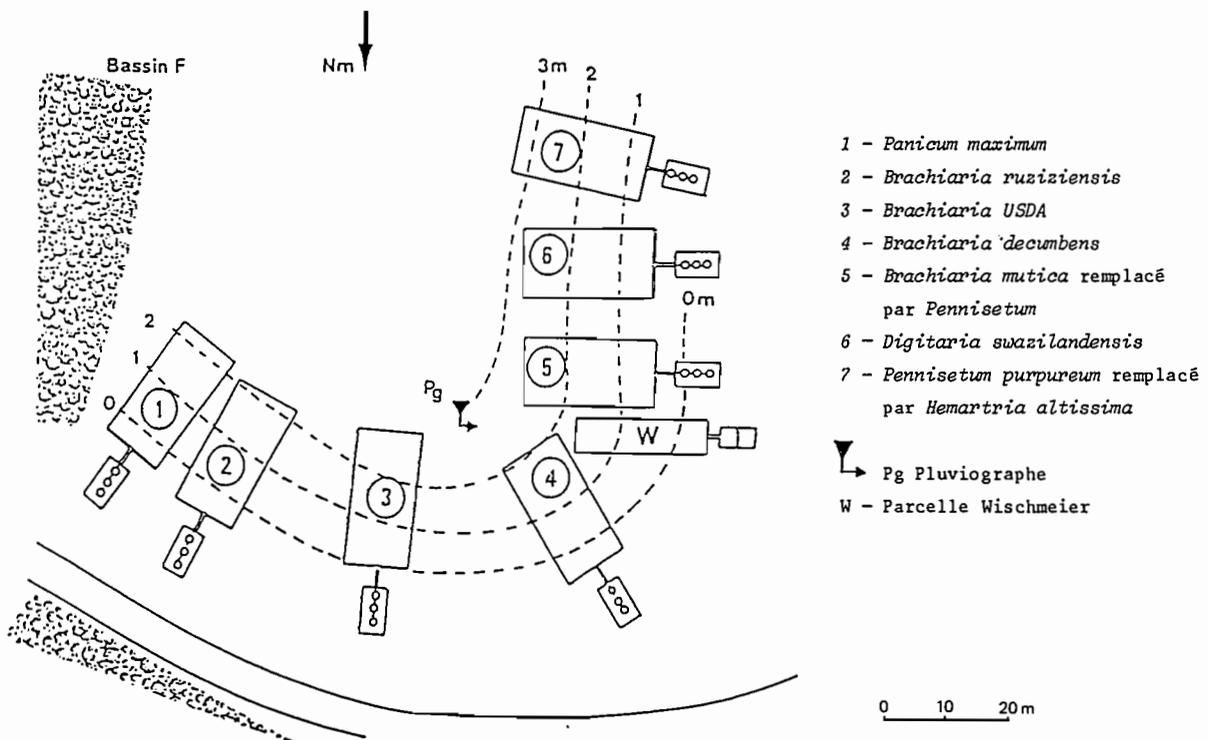


Fig.10. — Plan d'installation des parcelles fourrages.

(1) Voir dispositif de mesures sur la figure 10.

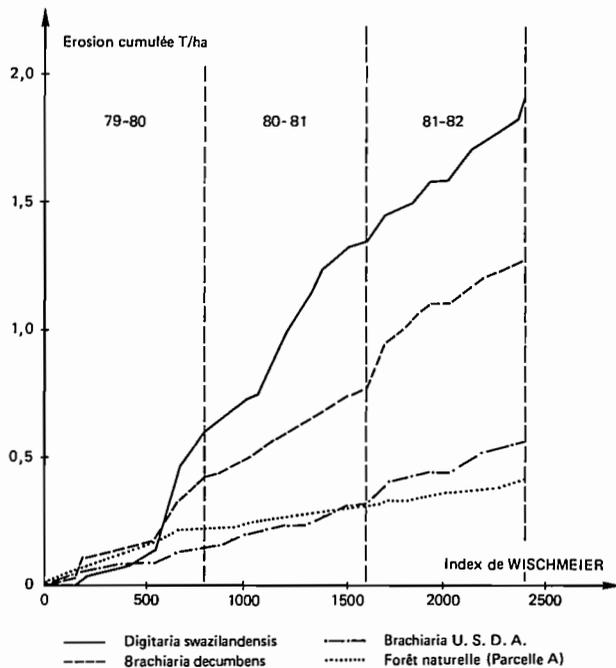


Fig.11. — Erosion cumulée sur des parcelles pâturées en fonction de l'érosivité de la pluie et en comparaison avec une parcelle sous forêt primaire (Parcelle A).

On constate cependant une différence importante entre les deux systèmes, dans un rapport de 1 à 5 environ. Ceci s'explique d'abord par les ruissellements qui ont été deux fois plus importants sur A que sur C, en raison des conditions pédologiques initiales mais aussi sans doute par les caractéristiques de chacune des espèces fourragères considérées.

En effet, la masse totale des sédiments exportés au bassin A en 1980 et 1981, soit 1 081 kg.ha⁻¹ pour une lame écoulée pendant les crues de 1 219 millimètres, correspond à une concentration moyenne des eaux de 89 milligrammes par litre. Sur le bassin C, ce calcul à partir des mêmes paramètres qui valent respectivement 212 kg.ha⁻¹ et 639 millimètres déterminent des concentrations moyennes qui ne sont que de 33 mg.l⁻¹.

Ces différences semblent bien pouvoir être imputées principalement aux « pouvoirs antiérosifs » différents des deux fourrages car les taux mesurés sur parcelles de 200 m², implantées sur une même complexe pédologique (type bassin A) fournissent des résultats qui vont dans le même sens que ceux des bassins-versants (J.M. SARRAILH, 1983).

Pour *Digitaria swazilandensis*, la moyenne interannuelle de l'érosion s'établit à 700 kg.ha⁻¹ pour 983 mm d'écoulement recueillis, donc une teneur moyenne de 71 mg.l⁻¹, alors que la concentration calculée sur

Brachiaria U.S.D.A. vaut 19 mg.l⁻¹. Les valeurs sur parcelles et sur bassins évoluent donc de façon tout à fait comparable, avec cependant des taux supérieurs sur les bassins.

TABLEAU VII

Transports solides par suspension et par charriage (en kg.ha⁻¹) sous pâturage.

	Bassin A	Bassin C
Suspension (Kg.ha ⁻¹)	422	74
accroissement	x 2.8	x 2.1
Chariages (kg.ha ⁻¹)	119	32
accroissement	x 6.1	x 3.6
Transports solides d'origine mécanique	541	106
accroissement	x 3.2	x 2.4

Bassin A : *Digitaria swazilandensis*, brouté
 Bassin C : *Brachiaria U.S.D.A.*, fauché
 Période de référence : 1980-1981.

Si l'on admet que cela n'est pas dû à un effet d'échelle, on peut penser qu'avec *Digitaria swazilandensis* le passage de 71 à 89 mg.l⁻¹ tient à la présence des bovins sur le bassin-versant. Ces conséquences de la charge animale sur l'érosion ne paraissent pas considérables ; il faut cependant noter que ce pâturage fait l'objet d'un protocole d'exploitation très soigné, qui comporte une rotation permanente des animaux dans des placeaux clôturés, ce qui limite au maximum la dégradation du pâturage et donc les effets sur l'érosion (M. BERAU et J.M. SARRAILH 1985).

Pour *Brachiaria U.S.D.A.*, la valeur plus forte du bassin par rapport à la parcelle s'explique probablement par le fait que ce fourrage n'occupe pas la totalité du bassin-versant, puisqu'un anneau de sol nu est maintenu artificiellement au pied de chacun des plants de pomélos.

En conclusion l'érosion sur les pâturages semble assez réduite, surtout si on la compare avec celle qui se produit l'année du défrichement. Il reste à déterminer par une étude agropédologique plus complète si ces valeurs de 541 kg.ha⁻¹ (bassin-versant A) et de 106 kg.ha⁻¹ (bassin-versant C) sont compatibles avec une conservation des sols à long terme, compte tenu de la nature et de la vitesse des processus pédogénétiques en Guyane.

On peut néanmoins constater que la productivité des pâturages se maintient à un niveau constant pendant cinq ans, au prix d'une fertilisation importante, mais indispensable pour ce type d'aménagement et plus particulièrement sur système pédologique à drainage bloqué.

CONCLUSION

Comme on a pu le constater, l'érosion sous forêt est d'intensité très faible : 50 à 70 kg.ha⁻¹. Les valeurs n'en sont cependant pas aléatoires, mais sous la dépendance étroite du ruissellement, qui est extrêmement variable en Guyane française en fonction des caractéristiques hydrodynamiques des sols.

L'index de Wischmeier n'est pas très performant pour la détermination de cette érosion sous forêt. En revanche il est tout à fait intéressant de constater la concordance remarquable des résultats obtenus en bassins-versants et en petites parcelles d'érosion.

Le défrichement mécanisé produit des bouleversements importants dans la production des transports solides qui sont augmentés selon des facteurs qui ont atteint 50 fois ceux du milieu naturel.

Dans l'absolu ces débits solides sont déjà considérables — de 3 à 17 tonnes par hectares et par an — mais

ne constituent qu'un lointain indicateur des effets érosifs nés sur les versants des bassins, surtout si le défrichement s'est effectué en saison des pluies.

Les transports solides mesurés sur ces mêmes bassins et sur des parcelles retrouvées, après implantation de prairies naturelles, les valeurs modérées de 100 à 500 kg.ha⁻¹.an⁻¹ qui représentent pourtant 2 à 3 fois celles de la forêt sur ces bassins avant l'aménagement.

Ce constat relativement rassurant ne concerne qu'un aspect très particulier des effets de la déforestation ; il faut aussi considérer que ces résultats sont obtenus sur des bassins-versants de superficie réduite : environ un hectare. Ils ne peuvent donc constituer un prétexte ou une incitation à l'abattage et à l'exploitation spéculative de la forêt amazonienne. En effet la déforestation et surtout le défrichement, par la façon dont ils sont réalisés, vont très largement conditionner l'avenir des futurs aménagements.

BIBLIOGRAPHIE

- BEREAU (M.), SARRAILH (J.M.), 1985. — Un aspect de la perennité de *Digitaria swazilandensis* pâturé : évolution du rendement en milieu déforesté. Communication au colloque INRA - SAD en Guyane. Déc. 1985.
- BOULET (R.), CHAUVEL (A.), HUMBEL (F.X.), LUCAS (Y.), 1982. — Analyse structurale et cartographie en pédologie. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XIX, n° 4, 1982 : 309-351.
- BOYER (M.), 1976. — *Atlas de la Guyane* — Planche géomorphologie ORSTOM — CNRS 1979.
- CHOUBERT (B.), 1974. — Le précambrien des Guyanes. Paris, *mém. B.R.G.M.* 1974, 204 p.
- FRITSCH (J.M.), 1983. — Evolution des écoulements, des transports solides à l'exutoire et de l'érosion sur les versants d'un petit bassin après défrichement mécanisé de la forêt tropicale humide. Hydrology of humid tropical regions, *IAHS publication* n° 140 : 197-214.
- FRITSCH (J.M.), 1984. — Les transports solides. Etudes d'impact de l'aménagement de Petit-Saut sur le Sinnamary. ORSTOM. Cayenne. *multigr.* 42 p.
- FRITSCH (J.M.), 1986. — L'augmentation du ruissellement après défrichement mécanisé de la forêt amazonienne. Les bassins-versants « ECEREX » en Guyane française. Communication aux XIX^e journées de l'hydraulique organisées par la Société Hydrotechnique de France. Paris. Sept. 1986.
- ROCHE (M.A.), 1982. — Comportements hydrologiques comparés et érosion de l'écosystème forestier amazonien à ECEREX, en Guyane. *Cah. ORSTOM, sér. hydrol.*, vol. XIX, n° 2, 1982 : 81-114.
- ROOSE (E.), 1980. — Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Thèse Docteur es Sciences Université d'Orléans.
- SARRAILH (J.M.), 1983. — Les parcelles élémentaires d'étude du ruissellement et de l'érosion. Synthèse après quatre années d'études — in « le Projet ECEREX, compte rendu des journées de Cayenne » (4-8 mars 1983), 394-403.
- SARRAILH (J.M.), 1984. — Mise en valeur de l'écosystème forestier guyanais. Opération ECEREX : résumé des premiers résultats. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 206, 4^e trimestre 1984 : 13-32.
- WILLIAMS (J.R.), 1971. — Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor — in « present and prospective technology for predicting sediment yields and sources ». *Proceedings of Sediment-Yield Workshop*. USA Sediment Laboratory. Oxford Miss, nov. 1972. ARS s-40-june 75.

Efficacité des pratiques culturales antiérosives testées sous différents climats brésiliens

Jean-Claude LEPRUN (1), Clotario Olivier da SILVEIRA (2) et Raymundo Mendes SOBRAL FILHO (2)

(1) Pédologue ORSTOM — (2) Pédologues de l'E.M.B.R.A.P.A.

E.M.B.R.A.P.A./S.N.L.C.S., rua Jardim Botânico, 1024, 22460 Rio de Janeiro, Brésil

RÉSUMÉ

Diverses pratiques culturales antiérosives ont été testées en différentes conditions de climat, sol, pente pour différentes plantes dans trois régions du Brésil, les régions Nord-Est, Centre-Ouest et Sud. Les résultats obtenus mettent en évidence la remarquable efficacité des pratiques culturales et biologiques simples, facilement applicables par les agriculteurs, peu onéreuses et qui ne font pas décroître de manière importante les rendements. Dans les meilleurs cas ces pratiques permettent le contrôle quasi total de l'érosion et la diminution d'une grande partie du ruissellement superficiel. Les pratiques mécaniques antiérosives les plus efficaces concernent le travail minimum, le semis direct et la préparation du sol selon les courbes de niveau en substitution à la préparation qualifiée de « conventionnelle » qui comprend un labour et deux hersages annuels dans le sens de la pente. Les pratiques biologiques qui donnent les meilleurs résultats sont les rotations culturales, l'emploi de « mulch » et d'engrais verts et les cordons isohypses de végétation permanente.

MOTS-CLÉS : Brésil — Perte en terre — Perte en eau — Contrôle — Erosion — Pratiques culturales — Bandes d'arrêt.

ABSTRACT

EFFICIENCY OF SOIL CONSERVATION PRACTICES TESTED UNDER DIFFERENT BRAZILIAN CLIMATES

Several antierosive cultivation practices were tested under different conditions of climate, soil, declivity for different plants in three Brazilian regions, Northeast, central-West and South. The results obtained showed a remarkable efficiency of cultural and simple biological practices, easily employed by farmers, not expensive and not causing any great decrease of yield. In the best situations, those cultural practices control completely erosion and partly runoff. The most efficient management practices concern minimum and no-tillage, and also contouring in place of the conventional tillage that joins one tillage and two harrowing which are very erosive. The vegetative practices which give better results are crop rotation and mulch, green manure and permanent vegetation strips.

KEY WORDS : Brazil — Soil losses — Runoff — Soil management — Soil and water conservation efficiency — Buffer strip cropping.

RESUMO

EFICIENCIA DAS PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS TESTADAS SOB DIFERENTES CLIMAS BRASILEIROS

Diversas práticas culturais anti-erosivas foram testadas em condições diferentes de clima, solo, declividade, para diferentes plantas em três regiões do Brasil, as regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sul. Os resultados obtidos eviden-

ciam a notável eficácia das práticas mecánicas e vegetativas simples, facilmente aplicáveis pelos agricultores, pouco caras e que não fazem decrescer os rendimentos de maneira apreciável. Nos casos os mais favoráveis, essas práticas permitem controlar quase totalmente a erosão e diminuir uma grande parte do escoamento superficial. As práticas mecánicas conservacionistas mais eficientes concernem o preparo mínimo e o plantio direto e, também, o preparo em contorno em substituição ao preparo convencional que junta uma aração e duas gradagens anuais e que é muito erosivo. As práticas vegetativas que dão os melhores resultados são as rotações e os « mulchs », a adubação verde e as faixas de vegetação permanente em contorno.

PALAVRAS CHAVES : Brasil — Perda em terra — Perda em água — Control — Ero São — Práticas das culturas — Faixas de parada.

INTRODUCTION

Le Brésil, comme de nombreux pays tropicaux, doit faire face à de sérieux problèmes de dégradation des sols dus à l'érosion hydrique et à ses effets sur les pertes en terre et en eau, sur l'exportation de la matière organique et des éléments nutritifs, sur la modification des propriétés physiques du sol et sur la diminution de la productivité agricole. Le Brésil avec ses 8 512 000 kilomètres carrés répartis sur 40 degrés en latitude et autant en longitude, regroupe un grand nombre de types climatiques qui vont du climat équatorial en Amazonie au climat tempéré dans la région frontalière avec l'Argentine et l'Uruguay en passant par le climat semi-aride nordestin et par le climat tropical de la région Centre-Ouest. Ce large éventail climatique lié à la diversité des groupements ethniques, chacun ayant ses habitudes culturelles, complique la recherche et l'application de pratiques antiérosives spécifiques efficaces. Cette note a pour objectif de présenter quelques-unes des techniques antiérosives étudiées dans trois régions du Brésil, le Nord-Est, le Centre-Ouest et le Sud (cf. fig.1).

LA RÉGION NORD-EST

Quelques éléments du cadre physique et humain

La région Nord-Est peut être subdivisée en plusieurs zones physioclimatiques différentes :

La zone humide littorale et étroite ou « Mata » autrefois couverte de forêt, est aujourd'hui largement exploitée pour la monoculture de la canne à sucre ; elle jouit d'un climat tropical chaud et humide avec une pluviométrie annuelle variant de 1200 à 2000 mm sans réelle période sèche ; des « latossols » ou sols ferrallitiques profonds y sont associés à des sols « podzoliques » chimiquement pauvres. La population fortement métissée résulte du croisement de souches d'origines portugaise, indienne et africaine.

La zone intermédiaire ou « Agreste » ourle la précédente ; elle reçoit une pluviométrie moindre qui peut tomber à 700 mm vers l'ouest ; c'est le domaine des

steppes arbustives où l'activité principale est l'élevage bovin. Le modelé est plus accentué, ondulé voire accidenté et porte des sols bien moins profonds, plus riches en bases. La population, comme dans la zone suivante du « Sertão », provient du métissage lusitano-indien mais ne comprend plus la composante africaine précédente.



Fig.1. — Localisation des points d'études : 1 — Gloria de Goitã ; 2 — Alagoinha ; 3 — Pesqueira ; 4 — Caruaru ; 5 — Brasília ; 6 — Guaíba ; 7 — Ijuí ; 8 — Passo Fundo ; 9 — Santa Maria.

La zone sèche intérieure ou « Sertão » qui couvre près des trois-quarts de la région Nord-Est possède une formation végétale xérophylle caractéristique, la « caatinga » qui est une forêt épaisse dense et basse très pauvre en espèces graminéennes. Le climat, semi-aride, est caractérisée par une pluviométrie annuelle inférieure à 800 mm, pouvant tomber à moins de 400 mm, très irrégulière (le coefficient de variation peut atteindre 50 %), par une saison sèche de plus de huit mois et

par une forte évaporation. Les sols, développés sur le socle cristallin, sont très peu épais, bien pourvus chimiquement mais à propriétés physiques souvent déficientes. La population, essentiellement rurale, pratique une agriculture de subsistance non itinérante assez primitive (houe, traction animale) et le petit élevage.

Les données de base et les méthodes utilisées

LA ZONE HUMIDE

Les principales données concernent la zone humide de transition entre les zones de la « Mata » et de l'« Agreste ». Il s'agit de données issues des stations agronomiques expérimentales de Gloria de Goitã et de Alagoinha situées respectivement dans le Pernambouc à 70 km de Recife et dans la Paraíba à une centaine de kilomètres de João Pessoa. Ces données ont donné lieu aux principales publications suivantes : MARGOLIS (1978), MARGOLIS et MELO NETO (1977,1982), MARGOLIS et CAMPOS FILHO (1980) et MARGOLIS *et al.* (1985) en ce qui concerne Gloria de Goitã et da SILVA et de ANDRADE (1984) et SILVA *et al.* (1984) en ce qui concerne Alagoinha (fig.1).

Les paramètres des facteurs de l'érosion (WISCHMEIER et SMITH, 1978) établis en unités décimales et les principales conditions expérimentales sont les suivantes :

— Pour la station de Gloria de Goitã : pluviométrie moyenne annuelle de 1176 mm ; facteur d'érosivité des pluies R moyen annuel de 355 ; sol « podzolique rouge jaune eutrophe » dont l'horizon A1 contient 23,5 % d'argile et 0,82 % de matière organique ; facteur d'érodibilité K de 0,14 ; pente de 12 % et facteur topographique SL de 1,7 ; parcelles de 25 m de longueur sur 4 m de largeur ; début de l'expérimentation en 1975 ; période analysée de mai 1982 à décembre 1983 soit durant deux récoltes ; parcelles cultivées en manioc ; pratiques testées au nombre de six : billonnage, buttage et labour à plat isohypses et travaillées dans le sens de la pente.

— Pour la station de Alagoinha : pluviométrie moyenne annuelle de l'ordre de 900 mm ; facteur R moyen annuel de 320 ; sol « terra roxa structurée eutrophe » ; érodibilité K de 0,20 ; pente de 12 % ; parcelles de 20 m de long sur 5 de large et facteur topographique SL de 3,61 ; première installation en 1945 ; période analysée : 3 années de 1981 à 1983 ; plantes et pratiques testées : coton herbacé planté dans le sens de la pente sur sol préparé à la houe dans le même sens et coton planté en courbes de niveau sur sol préparé de la même manière ; association de coton, maïs et haricot plantés en courbes de niveau sur le sol préparé à la houe de manière isohypse et même association plantée et préparée de la même manière (isohypse) mais incluant une bande d'arrêt herbacée permanente isohypse au milieu

de la parcelle ; association de maïs et haricot plantés et sol préparé en courbes de niveau ; haricot planté et sol préparé en courbes de niveau ; maïs planté et sol préparé en courbes de niveau et maïs planté et sol préparé dans le sens de la pente ; plante de couverture pouvant servir de fourrage (*Digitaria decumbens*) et parcelle nue de référence travaillée dans le sens de la pente selon la méthodologie de WISCHMEIER et SMITH (1978).

Les résultats des expérimentations sont consignés dans les tableaux I et II.

LA ZONE SEMI-HUMIDE

L'exemple choisi concerne les essais expérimentaux de culture industrielle de tomate réalisées durant 22 années à Pesqueira, à quelque 220 km de Recife par son propriétaire (FREITAS *et al.*, 1981). Les principaux facteurs de l'érosion et conditions expérimentales sont les suivantes : pluviométrie moyenne annuelle de 680 mm et érosivité R de 260 ; sol de type « régosol » moyennement profond sur granite dont l'érodibilité estimée est de 0,15, c'est-à-dire moyennement élevée ; pente de 12 %, plante testée, la tomate ; parcelles de 25 m sur 4 m et facteur topographique de 1,7. La préparation du sol se fait suivant la méthode dite « conventionnelle », comportant un labour au tracteur et deux hersages. Les objectifs recherchés sont l'influence de la préparation du sol, des rotations culturales, des résidus de cultures et des cordons de végétation permanente. L'engrais vert utilisé est une légumineuse.

Les résultats des essais sont regroupés dans les tableaux III et IV.

LA ZONE DE TRANSITION ENTRE LE SEMI-HUMIDE ET LE SEMI-ARIDE

Les données utilisées (MARGOLIS *et al.*, 1985) sont celles obtenues à la station agronomique de l'IPA (Institut de recherches agro-pastorales du Pernambouc) située à Caruaru à 135 km à l'est de Recife, à la limite entre les zones de l'« Agreste » et du « Sertão » (fig.1).

Les principaux facteurs de l'érosion et conditions expérimentales sont les suivants : La pluviométrie moyenne annuelle de 630 mm détermine un facteur d'érosivité des pluies R de 210 ; le sol est « lithologique » c'est-à-dire peu différencié, caillouteux, bien drainé, de texture sableuse, avec un horizon A1 de 18 cm d'épaisseur contenant près de 2 % de matière organique, et présentant un coefficient d'érodibilité K faible de 0,08 ; la pente est de 12 % et la dimension des parcelles de 50 m sur 20 m détermine un facteur topographique de 1,65 ; les premières mesures datent de 1969 et les résultats présentés ici englobent une période de 9 années ; la plante cultivée est le maïs et les principaux traitements comprennent le semis dans

le sens de la pente et selon les courbes de niveau, les binages en cordons alternés de manière à laisser une bande isohypse sur deux sous végétation de recru, et la pratique des cordons isohypses de végétation permanente (*Panicum maximum*) de 2 m de large tous les 15,3 m ; toutes les parcelles à l'exclusion de celle travaillée dans le sens de la pente ont été labourées et hersées annuellement de manière isohypse avant le semis

et ont reçu un traitement phytosanitaire et une fumure minérale de fond. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau IV.

Principaux résultats obtenus

Les résultats obtenus dans les différentes zones climatiques du Nord-Est sont consignés dans les tableaux I, II, III, IV et V.

TABLEAU I

Pertes en terre et en eau sous culture de manioc pour différentes pratiques antiérosives à Gloria de Goitã (Pernambouc)

Traitements	Pertes en terre (T/ha/an)	Pertes en eau (% de la pluie)
Billonnage et plantation selon la pente	26,07	15,0
Billonnage et plantation isohypses	0,05	0,5
Buttage et plantation selon la pente	7,65	6,5
Buttage et plantation isohypses	0,52	1,9
Labour à plat et plantation selon la pente	20,30	7,4
Labour à plat et plantation isohypses	0,84	2,7

TABLEAU II

Pertes en terre et en eau pour différentes cultures et pratiques antiérosives dans le Nordeste humide (Alagoinha, Paraíba)

Traitements	Pertes en terre (T/ha/an)	Pertes en eau (% de la pluie)
Coton dans le sens de la pente	31,89	15,3
Coton isohypse	13,03	10,8
Association coton-mais-haricot isohypse	23,77	12,5
Association coton-mais-haricot isohypse + bande d'arrêt herbaçée	15,44	11,7
Association maïs et haricot isohypse	13,00	11,5
Haricot isohypse	11,86	13,1
Maïs dans le sens de la pente	10,23	8,6
Maïs isohypse	10,89	10,2
Pâturage permanent planté	0,63	2,6
Parcelle nue (Wischmeier)	93,79	26,4

TABLEAU III

Pertes en terre et production de tomates suivant trois pratiques culturales à Pesqueira (Pernambouc)

Traitement	Pertes en terre (T/ha/an)	Production (T/ha/an)
Préparation "conventionnelle" en continu	100,74	15,95
Préparation "conventionnelle" en rotation biennale avec du haricot	56,12	13,35
Sans préparation en rotation biennale avec du haricot	8,19	13,83

TABLEAU IV

Pertes en terre et en eau sous culture de tomate suivant différentes pratiques antiérosives à Pesqueira (Pernambouc)

Traitement	Pertes en terre (T/ha/an)	Pertes en eau (% de la pluie)
Rotation avec engrais vert enfoui	22,99	8,0
Rotation avec engrais vert en "mulch"	2,53	2,5
Rotation avec jachère enfouie	8,68	5,0
Rotation avec jachère en "mulch"	0,46	0,8
Rotation avec engrais vert en "mulch" et mats	1,56	2,0
Rotation avec jachère en "mulch" durant 2 ans	0,24	0,4
Rotation avec engrais vert et cordons herbeux	0,91	1,2

TABLEAU V

Pertes en terre et en eau sous culture de maïs pour différentes pratiques antiérosives à Caruaru (Pernambouc)

Traitements	Pertes en terre (T/ha/an)	Pertes en eau (% de la pluie)
Semis dans le sens de la pente	0,61	2,29
Semis isohypse	0,39	1,82
Binages en cordons alternés	0,10	0,85
Cordons de végétation permanente	0,05	0,75

Interprétations et conclusions

L'examen des tableaux I et II permet de constater, que pour la zone humide du Nord-Est :

— La simple modification de l'orientation du travail du sol du sens de la plus grande pente à la perpendiculaire de cette pente, c'est-à-dire isohypse ou selon les courbes de niveau, réduit, pour une culture comme le manioc qui couvre aussi peu le sol, les pertes en terre de 93 à plus de 99 % et les pertes en eau de 63 jusqu'à plus de 96 %. La meilleure pratique antiérosive, dans le cas d'un refus du paysan à adopter la préparation isohypse du sol serait le buttage et semis selon la pente qui diminue de près de trois fois la perte en terre par rapport aux pertes dues au billonnage et au labour à plat.

— L'adoption du travail du sol selon les courbes de niveau permet de faire baisser de près de 50 % l'érosion solide et de 10 à 30 % le ruissellement sous culture de coton, mais n'apporte aucune amélioration sous culture de maïs.

— La remarquable efficacité du pâturage permanent qui ramène à une valeur insignifiante la perte en terre (sur parcelle nue elle atteignait près de 94 t/ha/an) et réduit de dix fois la perte en eau.

Les données des tableaux III, IV et V, qui concernent les régions que l'on peut considérer comme sèches puisque la pluviométrie y est inférieure à 680 mm par an permettent de mettre en évidence :

— Pour la culture de la tomate : une réduction de près de 92 % de l'érosion, obtenue lorsque aucune

préparation du sol n'est effectuée et qu'une rotation biannuelle avec le haricot est pratiquée (la production n'en est pas pour autant fortement diminuée), et les effets hautement bénéfiques sur les pertes en terre et en eau des pratiques simples. Ces pratiques sont : la rotation incluant la coupe de la jachère (qui est normalement brûlée) et son maintien en couverture superficielle et la rotation associant à l'enfouissement de l'engrais vert la présence de cordons herbeux isohypses permanents. Dans les deux cas les pertes en terre sont diminuées de plus de 96 % et les pertes en eau sont réduites de près de dix fois par rapport à la pratique de la rotation avec enfouissement de l'engrais vert seul.

— Pour la culture du maïs : le semis pratiqué selon les courbes de niveau réduit de plus de 30 % l'érosion et de 20 % le ruissellement et les cordons isohypses alternés binés ou revêtus de végétation permanente éliminent pratiquement les pertes en terre et permettent une infiltration quasi totale de la pluie.

LA RÉGION CENTRE-OUEST

Quelques éléments du cadre physique et humain

La région Centre-Ouest avec ses 1 880 000 kilomètres carrés, soit 22 % du territoire national et ses 7,5 millions d'habitants est une région en pleine expansion dont le développement, essentiellement agricole, est récent. Son climat est de type tropical chaud et humide dans les régions préamazoniques et moyennement chaud

et semi-humide dans les parties centrale et méridionale. A Brasilia il y a 4 à 5 mois secs par an, l'altitude adoucit la température qui peut tomber à 6°C, la moyenne annuelle se situant autour de 20°C et l'évaporation n'étant que d'environ 400 mm par an. Le modelé très doux est celui de plateaux étendus où domine la savane arborée ou « cerrado » sur les « latosols » ou sols ferrallitiques acides, désaturés, profonds, riches en alumine libre, à basse fertilité naturelle.

Contrairement au Nordeste, nous avons affaire dans le Centre-Ouest à une région à agriculture industrielle extensive, mécanisée, souvent itinérante. La mobilité des hommes et des cultures est grande. La région a reçu en 10 ans 17 millions d'immigrants issus des autres régions et en particulier du sud. Il s'agit d'une sorte de Far West où les conflits pour la possession de la terre sont aigus et violents. C'est le Brésil pionnier, le Brésil rural de demain. En 1980, suivant les statistiques de l'Institut brésilien de géographie et statistiques, les propriétés agricoles permanentes ne comptaient que 52 388 établissements contre 211 969 pour les exploitations temporaires. La moyenne des exploitations est de 977 ha et 70 % de ces exploitations ont plus de 1000 ha. Il y a 62 133 tracteurs ou près de 6,5 millions d'hectares cultivés et le nombre d'hectares cultivés par personne vivant de la terre est de 4,88. La région Centre-Ouest produit déjà 34 % de la production nationale de riz et les récoltes de soja, de blé et de manioc sont en progression constante. Avec 33,2 millions de bovins c'est, avec la région Sud, la principale région d'élevage du pays.

Les données de base et les méthodes employées

Les seules données disponibles concernent les essais sur parcelles du Centre de recherches agro-pastorales du cerrado de l'EMBRAPA (CPAC) situé à 18 km de Brasilia dans le District fédéral (DEDECEK *et al.*, 1986).

Les principaux facteurs de l'érosion et les conditions expérimentales sont les suivantes : la pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 1600 mm et le facteur d'érosivité des pluies R égale 805 ; le sol est un « latosol rouge foncé alique » c'est-à-dire un sol ferrallitique très désaturé riche en alumine libre (haplustox). Sa texture est argileuse, son pH de 4,3, sa teneur en matière organique de 2,3 % et son complexe absorbant contient 1,22 mé de A1 et seulement 0,34 mé de Ca + Mg ; la valeur de l'érodibilité K est de 0,13 ; les parcelles, de 22 sur 3,5 m, ont une pente de 5,5 %. Les différents traitements concernent les pertes en terre et en eau : sous maïs, riz et soja en préparation dite « conventionnelle » du sol, sous soja sans travail du sol, comparées à celles d'un pâturage cultivé (*Bracharia decumbens*) et d'un sol nu travaillé dans le sens de la pente (standard de WISCHMEIER). La préparation « conventionnelle » du sol est faite manuellement dans le sens de la pente. Le semis du soja sans préparation du sol est réalisé directement dans un fin sillon qui est ensuite refermé et traité à l'herbicide de contact. Tous les traitements ont reçu un amendement minéral de fond (N, P, K). Les premières mesures remontent à 1977 et les données citées regroupent six années d'essais.

Les résultats obtenus

Ils sont consignés dans le tableau VI.

TABLEAU VI

Pertes en terre et en eau sous différentes cultures et suivant différentes pratiques antiérosives à proximité de Brasilia (District fédéral)

Traitements	Pertes en terre (T/ha/an)	Pertes en eau (% de la pluie)
Maïs en préparation "conventionnelle"	29,4	21,3
Riz en préparation "conventionnelle"	7,1	20,6
Soja en préparation "conventionnelle"	8,1	14,5
Soja sans préparation du sol	5,4	13,5
Pâturage graminéen	0,15	1,3
Sol nu (parcelle de Wischmeier)	52,6	23,6

Interprétations et conclusions

Il ressort de l'examen des valeurs du tableau VI que :
 — dans la région Centre-Ouest, en pratique « conventionnelle », c'est sous maïs que les pertes en terre et en eau sont les plus importantes ;
 — la plantation de soja sans préparation du sol permet une réduction de 33 % de la perte en terre et de 7 % de la perte en eau par rapport à la pratique « conventionnelle » ;

— le couvert graminéen planté est particulièrement efficace puisqu'il fait passer l'érosion du sol nu de 52,6 à 0,15 t/ha/an et diminue de dix fois les pertes en eau.

LA RÉGION SUD

Quelques éléments du cadre physique et humain

La région Sud qui regroupe les États du Parana, de la Santa Catharina et du Rio Grande do Sul, s'étend

sur 580 074 km² et compte une population rurale qui représente 38 % de la population totale. Le climat dit subtropical humide sans saison sèche, ou tempéré, qui permet l'obtention de deux récoltes par an, est le seul du Brésil qui possède des pluies d'hiver et des saisons bien marquées. La pluviométrie moyenne annuelle varie de 1250 à 2000 mm et la température moyenne annuelle de 12 à 20° C en fonction de l'altitude. Le modelé est constitué, sur près des deux tiers de la région, de plateaux basaltiques dont l'altitude est souvent supérieure à 1000 m. Ces plateaux portent des sols variés mais largement dominés par les « terras roxas », les « brunizans » et les « cambisols », sols chimiquement riches et parmi les plus fertiles du pays. La forêt primitive d'*Araucaria* qui couvrait 167 800 km² a pratiquement disparu. La végétation actuelle est constituée de steppes graminéennes sans arbres, les « campos ».

Cette région méridionale constitue le Brésil tempéré, riche, européen. Il a été peuplé par des immigrants allemands et italiens au XIX^e siècle et au début du XX^e. Véritables paysans pour la plupart, ils y ont installé des propriétés foncières de taille moyenne (10 ha), qu'ils ont exploitées de façon intensive et fortement mécanisée (1 traicteur pour 63 ha cultivés). L'importance des dégâts dus à l'érosion les a progressivement incité à adopter, pour sauver leurs terres arables, des techniques conservatoires, tout particulièrement la pratique du « no-tillage » actuellement largement répandue dans cette région.

Les données de base et les méthodes employées

Dans ce qui suit, il faut entendre par :

- Préparation « conventionnelle » : un labour suivi de deux hersages exécutés dans le sens de la pente.
- Pratique sans préparation : un semis effectué dans un fin sillon sans autre travail du sol.
- Succession : deux cultures pratiquées la même année, l'une en été, l'autre en hiver.

La station agronomique expérimentale de Guaíba qui dépend de l'Université fédérale du Rio Grande do Sul est située à 50 km à l'ouest de Porto Alegre (fig.1). Les données de pertes en terre et en eau sont dues à ELTZ *et al.* (1981 et 1984) et concernent la période de 1975 à 1980. Le climat est subtropical humide sans saison sèche avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1250 mm qui fournit une érosivité R de 648. Le sol testé est une « terra roxa similar » profond et bien drainé, assez bien pourvu en cations, dont le taux de matière organique n'atteint pas 2 % et d'une susceptibilité à l'érosion assez élevée ($K = 0,33$). Les parcelles ont 22 m sur 3,5 m et une pente de 12 %. Les divers traitements sont les suivants : sol nu (parcelle de référence de WISCHMEIER) préparé de manière « conventionnelle » ; succession blé-soja préparée de manière « convention-

nelle » avec brûlis des résidus culturaux de blé et incorporation des résidus de soja ; succession blé-soja en préparation minimum (un labour léger sur les résidus de la culture antérieure) ; blé-soja sans préparation du sol ; succession blé-mais en préparation « conventionnelle » avec incorporation des résidus culturaux ; succession blé-mais sans préparation du sol ; pâturage naturel.

Les données des parcelles de Ijuí ont été collectées au centre de formation agronomique de la coopérative de blé de Ijuí située dans le nord-est du Rio Grande do Sul (fig.1) et publiées par GASSOL *et al.* (1980). La pluviométrie moyenne annuelle est de 1800 mm, le sol est un « latosol roxo distrophe » et la pente de 7,5 %. Les traitements sont les mêmes que ceux décrits pour Guaíba.

Les données concernant Passo Fundo proviennent du centre national d'étude du blé de l'EMBRAPA situé au nord du Rio Grande do Sul (fig.1). La pluviométrie moyenne annuelle est de 1658 mm et provoque une érosivité moyenne annuelle de 748. Le sol est un « latosol rouge foncé » profond dont le facteur d'érodibilité varie entre 0,20 et 0,25. La pente est de 9 %. Les traitements, au nombre de trois, comprennent la succession blé-soja en préparation « conventionnelle » alors que les résidus de cultures sont brûlés, la même pratique mais les résidus sont enfouis et la pratique sans préparation, les résidus étant laissés en surface. Ces données ont été obtenues et publiées par WUNSHE et DENARDIN (1978 et 1980).

Enfin, les pratiques antiérosives du tableau X ont été testées à la station expérimentale de sylviculture de Santa Maria situé dans le centre-ouest de l'Etat. La pluviométrie moyenne annuelle atteint 1650 mm et le facteur d'érosivité R approche 800. Le sol est un sol « podzologique rouge-jaune » profond, bien drainé, à texture sableuse de surface, dont la susceptibilité à l'érosion est moyenne, et la pente de 9 %. Les parcelles ont 22 m de long pour 3,5 m de large. Les données traitées concernent la période de 1978 à 1981 et ont été publiées par ELTZ *et al.* en 1984. Les traitements sont les suivants : succession avoine/lupin (*Lupinus albus*) — maïs en préparation « conventionnelle » et sans préparation (les deux premières années la succession est celle de l'avoine et du maïs puis le lupin remplace l'avoine comme culture d'hiver) ; succession orge/avoine-soja en préparation « conventionnelle » et sans préparation (après deux ans l'avoine a remplacé l'orge comme culture d'hiver).

Les principaux résultats obtenus

Les résultats de pertes en terre et en eau concernant la région Sud ont été regroupés dans les tableaux VII, VIII, IX et X.

TABLEAU VII

Pertes en terre et en eau pour différentes cultures et pratiques antiérosives à Guaíba (Rio Grande do Sul)

Traitements	Pertes en terre (T/ha/an)	perdes en eau (% de la pluie)
Succession blé-soja dans l'année		
Préparation "conventionnelle"	25,97	6,3
Préparation minima	11,81	3,4
Sans préparation	9,30	3,6
Succession blé-maïs dans l'année		
Préparation "conventionnelle"	23,15	6,2
Sans préparation	3,25	2,3
Pâturage naturel	0,24	3,2
Sol nu (parcelle de Wischmeier)	229,95	19,7

TABLEAU VIII

Pertes en terre et en eau pour différentes cultures et pratiques antiérosives à Ijuí (Rio Grande do sul)

Traitement	Pertes en terre (T/ha/an)	Pertes en eau (% de la pluie)
Succession blé-soja dans l'année		
Préparation "conventionnelle"	7,84	3,1
Préparation minima	2,32	2,26
Sans préparation	0,49	0,44
Succession avoine-maïs dans l'année		
Préparation "conventionnelle"	8,47	3,93
Sans préparation	0,73	0,78

TABLEAU IX

Pertes en terre sous succession de cultures blé-soja pour différentes pratiques antiérosives à Passo-Fundo (Rio Grande do Sul)

Traitement	Pertes en terre
Succession blé-soja dans l'année	
Préparation "conventionnelle" et brulis des restes	12,8
Préparation "conventionnelle" et enfouissement des restes	3,7
Sans préparation et restes en "mulch" superficiel	1,1

TABLEAU X

Pertes en terre et en eau et rendement pour différentes cultures et pratiques antiérosives à Santa-Maria (Rio Grande do Sul)

Traitement	Pertes en terre (T/ha/an)	Pertes en eau (% de la pluie)	Rendements (Kg/ha/an)
Succession avoine/lupin-maïs			
Préparation "conventionnelle"	39,78	18,5	4771
Sans préparation	12,20	12,9	4825
Succession orge/avoine-soja			
Préparation "conventionnelle"	31,97	17,2	3497
Sans préparation	14,82	14,7	3988

Interprétations et conclusions

Que ce soit à Guaíba ou à Ijuí, c'est-à-dire sur des sols et des pentes différentes, la succession blé-soja en préparation minimum du sol a à peu près la même efficacité et réduit les pertes en terre de 60 à 70 % et les pertes en eau de près de 50 % par rapport aux pertes de la pratique dite « conventionnelle ». En revanche, l'efficacité du semis sans préparation du sol est différente dans les deux cas (réduction de l'érosion de 75 % et 94 %) tout en restant très efficace. L'enfouissement des résidus de culture ou leur épandage superficiel ont également des effets bénéfiques et peuvent donc être employés en complément des précédentes. La pratique du semis sans travail du sol dans le cas des successions avoine-maïs et orge-soja sur sol « podzolique » (tabl.X) ne contrôle qu'entre 70 et 54 % des pertes en terre et entre 15 et 30 % des pertes en eau par rapport aux pertes mesurées en préparation « conventionnelle ». Toutefois, comme cette technique permet d'obtenir de

meilleurs rendements elle est donc, une fois encore, un précieux moyen pour préserver le sol et son potentiel agricole.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Avant de conclure, il paraît opportun de faire un bilan de l'efficacité des différentes pratiques testées en fonction des principales cultures. Pour cela, il est nécessaire de calculer les rapports entre les pertes subies par la parcelle témoin travaillée dans le sens de la pente (préparation « conventionnelle ») et celles des parcelles où une ou plusieurs techniques antiérosives associées ont été testées. Ce rapport qui varie de 0,00 pour une pratique totalement efficace à 1,00 pour la parcelle témoin la plus érodée correspond aux facteurs P ou C des pratiques antiérosives de WISCHMEIER et SMITH (1978). Les différentes valeurs issues de ce travail sont regroupées dans le tableau XI.

TABLEAU XI
Différentes valeurs des facteurs P et C évaluant l'efficacité des pratiques culturales antiérosives étudiées

Plante cultivée et pratique antiérosive utilisée	P	C
Coton isohypse	0,41	
+ maïs + haricot isohypse	0,75	
+ maïs + haricot isohypse + bande d'arrêt	0,48	
Maïs isohypse	0,87*	
isohypse + binage alterné	0,16	
isohypse + cordons de végétation permanente	0,08	
Tomate + rotation biennale avec haricot		0,56
idem préparation du sol		0,08
+ rotation avec engrais vert en "mulch"		0,11
+ rotation avec jachère enfouie		0,38
+ rotation avec jachère en "mulch" de 2 ans		0,01
+ rotation avec engrais vert en "mulch" + maïs		0,07
+ rotation avec engrais vert et cordons herbeux	0,04	
Soja sans préparation du sol		0,67
Blé-soja préparation minimum		0,37*
sans préparation du sol		0,17*
sans préparation + mulch		0,09
Blé-maïs sans préparation du sol		0,14
Avoine-maïs sans préparation du sol		0,09
idem + lupin		0,31
Orge-soja + avoine dans préparation du sol		0,46

* moyenne de plusieurs valeurs.

L'examen de ce tableau met en lumière la remarquable efficacité de la pratique du semis sans préparation préalable du sol, le « no-tillage » des Américains, dont le coefficient C varie de 0,08 pour la tomate et la succession blé-soja et avoine-maïs, à 0,67 pour le cas le plus défavorable, celui du soja, mais dont la plupart des valeurs sont inférieures à 0,20. Cette méthode, en plus du contrôle efficace de l'érosion, permet l'obtention de rendements comparables ou supérieurs à ceux

de la préparation traditionnelle très dégradante et beaucoup moins économique. Tout ce qui précède montre à l'évidence que plus on travaille et perturbe le sol, plus il est sensible à l'érosion.

Dans tous les cas, excepté dans celui du maïs, la pratique de la préparation du sol selon les courbes de niveau permet également la réduction des pertes en terre d'au moins 50 % et un appréciable accroissement de l'infiltration, ce qui, dans les régions sèches et semi-

humides, représente un réel ajout au facteur de rendement de la culture, voire la condition de sa réussite. Toutes les pratiques biologiques utilisées ont permis de limiter dans de notables proportions l'érosion et le ruissellement. Ces pratiques sont facilement exécutables par le petit agriculteur et sont peu onéreuses.

De nombreux paysans du sud du pays, propriétaires de leur exploitation familiale ont pris conscience du risque et de la nécessité de défendre leurs terres contre l'érosion. Dans bien des cas, ce sont eux qui sont à l'origine du choix et de l'adaptation de la pratique spécifique à adopter. Et cette pratique est le plus souvent « douce », biologique, car l'agriculteur sait qu'elle est efficace et que les techniques mécaniques des terrasses et banquettes sont chères et dangereuses ; elles ont été appliquées dans le passé et ont conduit à des échecs.

La région centrale du pays avec ses cultures industrielles extensives, sa mécanisation lourde et la grande fragilité de ses sols, n'a pas encore pris vraiment

conscience du problème de la dégradation de ses terres et de leur fertilité naturelle. C'est seulement par le biais de la considérable sédimentation fluviale annuelle dans la cuvette du Pantanal et dans le bassin du Parana que l'érosion agricole des sols amont, aujourd'hui intensément cultivés en soja, est appréhendée.

Dans le Nordeste brésilien, actuellement protégé de l'érosion par suite, à la fois, d'une emprise limitée des aires de cultures, d'un mode d'exploitation non mécanisée et d'une relative conservation des formations végétales naturelles, il semble de première importance de modifier les pratiques traditionnelles erronées (conduites dans le sens de la plus grande pente), en ayant recours à un encadrement rural structuré et efficient, avant que ne se fassent sentir les méfaits de la mécanisation.

Dans tous les cas, cette étude prouve que des solutions techniques au problème de l'érosion existent, et qu'il importerait donc d'en divulguer leur intérêt et de les mettre en application le plus rapidement possible.

BIBLIOGRAPHIE

- CASSOL (E.A.), ELTZ (F.L.F.), GUERRA (M.), VIAU (L.V.M.), 1980. — Perdas por erosão sob chuva natural ne solo « Santo Angelo » (Latosolo Roxo Distrofico), em diferentes sistemas de manejo do solo. Resultados anuais de pesquisa, IPRNR secretária da Agricultura, RS. Relatório mimeogr.
- DEDECEK (R.A.), RESCK (D.V.S.), FREITAS de (E.), 1986. — Perdas de solo, agua e nutrientes por erosão em Latosolo Vermelho-Escuro dos Cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. 28 p. A paraître dans la *Rev. Bras. Ci. Solo, Campinas, sous-presse*.
- ELTZ (F.L.F.), CASSOL (E.A.), SCOPEL (I.), GUERRA (M.), 1981. — Perdas de solo e agua por erosão em diferentes sistemas de manejo e coberturas vegetais sm solo Laterítico Bruno Avermelhado Distrofico (São Jerônimo), sob chuva natural. Resultados dos primeiros cinco anos. *PBRRev. Bras. Ci. Solo ; Campinas*, 8 : 117-125.
- ELTZ (F.L.F.), CASSOL (E.A.), ABRAO (P.U.R.), GUERRA (M.), 1984. — Uso e manejo do solo e as perdas por erosão no solo Podzólico Vermelho Amarelado (São Pedro) sob chuva natural. Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do IV, Campinas, 24 a 29 de julho de 1982. Resumos. SBCS, CATI, IAC. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 8 : 245-249.
- FREITAS de (M.B.), CHOUDHURY (E.N.), FARIA (C.M.B.), 1981. — Manejo e conservação de solo Nordeste pernambucano. EMBRAPA/CPATSA, Petrolina, Boletim de pesquisa, 6, 44 p.
- LEPRUN (J.C.), 1983. — Relatório de fim de convênio de manejo e conservação do solo no Nordeste brasileiro (1982-1983). Rapport SUDENE-ORSTOM, Recife, 290 p., 5 cartes annexes.
- LEPRUN (J.C.), 1985. — La conservation et la gestion des sols dans le Nordeste brésilien. Particularités, bilan et perspectives. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XXI, n° 4, 1984-1985.
- MARGOLIS (E.), 1978. — Efeito de práticas conservacionistas sobre as perdas por erosão no Podzólico Vermelho Amarelo de Gloria de Goitã. *Pesq. Agropec. pernamb.* Recife, 2 : 1-12.
- MARGOLIS (E.) et MELO NELO de (A.V.), 1977. — Observações gerais sobre as perdas por erosão na zona do Agreste de Pernambuco. IPA, Recife, *Boletim técnico*, 74, 19 p.
- MARGOLIS (E.) et CAMPOS FILHO (O.R.), 1980. — Determinação dos fatores de equação universal de perdas de solo num Podzólico Vermelho Amarelo de Gloria de Goitã. Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do solo, 3, Recife, resumo, p.29.
- MARGOLIS (E.) et MELO NETO de (A.V.), 1982. — Perdas por erosão em diferentes sistemas de plantio de mandioco. Resultados preliminares. Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do solo, 4, Campinas, resumo 34, p.18.
- MARGOLIS (E.), SILVA de (A.B.), REIS dos (O.V.), 1985. — Controle da erosão com diferentes práticas conservacionistas num solo Litólico de Caruaru (PE). *Rev. bras. Ci. Solo*, 9 : 161-164.
- SILVA da (I.F.) et ANDRADE de (A.P.), 1984. — Relatório de pesquisa sobre conservação do solo, 1977-1984. Relatório SUDENE-DRN/UFPB-CCA, Areia, 59 p.

- SILVA da (I.F.), ANDRADE de (A.P.), CAMPOS FILHO (O.R.), 1984. — Comportamento de diferentes coberturas vegetais e de pr ticas conservacionistas simples sobre perdas por eros o. Congresso brasileiro de Conserva o do solo, V, Porto Alegre, 15   20 de Julho de 1984, resumo 13, p.46.
- WISCHMEIER (W.H.) et SMITH (D.D.), 1978. — Predicting rainfall erosion losses ; a guide to conservation planning. Washington, US Depart. of Agric., Agric. Handbook, 537, 58 p.
- WUNSCH (W.A.) et DENARDIN (J.E.), 1978. — Perdas de solo e escoamento de  gua sob chuva natural em Latossolo Vermelho-Escuro nas culturas de trigo e soja. II Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conserva o do solo, Passo Fundo, 24 a 28 de abril de 1978 ; Anais : 289-296.
- WUNSCH (W.H.) et DENARDIN (J.E.), 1980. — Conserva o e manejo dos solos. I. Planalto Rio-Grandense ; Considera es Gerais. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPTrigo, 20 p. (Circular t cnica n  2).

L'érosion et la conservation des sols en Equateur*

Georges DE NONI (1), German TRUJILLO (2), Marc VIENNOT (1)

(1) Mission ORSTOM, Apartado 6596 CCI, Quito, Equateur, (2) M.A.G., Quito, Equateur

RÉSUMÉ

L'érosion constitue l'un des facteurs les plus actifs de dégradation des ressources naturelles en Equateur. Elle se caractérise par l'importance en surface des zones affectées (environ 50 % du territoire) et par l'intensité de ses manifestations (200 à 500 t/ha/an par exemple dans le grand bassin de Quito). La Sierra, partie montagneuse du pays, a été et continue à être le siège d'une érosion active, quasi généralisée dans le couloir interandin entre 1 500 et 3 200 mètres d'altitude. Ailleurs, l'érosion est plus localisée, mais se développe rapidement : les risques érosifs sont très élevés sur les hautes terres et les flancs extérieurs de la Cordillère des Andes, et à un degré moindre sur les deux régions basses la Côte et l'Amazonie. L'équilibre morphodynamique du pays, déjà très fragile en conditions naturelles, est fréquemment rompu par l'impact agricole de l'homme sur le milieu. En effet, l'agriculteur démontre un souci très faible pour conserver ses terres. Il semble avoir oublié les principes fondamentaux de l'agriculture précoloniale mieux adaptée aux conditions montagneuses. La conquête espagnole, la réforme agraire et le « boom » démographique du début du siècle constituent, sans nul doute, les principales causes de cet oubli.

MOTS-CLÉS : Erosion — Processus — Causes — Risques érosifs — Conservation des sols — Equateur.

ABSTRACT

EROSION AND SOIL CONSERVATION IN ECUADOR

Erosion is one of the main factors which is responsible for the degradation of natural resources in Ecuador. It is characterized by the extent of the affected areas (about 50 % of the territory) and by its magnitude (200 to 500 t/ha/year, for instance, are affected in the great basin of Quito). The Sierra which is the mountainous zone has been and is still subjected to an active erosion which spread to the inter-Andean corridor between 1500 and 3200 metres high. Elsewhere, the erosion is more localized but it develops rapidly : risks of erosion are high in the highlands and the outer sides of the Andean Cordillera and they are lower in the two lowlands, the Coast and Amazonia. The morphodynamic equilibrium of the country which is already very weak under natural conditions is often upset by man's agricultural influence on the environment. The farmer does no worry much about keeping his lands. He seems to have forgotten the main principles of the precolonial agricultural system which was better suited to the mountainous areas. The reasons for it seem to be the Spanish conquest, the agricultural reform and the demographic explosion observed at the beginning of the century.

KEY WORDS : Erosion — Process — Causes — Risks of erosion — Soil conservation — Ecuador.

* « Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un projet spécifique de coopération scientifique entre la Direction Nationale Agricole du ministère équatorien de l'Agriculture et de l'Elevage et l'ORSTOM ».

A l'échelle du continent sud-américain, l'Equateur est un petit pays de 270 670 km² dont l'originalité géographique est due, en particulier, à sa situation équatoriale et à la présence de la cordillère des Andes, appelée localement « Sierra ». Cette dernière, en grande partie volcanique, traverse le centre du pays selon une direction méridienne et constitue une formidable barrière montagneuse. Elle est divisée en 2 cordillères parallèles, aux fortes pentes, culminant à 4000-4 500 m, couronnées par de hauts volcans qui dépassent 5 500 m d'altitude. En deçà de 600 m, la cordillère des Andes est flanquée à l'ouest par la région côtière et à l'est par la région amazonienne. Bien que plus modérés, les reliefs de ces 2 régions, collinaires et tabulaires, présentent également de fortes pentes. Il résulte de cette situation géographique particulière que la gamme des climats est très étendue et que les sols, notamment ceux dérivés de matériel volcanique, présentent des aptitudes agricoles remarquables. Très tôt, l'homme a su tirer profit de ces conditions favorables et a développé une agriculture florissante qui constitue, actuellement avec le pétrole, le principal secteur d'exportation.

Cependant, les phénomènes de dégradation des sols aptes à l'agriculture sont importants. En règle générale, ils ont été négligés par l'homme, soit par insouciance devant l'abondance des ressources naturelles soit par manque d'expérience dans le domaine de la conservation des sols. L'équilibre morphodynamique, fragile en conditions naturelles, a été et continue à être fréquemment rompu par l'impact agricole de l'homme sur les sols. Le résultat est que l'érosion se caractérise par l'importance des surfaces affectées et l'intensité de ses manifestations. G. ALMEIDA *et al.* (1984) ont estimé qu'environ 50 % de la surface du territoire sont affectés par des processus de dégradation : 15 % des zones concernées, siège d'une pression très dense de l'homme sur le milieu et situées avant tout dans le couloir interandin, ont perdu une grande partie de leurs sols arables ; quant aux 35 % restants, ils correspondent à des zones où le processus de colonisation agricole est en cours (régions côtière et amazonienne, hautes terres et flancs extérieurs de la cordillère des Andes). La couverture pédologique y est encore quasi continue mais présente, localement, des signes alarmants de dégradation. En ce qui concerne l'intensité des manifestations érosives, elle se caractérise par des poids de terre perdue considérables. Deux parcelles de ruissellement (Alangasi et Ilalo), de 50 m² de surface et situées dans la région de Quito, ont donné pour 1982 des résultats qui varient de 200 à 500 t/ha/an (G. DE NONI *et al.*, 1986).

UN MILIEU MORPHODYNAMIQUE FRAGILE ET INSTABLE

En conditions naturelles, l'équilibre morphodynamique du pays est fragile à cause de l'agressivité climatique mais également des caractéristiques générales du relief. En condition de mise en valeur agricole, cet équilibre devient très instable et provoque une accélération notable de l'érosion.

Fragilité de l'équilibre morphodynamique, en conditions naturelles

La pluie doit être mentionnée en premier lieu parce qu'elle constitue le facteur créateur d'érosion le plus agressif en Equateur. Dans la Sierra, les précipitations contribuent essentiellement au développement des phénomènes de ruissellement ; les études quantitatives réalisées dans cette région sur 7 parcelles de ruissellement démontrent clairement les relations étroites entre l'érosion du sol et l'intensité pluviale, en particulier l'intensité maximale durant 30 minutes (IM 30). Dans le couloir interandin, les valeurs de l'IM 30 sont relativement basses et varient de 20 à 40 mm/h ; les intensités les plus fortes sont observées dans le grand bassin de Quito et dans la région de Loja, à l'extrême sud du pays. Sur les contreforts extérieurs de la cordillère, les valeurs enregistrées sont supérieures et comprises entre 40 et 60 mm/h. Plus bas, elles sont nettement plus élevées et peuvent atteindre 70 mm/h. Dans la région amazonienne, l'IM 30 se caractérise par une distribution spatiale homogène avec des valeurs très élevées : elle est partout supérieure à 70 mm/h. Cependant, la pluviométrie annuelle, supérieure à 2 500 mm, assure une bonne protection végétale du sol. Enfin, sur la Côte, les valeurs de l'IM 30 fluctuent entre 40 et 70 mm/h. Mais, sur les sols argileux, moins bien couverts qu'en Amazonie, prédominent les mouvements en masse que des hauteurs pluviométriques annuelles de l'ordre de 800 mm suffisent à provoquer.

Le vent est l'autre facteur climatique créateur d'érosion. Bien qu'il puisse être responsable de dégâts conséquents, il n'intervient, par rapport à l'érosion hydrique, que pendant une courte période de l'année (de juin à août). Les informations relatives au vent sont encore mal connues et on ne dispose pour l'instant que de peu d'observations : dépouillements de quelques anémogrammes et expérimentations avec un tunnel à vent. Ces dernières, réalisées par nos soins, ont montré que les particules les plus susceptibles, au même état d'humidité, d'être déplacées par le vent se situent dans la classe 50-200 microns et pour des vitesses de l'ordre de 4 à 7 m/s, que l'intensité du déplacement augmente avec la rugosité de surface du sol et qu'une humidité minime

(équivalente à 0,05 mm de pluie) bloque totalement le processus, pour des vitesses inférieures à 12 m/s.

Le relief, enfin, par ses formes variées aux pentes généralement fortes, constitue l'un des facteurs passifs principaux conditionnant l'érosion. C'est la cordillère des Andes qui présente les versants les plus inclinés : topographie irrégulière et pentes hétérogènes dans le sillon interandin (0-50 ‰), pentes très fortes (70-100 ‰) et homogènes sur les contreforts externes. Les collines et les plateaux des régions côtière et amazonienne sont modelés en versants aux pentes moyennes à fortes (12-40 ‰). Sur les rebords des reliefs tabulaires, les pentes peuvent dépasser 70 ‰. Ces 2 régions sont drainées par de grandes vallées alluviales qui sont sensibles aux inondations provoquées par des ruptures de l'équilibre morphodynamique de leur bassins hydrographiques souvent situés dans la Sierra.

Grande instabilité morphodynamique, en conditions anthropiques

Bien entendu, l'impact agricole de l'homme sur le milieu constitue, également, l'un des facteurs conditionnant l'érosion de premier ordre. Le fait est que les méthodes relatives à la conservation des sols sont quasi inexistantes ce qui provoque l'accélération de l'érosion dans la montagne et accroît les risques d'inondations et de sédimentation dans les régions basses bordières. Et pourtant, les textes des chroniqueurs de l'époque coloniale ainsi que l'existence de quelques vestiges agricoles, encore visibles de nos jours, permettent de penser que l'agriculture pré-hispanique a été florissante et plus conservatrice des sols. Les traditions agricoles ancestrales paraissent avoir été oubliées par l'agriculteur d'aujourd'hui. Les différents aspects de la question seront abordés dans la troisième partie de ce travail. On se limitera, ici, à une description générale des grands types de paysages.

La Sierra est la région du pays où la pression de l'homme sur le sol est la plus dense. La morphodynamique agricole se caractérise par des cultures qui protègent mal les sols et par des pratiques culturales inadaptées, bien souvent, au relief accidenté parmi lesquelles on peut souligner l'utilisation de plus en plus courante de la traction mécanique sur des pentes trop fortes. En fonction de l'altitude, on distingue les formations végétales suivantes :

— la zone inférieure à 2 400 m d'altitude est couverte par des formations végétales discontinues, arborées avec ceibas et arbustives avec cactus. L'activité agricole est régie par l'irrigation (canne à sucre, cultures maraîchères et fruitières).

— la zone comprise entre 2 400 et 3 200 m correspond au couloir interandin proprement dit. Très tôt, elle a

été marquée par la pression de l'homme sur les sols. C'est le domaine de la culture de maïs et des pâturages naturels et artificiels.

— A partir de 3 200 m et jusqu'à 4 400 m (limite des cultures), on pénètre dans la zone des hautes terres andines où sont cultivées pommes de terre, fèves et orge. C'est un milieu en pleine mutation qui est le siège d'activités agricoles de plus en plus intensives depuis une vingtaine d'années. Cette évolution se réalise aux dépens des formations végétales naturelles qui confèrent une bonne protection aux sols : formations arbustives normalement fermées, appelées localement « matorral » ou « chaparral » entre 3 600 et 3 800 m, et formations herbacées d'altitude dénommées ici « paramo » (*Stipa ichu*), entre 3 800 et 4 400 m. Par conséquent, l'accélération de l'érosion est notable, voire même localement alarmante. Cette situation est identique pour les zones voisines correspondant aux flancs extérieurs de la cordillère, quels que soient les paysages végétaux, tropicaux ou tempérés en fonction de l'altitude.

Sur la côte, les caractéristiques de la couverture végétale sont plus satisfaisantes pour la protection des sols. La seule exception correspond à une petite frange littorale couverte par une végétation xérophytique discontinue qui s'étend depuis Portoviejo jusqu'à Guayaquil. D'autre part, la pression de l'homme sur des sols susceptibles à l'érosion est moins forte. Les principales formations végétales sont les suivantes :

— les pâturages, naturels et artificiels, bien répartis sur l'ensemble de la région.

— l'arboriculture tropicale (cacao, café, banane, palmier à huile)

— la polyculture de subsistance : maïs, manioc, etc...

— la végétation naturelle arborée.

La région amazonienne présente la couverture végétale la plus dense, à cause d'une pluviosité annuelle élevée. Cependant, depuis une quinzaine d'années, les colons ont commencé à remplacer la forêt sempervirente par des cultures, en particulier de chaque côté des axes routiers qui conduisent aux puits de pétrole.

UN LOURD PASSÉ MORPHODYNAMIQUE ET DES RISQUES D'ÉROSION ÉLEVÉS

Sur la carte de la figure 1 relative aux principales zones de l'Equateur soumises à l'érosion, on note que la Sierra, en particulier le couloir interandin, est la région du pays la plus sévèrement affectée par ce phénomène (trame noire). D'autre part, l'ensemble des zones correspondant aux hautes terres et aux flancs extérieurs de la Sierra a été figurée (petits cercles) parce que c'est un milieu naturel en équilibre morphodynamique fragile, à hauts risques érosifs lorsque l'homme s'y installe (pointillés). Enfin, l'érosion, qui affecte les collines et les plateaux des régions côtière et

amazonienne, a également été considérée : elle est localement active et les risques qu'elle peut engendrer ne sont pas négligeables (lignes horizontales).

L'érosion active généralisée

Elle a été et continue à être très active dans la Sierra, en particulier dans le couloir interandin. Ce dernier, qui est à l'origine du dédoublement de la cordillère des Andes en 2 chaînes parallèles, est formé par une enfilade méridienne de bassins d'effondrement séparés par

des reliefs transversaux de type « horst ». Les altitudes s'étagent depuis 1 500 m jusqu'à 3 200 m. La situation érosive est déjà fort avancée : zones aux sols tronqués, peu épais et affleurements fréquents des roches mères. Par exemple, dans la partie nord et centre du couloir interandin, on observe en de nombreux endroits des étendues relativement conséquentes, de couleur brun-jaune, dues à une cendre volcanique indurée stérile en l'état pour l'agriculture, appelée localement « cangahua ».

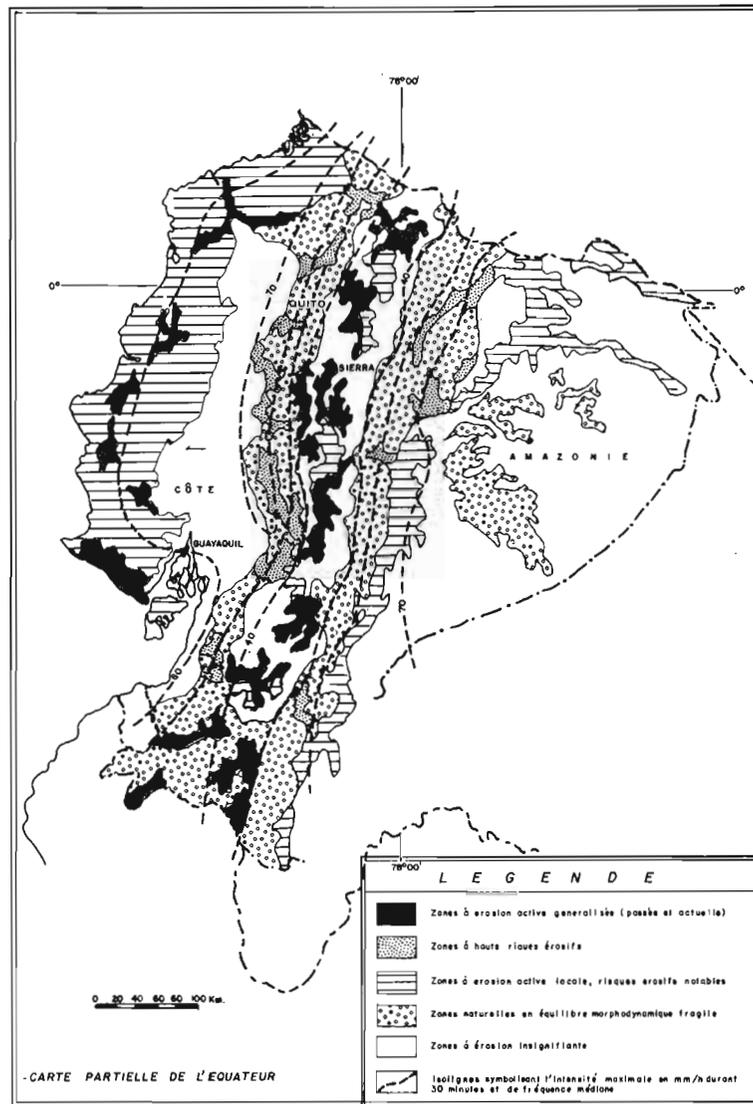


Fig.1. — Les principales zones de l'Equateur soumises à l'érosion.

En règle générale et pendant 9 mois de l'année, de mi-septembre à fin mai, les manifestations de dégradations des sols sont provoquées par l'érosion hydrique.

Cet état général d'érosion est la résultante des processus suivants :

— le ruissellement diffus et concentré. C'est le type

de processus le plus courant qui égrène ses méfaits tout au long du couloir interandin, à l'exception du bassin de Cuenca, quelle que soit l'origine géologique des sols. En règle générale, le ruissellement diffus est toujours associé au ruissellement concentré ; le premier étant relayé par le second lorsque la pente augmente et dans la mesure où la pluie persiste. Localement, on a observé les effets du ruissellement diffus sur des pentes qui varient de 10 % à 20 % : ses effets sont significatifs, par exemple, dans la province du Chimborazo où il provoque l'éclaircissement des sols volcaniques très noirs. Cependant les formes créées par le ruissellement concentré sont beaucoup plus visibles et spectaculaires. Il s'agit de ravines et de ravins profonds aux versants subverticaux, dont les profils transversaux dessinent un U ou un V en fonction de la cohésion et de la granulométrie du matériel. Ces formes linéaires, appelées localement « quebradillas » et « quebradas », sont généralisées sur les versants et elles évoluent en « bad-lands ».

— *le ruissellement associé à de petits mouvements de masse*. Ce type de processus est caractéristique des sols volcaniques qui présentent une discontinuité texturale à faible profondeur : horizons argileux de 60 à 80 cm d'épaisseur sur « cangahua » dure. Il se manifeste dans la partie septentrionale et centrale de la Sierra : provinces de Carchi, Pichincha et Chimborazo. Ses effets sont notables à partir de 15-20 % de pente et donnent lieu à la formation d'abrupts d'érosion de dénivellation métrique lorsqu'ils ont été repris par le ruissellement.

— *les mouvements de masse*. Ils sont essentiellement localisés dans la région de Cuenca, plus exactement au sud de celle-ci dans la zone de Cumbe. Sur des sols argileux non volcaniques, de couleur rose et rouge, développés sur reliefs collinaires, ils se manifestent par des loupes et des niches de solifluxion semi-circulaires, et des coups de cuiller. Localement, le ruissellement a fait évoluer ces formes en « bad-lands ».

En ce qui concerne le vent, ses manifestations érosives sont également notables. Cependant, son rôle est plus localisé dans le temps (de juin à août) et dans l'espace. L'érosion éolienne n'affecte, d'une manière significative, que la partie nord du bassin de Quito et la zone de Palmira, au sud du bassin de Riobamba. Les formes de déflation et d'accumulation observées sont classiques. C'est à Palmira que les manifestations éoliennes sont les plus remarquables. Aux petits « rebdous » et aux « nebkas métriques », s'associent des champs de « barkhanes » de 4 à 5 mètres de haut et de 10 à 20 mètres d'envergure. Les « yardangs » sont également bien développés et peuvent dépasser 2 m de hauteur.

Les risques érosifs

L'extension accélérée et incontrôlée de la frontière agricole vers des zones en équilibre morphodynamique

instable, déjà affectées ponctuellement par une érosion actuelle active à très active, laisse présager une accélération des processus de dégradation : hauts risques érosifs sur l'ensemble des hautes terres et des flancs extérieurs de la cordillère des Andes, risques érosifs moins élevés et plus localisés sur les bas reliefs côtiers et amazoniens.

Sur les hautes terres andines de l'Equateur (3 200-4 400 m) en conditions d'agriculture et d'élevage, l'érosion est alimentée soit par l'eau soit par le vent en fonction des conditions pluviométriques (G. DE NONI *et al.*, 1985). En milieu humide (> 1 500 mm par an), ce sont les processus hydriques qui prédominent. Les versants cultivés présentent de fortes déclivités (40-100 %, voire même localement plus de 100 %), et on observe presque toujours de l'érosion par ruissellement concentré en rigoles et en ravines. Les cultures sarclées, comme la fève et la pomme de terre, lorsque le billonnage est effectué selon les courbes de niveau, protègent plus efficacement le sol contre l'érosion que l'orge, l'avoine et le seigle qui sont semés à la volée sur une surface à plat. En conditions d'élevage, la dégradation des sols est provoquée par des processus de surpâturage dont le principal responsable est le cheptel ovin, le plus important en nombre de têtes. Le modelé de surface des versants est façonné, systématiquement, en gradins ou terrassettes décimétriques parallèles aux courbes de niveau, localement affectés par de petits glissements de terrain de quelques mètres carrés de surface. En milieu plus sec (< 1 500 mm/an), l'action du vent devient prépondérante : sols aux couleurs marbrées sous cultures, cuvettes et couloirs de déflation sur pâturage à végétation dégradée. Quelques zones, comme celle par exemple des hautes terres du Chimborazo, présentent une véritable morphologie de paysage désertique : regs avec « yardangs » et ergs à « barkhanes ».

Le milieu naturel forestier aux fortes pentes (> 70-100 %) des flancs extérieurs de la cordillère des Andes a, également, été touché par la mise en valeur agricole. Il s'agit soit de zones d'agriculture traditionnelle de part et d'autre des axes de communication, soit de zones en voie de colonisation. En conditions de cultures et d'élevage (l'activité du bois avec arboriculture sous ombrage étant plus protectrice) sur fortes pentes, les risques érosifs sont alors importants et les phénomènes se déclenchent rapidement : mouvements de masse sur sols argileux, ruissellement diffus et concentré sur sols sableux et limoneux, et mouvements de gravité sur les pentes les plus fortes. Les conséquences de ces manifestations sont non seulement dramatiques sur ces versants instables mais peuvent l'être, également, sur les régions basses bordières, Côte et Amazonie, en induisant des phénomènes d'inondations et de sédimentation.

Toute la moitié occidentale de la région côtière, formée par des reliefs collinaires et tabulaires, présente une situation érosive potentielle à ne pas négliger. Localement, les effets de l'érosion peuvent être aussi sévères que dans la partie montagneuse du pays. Ils se manifestent par des mouvements en masse qui affectent essentiellement les provinces de Manabi et Esmeraldas. Jusqu'à 40 % de pente et sur les collines argileuses, en conditions d'élevage, les formes d'érosion prédominantes sont dues à des coups de cuiller, glissements en planches et loupes de solifluxion. Entre 40 % et 70-100 %, sur grandes collines et sur les rebords de reliefs tabulaires, ces formes ont tendance à s'exagérer et à être associées à des processus de gravité. Sous cultures (maïs, coton), on peut observer, également, les manifestations du ruissellement concentré : c'est le cas des zones de Pedro Carbo et de Tosagua-Rocafuerte qui se caractérisent par une faible pluviométrie annuelle (< 500 mm) et un fort IM 30 de l'ordre de 60 mm/h. Après défrichement et quelques mois de pâturage, l'évolution générale de l'utilisation actuelle de la terre se fait vers ces types de cultures, peu protectrices des sols. L'autre moitié orientale de la région côtière est occupée par des plaines et vallées alluviales. Bien que l'érosion sur place y soit nulle, elles sont sensibles aux variations de l'équilibre morphodynamique de leurs bassins hydrographiques en amont, situés sur les contreforts externes de la cordillère des Andes.

La région amazonienne, qui représente près de la moitié de l'Equateur avec seulement 3 % de la population, est a priori une zone de faible risque érosif bien que les conditions climatiques soient fortement agressives (total pluviométrique annuel supérieur à 2 000 mm, atteignant 7 000 mm au pied de la cordillère, avec des IM 30 dépassant 70 mm/h). Dans ce milieu, perhumide, la pluie est l'unique facteur créateur de l'érosion.

On peut subdiviser la région en trois sous-régions définies par leur paysage (relief, pente, etc.) :

— le premier correspond aux zones de marais ou d'épannage alluviaux où la topographie plane limite considérablement l'érosion ;

— le second correspond au paysage de colline en demi-organe où les pentes sont faibles à modérées 12-40 %. La faible perméabilité des sols favorise le ruissellement diffus puis concentré ;

— le troisième, enfin, correspond au paysage de « mesa » constitué par d'étroits plateaux en forme de lanières séparés par de profonds talwegs où les versants rectilignes surmontés par une corniche dépassent 70-100 % de pente. Même sous végétation naturelle, on peut dans cette zone de plateau reconnaître d'anciennes zones de glissement en masse.

L'Amazonie enfin était jusqu'à une époque récente recouverte par une forêt dense partiellement interrompue par quelques abattis ouverts par les groupes indigènes. Depuis 1967, date de l'ouverture des routes pétrolières, s'est développé un processus de colonisation

mal contrôlé dont la principale conséquence a été une occupation des sols à raison de 50 ha par famille, ou par adjudication de 2 blocs de 10 000 ha pour la culture du palmier à huile.

Bien que l'érosion y soit actuellement réduite, des signes montrent qu'elle a tendance à s'accroître : fortes charges solides dans les rivières dont les bassins-versants sont déjà fortement occupés, crues et décrues des rivières plus rapides et plus intenses, apparitions de zones dégradées sans herbe au sein des pâturages, début de phénomènes de glissement. Les plantations industrielles, quant à elles, montrent de forts phénomènes d'érosion durant les 6 premiers mois de mise en place des plantations, parce que le sol est mal protégé par la plante de couverture. Plus tard, l'érosion se limite aux zones non couvertes : routes, pistes, zones habitées et de production d'huile.

Pour conclure, insistons sur le fait que l'aspect le plus inquiétant de dégradation du milieu est dû à une baisse de la fertilité des sols et également du degré de couverture végétale, ce qui induit déjà une accélération notable de l'érosion.

RELATIONS CAUSALES ENTRE CERTAINS FAITS HISTORIQUES ET L'INSUFFISANCE DES MÉTHODES DE CONSERVATION

L'inadaptation actuelle de l'homme à son milieu

Si de la part des autorités, il existe une volonté réelle et récente d'assurer une production soutenue tout en maintenant le capital de production du sol, il n'en est pas de même du cultivateur. Ce dernier a un souci très faible pour ne pas dire nul de protéger et de conserver ses terres contre l'érosion. Il accuse volontiers les générations passées, une année exceptionnellement pluvieuse, la fatalité, ... des dégâts ou accidents passés et actuels qui affectent ses sols ; il ignore que sa façon de travailler peut avoir un rôle important. Le cultivateur ne sait en général pas s'adapter aux nouvelles méthodes de cultures. Cela est particulièrement évident lors de l'introduction du tracteur : on voit alors des groupes humains abandonner des techniques culturales correspondant à une bonne utilisation du milieu pour adopter des techniques dont le rôle le plus visible est de favoriser l'érosion. Parmi celles-ci on soulignera : le labour selon la pente et la suppression des talus, des terrasses, et des fossés de dérivation des eaux.

Il n'y a pas de direction définie pour le sens de labour : il peut s'effectuer perpendiculairement ou parallèlement à la pente. Le labour réalisé par traction animale est toujours fait parallèlement aux courbes de niveau. Le labour motorisé s'effectue parallèlement à ces dernières jusqu'à des pentes maximales de 25 à

30 %. Au-delà de cette limite et jusqu'à 60 % de pente il se fait dans le sens de celle-ci.

Les talus constitués de pierres ou de blocs de « cangahua » séparant des terrasses peuvent localement être observés dans toute la Sierra. De nos jours, ces talus-terrasses sont en cours d'abandon. A Pimampiro (province d'Imbabura), les anciens talus de pierres empilées précolombiens sont volontairement abattus pour laisser la place à de grandes parcelles moto-mécanisables. Il ne subsiste plus que les étroites terrasses qui se trouvent sur des pentes supérieures à 70-100 %. A proximité de Zhud (province de Cañar) dans une zone de colonisation récente et de moyenne propriété apparaissent sous le « chaparral » (formation arbustive dense) en cours de défrichement, de larges terrasses au profil concave séparées par des talus empierrés, en pente de 50-80 %, qui constituent les vestiges d'une ancienne civilisation Cañari. Interrogés, les cultivateurs nous ont expliqué qu'ils cherchaient à détruire ces talus afin d'agrandir la taille des champs. A Punin et Flores (province du Chimborazo) il existe dans des conditions de pente moyenne et à une altitude bien définie de véritables terrasses séparées par des talus de plusieurs mètres constitués de blocs de « cangahua ». Ces talus sont localement refaits et surélevés, mais d'une façon générale ils ne sont plus entretenus. Au-dessus de cette zone qui correspond à des extensions agricoles récentes dans les mêmes conditions de pente, les terrasses et talus n'ont pas été reconstitués... des parcelles ont déjà dû être abandonnées du fait de l'abondance des ravines. En dessous de cette zone sur des pentes moindres et non aménagées en terrasses, le sol disparaît au profit de la « cangahua ». Au sud de cette zone entre Colta et Chunchi les talus ne sont plus que des limites de champs. Parfois, lorsqu'ils sont bien parallèles aux courbes de niveau ils délimitent des « pseudo-terrasses » excessivement larges et pentues, inadaptées aux conditions du milieu. A Ingapirca (province de Cañar) dans une ancienne zone d'influence incaïque, certains chemins principaux sont bordés d'énormes tas de cailloux, bien empilés, qui auraient pu, judicieusement entassés selon les courbes de niveau, constituer de magnifiques cordons de pierres (gabions).

Les fossés de dérivation des eaux constituent une pratique classique dans les zones humides de montagne. Ils sont fabriqués de façon empirique lorsqu'apparaissent dans une parcelle des ravines d'érosion. Il s'agit de longs fossés rectilignes d'une quarantaine de centimètres de profondeur dont la pente est souvent forte (20 à 25 %). Leur rôle est de collecter l'écoulement superficiel diffus avant qu'il ne se concentre et de l'évacuer dans le fossé d'évacuation principal qui utilise le tracé d'un axe de drainage. Malgré leurs imperfections (pentes et longueurs excessives) ces fossés de dérivation

permettent de limiter le développement des griffes d'érosion. Ils sont une gêne pour la circulation des engins agricoles et sont progressivement abandonnés par les cultivateurs. Localement, ils sont remplacés par quelques fossés peu profonds, rapidement faits à la charrue, lorsque le besoin est manifeste.

Le souci de préserver les sols n'est pas mieux perçu par le colon récent. Sur les flancs externes de la cordillère dans des secteurs à hauts risques érosifs (pentes et climat), on peut observer entre Loja et Machala des zones où les cultures vivrières se font sur des pentes fortes (40-60 %). Ces cultures associent le riz pluvial et des lignes de maïs dont l'efficacité en matière de protection est dérisoire. Entre 40 et 60 % de pente, le pâturage est mieux adapté à la topographie ; au-delà, il présente également de hauts risques érosifs.

Pour lutter contre l'enlèvement des particules de sol par le vent, le cultivateur a coutume de planter des haies de « Sigsés » (robuste graminée vivace) dans la région de Palmira ou des barrières d'eucalyptus dans celle de Guayllabamba. On s'aperçoit que ces méthodes sont inefficaces parce que ces barrières de végétation sont alignées généralement dans le sens du vent dominant.

L'agriculteur équatorien avait acquis une tradition agricole conservatrice des sols. Il semble l'avoir aujourd'hui oubliée et il s'est transformé par ses pratiques en l'un des facteurs conditionnant l'érosion les plus actifs. Son inadaptation au milieu agricole est manifeste : par exemple, dans les zones où subsistent des vestiges de terrasses, les surfaces de celles-ci ont été considérablement élargies par destruction des talus intermédiaires ; ceux qui sont conservés sont utilisés comme limites de propriété et n'ont plus de fonction antiérosive.

L'oubli des traditions agricoles ancestrales

En Equateur, pays agricole, on observe une inadaptation actuelle de l'agriculteur à son milieu. La tradition précoloniale d'une agriculture mieux adaptée aux conditions montagneuses n'a pas été perpétuée. On peut penser en premier lieu que la conquête espagnole puis, plus récemment, la réforme agraire ont contribué à effacer de la mémoire de l'agriculteur les traditions agricoles ancestrales. D'autre part, elles ont provoqué un déplacement des agriculteurs vers des zones caractérisées par leur fragilité morphodynamique et pour lesquelles ils n'ont pas d'expérience. En outre, le formidable « boom » démographique entre la fin du XIX^e siècle et la première moitié du XX^e siècle a, également, contribué à amplifier les effets de ce processus migratoire du paysannat équatorien, massif actuellement.

LES GRANDS TRAITS DE L'AGRICULTURE PRÉCOLONIALE

Durant les 2 000 ans qui précèdent la conquête espagnole, l'agriculture connaît un développement spectaculaire. La partie andine du pays constitue le lieu privilégié de cette évolution parce que les conditions climatiques du milieu y sont moins difficiles que dans les deux régions tropicales bordières, et en outre parce que la montagne offre de nombreux sites de défense. Ce développement agricole s'est caractérisé par l'augmentation et la diversification des productions ainsi que par l'utilisation de pratiques culturelles adaptées aux fortes pentes.

Les groupes humains de l'époque ont su profiter de la gamme étendue des microclimats du couloir interandin (bassins et longs versants internes) qui se succèdent sur de courtes distances. L'historien U. OBEREM (1981) a qualifié cette mise en valeur agricole de l'espace de « microverticalité » parce que chaque étage écologique est utilisé pour une activité agricole particulière : étages du maïs entre 2 000 et 3 000 m, et de la pomme de terre au-dessus de 3 200 m. Dans son analyse historique, U. OBEREM fait référence, parmi d'autres exemples, au village de Tisaleo situé dans la province du Tungurahua dans les termes suivants : « ... ce village... situé sur une terre froide où se cultivent bien la pomme de terre... en remplacement du maïs ; quant à ce dernier il a été semé plus bas dans la vallée de Guache, distante d'une lieue, où il y a également des cultures maraîchères... » En règle générale, l'agriculture est présente dans les 3 grands étages écologiques : chaud, tempéré et froid.

Cependant, l'intensification de l'impact de l'homme sur le milieu entre des altitudes extrêmes s'est accompagnée, également, d'une utilisation relativement satisfaisante des sols, considérant bien entendu par ailleurs que la pression agricole sur la terre était beaucoup moins forte que de nos jours. Nombreux sont les chroniqueurs des premières années de l'époque coloniale qui qualifient l'agriculture de florissante et protectrice. Ils ne mentionnent pas de problèmes relatifs à l'érosion, par contre ils font fréquemment l'éloge des pratiques agricoles liées à l'utilisation d'engrais organiques (excréments humains, de lamas et le guano) et aux rotations entre cultures. R.A. DONKIN (1979) dans son livre sur l'agriculture préhispanique mentionne la description suivante du chroniqueur CIEZA DE LEON (1518-1560) : « ... la taille du maïs à la récolte dépend de l'utilisation de guano, transporté dans la Sierra à dos de lamas, et où on utilise également des excréments humains séchés et pulvérisés. » Ce même auteur indique, également, que dans l'étage froid des tubercules on cultive d'abord la pomme de terre, associée localement à la oca (*Oxalis tuberosa*), à l'ullucu (*Ullucus tuberosus*) et à la ñu

(*Tropaeolum tuberosum*). Puis, ces cultures sont remplacées par la quinoa (*Chenopodium quinoa*) et la cañahua (*Chenopodium pallidicaule*). Par la suite, on laisse le sol en jachère durant 3 à 8 ans. Le travail du sol, grossièrement désherbé, est minimum et se réalise sans traction animale. Le seul outil est la « *chaqui-tacla* » qui est un long bâton incurvé qui sert à la fois pour semer et récolter. Enfin, on peut signaler la construction de terrasses agricoles qui permettaient le contrôle de l'eau sur les versants. Ces dernières, fréquemment associées à des systèmes d'irrigation, constituent les vestiges d'une histoire passée dont ne fait plus cas l'agriculture actuelle. Dans la partie septentrionale du couloir interandin, P. GONDARD et F. LOPEZ (1983) ont reconnu 47 sites de terrasses anciennes. Elles sont présentes, également, dans le centre et le sud de la Sierra, en particulier dans la province du Chimborazo (Colta, Punin-Flores, Alausi) et dans la haute vallée du Rio Jubones.

LES PRINCIPALES CAUSES HISTORIQUES DE L'OUBLI

Cet aspect fondamental de l'évolution du paysannat équatorien s'explique, sans nul doute, en ayant recours à une analyse historique fort complexe. On se limitera dans ce travail à souligner et à rappeler, brièvement, les effets cumulés dans le temps de 3 périodes clés de l'histoire du pays : la conquête espagnole, la réforme agraire et le « boom » démographique de la première moitié de ce siècle. Elles ont contribué à la destruction du système agricole collectif et vertical des sociétés précoloniales, en imposant un système inverse basé sur la propriété privée et localisé dans le cadre d'un même étage écologique.

En premier lieu, les conséquences de la conquête espagnole ont été rapidement dramatiques. Les chroniqueurs de l'époque s'accordent pour noter une baisse généralisée de la population indigène (conditions de vie très dures, épidémies venues d'Europe). Par exemple, J.P. DELER (1981) note que le nombre des personnes soumises au tribut par l'Espagnol dans les villes de Quito, Cuenca, Loja, Zamora et Quijos passe de 82 383 en 1557-1561 à 31 035 en 1591-1608. D'autre part, les Espagnols développent un processus de regroupement des indigènes en un même lieu, par le système de « l'enco-mienda » et qui donnera naissance plus tard à « l'hacienda » : il s'agit d'assujettir, en les regroupant, une population ennemie ce qui permet, également, de disposer d'une main-d'œuvre consécutive et gratuite. Enfin, les « conquistadors » importent et imposent leur agriculture. Ils introduisent de nouvelles cultures : les céréales (blé, orge, avoine), l'arboriculture (pommes, pêches, abricots et citrons) et les cultures maraîchères (choux-fleurs, carottes, petits pois, salades). Ils développent l'élevage d'animaux inconnus jusqu'alors dans les Andes (chevaux, bovins et porcins, moutons) et

l'utilisation de la traction animale pour les labours des champs. Par conséquent, « le choc socio-agricole » est entamé et ses conséquences, déjà très profondes, seront pour toujours irréversibles. Quelques indigènes échapperont au joug hispanique en fuyant vers les hautes terres et les flancs extérieurs de la cordillère des Andes.

La réforme agraire, il y a une vingtaine d'années, n'a pas permis le redressement de cette situation. Bien au contraire, elle a contribué à la perpétuer. En 1954, les « haciendas » de plus de 100 ha, héritées du système de « l'encomienda », représentaient moins de 2 % des exploitations agricoles et étaient propriétaires de plus de 60 % des terres (F. VELASCO, 1983). Elles utilisaient une main-d'œuvre servile importante, le « huasipunguero », qui contre 4 à 6 jours de travail par semaine pour « l'hacienda » avait le droit de cultiver un petit lopin de terre. Le 11 juillet 1964, le gouvernement militaire expédie la loi de la réforme agraire qui abolit les relations de dépendance entre « huasipungueros » et patrons « d'haciendas » et qui oblige ces derniers à céder une partie de leurs domaines aux « ex-huasipungueros ». Dans la pratique, les résultats sont extrêmement décevants. L'octroi des titres de propriétés correspond, en général, aux zones marginalisées des haciendas : climat froid ou trop humide des hautes terres et des premiers contreforts des flancs extérieurs de la cordillère, topographie d'ensemble aux fortes pentes. Une nouvelle fois, le paysan se trouve seul face aux adversités et isolé dans un seul étage écologique aux conditions naturelles difficiles. Dans son analyse du petit paysanat de la Sierra, R. SANTANA (1983) relate l'exemple de la région de Cangahua, au nord de Quito. La réforme agraire entérine l'accession à la propriété à des « ex-huasipungueros » sur des terres à fortes pentes, situées entre 3 600 et 3 800 mètres. En outre, l'exiguïté des terres octroyées se révèle, rapidement, un facteur limitant de premier ordre pour la reproduction de la famille. Le paysan est obligé d'utiliser très intensivement le sol, dans un milieu en équilibre morphodynamique fragile, et néglige par exemple les temps de rotation. La conséquence directe est l'accélération de l'érosion : en 25 ans environ, la presque totalité de la couche arable avait disparu.

Aux effets de la conquête espagnole et de la réforme agraire, se conjuguent également ceux du « boom » démographique de la première moitié du XX^e siècle. Il provoque la redistribution accélérée et incontrôlée d'une population paysanne vers des zones caractérisées par leur fragilité morphodynamique, sans expérience en matière de conservation des sols et de protection générale de l'environnement. En 1586, la population totale du pays est d'environ 150 000 habitants (J. ESTRADA YCAZA,

1977). En un siècle, entre 1780 et 1886, elle double et passe de 500 000 à 1 000 000 d'habitants. En 50 ans, de 1886 à 1941, le « boom » démographique la fait tripler et atteindre les 3 000 000 d'habitants. Ce dernier est dû, en général, aux améliorations de la qualité de la vie, et en particulier à une baisse plus rapide de la mortalité que de la fécondité. Au cours des siècles, se dessine progressivement la redistribution de la population sur le territoire : jusqu'en 1780, la Sierra est 10 fois plus peuplée que la Côte ; entre 1886 et 1941, la population de la Sierra n'est plus que le double de celle de la côte. En 1974, la population de la côte dépasse celle de la Sierra. Cette évolution est moins caractéristique du côté amazonien et n'a commencé que tardivement avec l'ouverture des routes pour l'exploitation pétrolière.

PRISE DE CONSCIENCE RÉCENTE DE LA NÉCESSITÉ DE CONSERVER LES SOLS

Cette prise de conscience existe depuis moins de 10 ans : elle a été impulsée, en grande partie, par les organismes internationaux qui ont remis à la mode la notion de conservation de l'environnement et en particulier des sols ; mais aussi par le fait que l'Equateur a réalisé un gros effort pour mieux connaître l'état de ses ressources naturelles renouvelables, et par voie de conséquences les phénomènes de dégradation qui les affectent. Cette notion a connu un grand succès en Equateur, de telle façon qu'actuellement la grande majorité des projets de développement agricole est fondée sur une utilisation à la fois productive et conservatrice des sols. Parmi les interventions menées dans ce domaine en Equateur, on peut mettre l'accent sur les 2 principaux types de stratégies suivants : l'un se base sur une recherche préliminaire des mécanismes érosifs et des méthodes de conservation les mieux appropriées au milieu andin montagneux, puis passe aux travaux de réalisation et de sensibilisation sur le terrain ; quant à l'autre, il consiste à entreprendre directement des actions conservatrices sur le terrain, en adaptant progressivement et de manière plus ou moins empirique les expériences acquises dans d'autres pays.

L'institut National d'Investigations agricoles (INIAP) et l'ORSTOM utilisent le premier type de stratégie. L'INIAP, qui est en Equateur l'équivalent de l'INRA en France, constitue le principal organisme équatorien de recherches agronomiques. A partir de 1979, un groupe restreint de chercheurs s'est intéressé à l'installation et à l'observation conventionnelle de parcelles d'érosion du type Wischmeier. Actuellement, l'équipe est composée de 5 personnes à temps plein et le financement est assuré à 50 % par l'Université américaine

de Floride. Rapidement, le programme s'est étoffé en fonction des 3 axes principaux suivants :

- Etude expérimentale du ruissellement et de l'érosion selon différents types de cultures et de pratiques agricoles .
- Etude appliquée de quelques recommandations conservatrices des sols à l'aide de parcelle simplifiées, installées chez les agriculteurs .
- Etude pratique en « semi-vraie grandeur » à l'échelle de microbassins de 1 000 à 2 000 ha, pour une mise en valeur intégrale et conservatrice du milieu.

L'INIAP attache une importance notable à la formation des techniciens et à la divulgation des résultats auprès des agriculteurs.

Depuis 3 ans environ, l'ORSTOM travaille en coopération sur ce thème avec le ministère équatorien de l'Agriculture et de l'Elevage et son département des sols qui est rattaché à la Direction Nationale Agricole. Les principales fonctions de ce département sont : conservation, récupération et maintien de la fertilité des sols. L'objectif général consiste à contrôler l'érosion dans quelques zones représentatives appelées projets pilotes, grâce à la formulation de pratiques culturales conservatrices adaptées au milieu rural équatorien ; cela devrait permettre aussi la formation du personnel affecté à ce projet et la sensibilisation de la population paysanne à la lutte antiérosive. Chaque projet pilote est le siège d'une station expérimentale composée de 4 parcelles : 2 parcelles témoins de 100 m² (une parcelle nue standard de « type Wischmeier » et une autre avec cultures et pratiques agricoles traditionnelles), et 2 parcelles complémentaires de 1 000 m² sur lesquelles sont testées les méthodes de conservation du sol. Parallèlement, des enquêtes socio-économiques sont menées auprès des paysans pour détecter parmi les pratiques agricoles actuelles d'éventuelles méthodes de conservation : ce sont elles qui sont, en premier lieu, expérimentées sur les parcelles. Ce type de station constitue un excellent outil de travail pour former le personnel et organiser des journées de terrain avec les agriculteurs.

Dans un cas comme dans l'autre, on remarque que les actions sont menées après des études de base sur les conditions locales du milieu, et que leur efficacité est d'abord vérifiée expérimentalement.

En ce qui concerne le second type de stratégie, on peut l'illustrer en prenant comme exemple les interventions développées par la Coopérative Américaine de Distribution à l'Etranger (CARE) et le sous-secrétariat de développement rural intégral (SEDRI).

CARE travaille, également, en coopération avec la Direction Nationale Agricole du ministère équatorien de l'Agriculture et de l'Elevage. C'est une organisation privée internationale qui intervient, de manière préférentielle, dans le cadre du petit paysannat. L'objectif général du programme est d'améliorer le niveau de la production et le niveau de vie des agriculteurs par le biais de la conservation des sols, sur 2 500 ha répartis entre les provinces serréniennes de Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo et Loja. Les pratiques conventionnelles de conservation des sols (cultures en bandes alternées, canaux de drainage et de nombreuses terrasses en blocs de « cangahua ») sont directement mises en œuvre chez l'agriculteur sans expérimentation préalable, et sans considérer qu'il puisse, peut-être, exister d'autres pratiques mieux adaptées à la montagne andine.

Le SEDRI, qui est sous-secrétariat d'Etat dans le cadre du ministère du « Bien-être Social », œuvre avec le même souci d'application directe sur le terrain mais son impact est plus général. Il a pour vocation de coordonner les travaux des institutions publiques ou privées dans le domaine rural en associant étroitement le paysan aux réalisations. Il se charge de pourvoir à l'assistance technique et de trouver les sources de financement. En règle générale, le SEDRI démontre une volonté évidente de protéger le milieu et de persuader le cultivateur du bien-fondé de la lutte antiérosive.

Bien que la prise de conscience récente de lutter contre l'érosion ait engendré de nombreuses interventions dans ce domaine, le travail ne fait que commencer si l'on considère que la conservation des sols en montagne est une science encore mal connue et que l'enseigner à l'agriculteur constitue une tâche de longue haleine. D'autre part, l'enthousiasme actuel a donné lieu à une multiplication d'actions, généralement isolées et parfois trop superficielles, qui pourrait laisser craindre, à court terme, une détérioration des relations entre le spécialiste en conservation et l'agriculteur.

BIBLIOGRAPHIE

- ALMEIDA (G.), DE NONI (G.) *et al.*, 1984. — Los principales procesos erosivos en el Ecuador, MAG-ORSTOM, Quito, 30 p.
- DELER (J.P.), 1981. — Génèse de l'espace équatorien. Essai sur le territoire et la formation de l'État national, IFEA, Paris, 274 p.

- DE NONI (G.), VIENNOT (M.), 1985. — Estudio de algunos procesos de erosión en la Sierra volcánica alta del Ecuador (3 200-4 800 m). IX Congrès Latino-américain de la Science du Sol, Cali.
- DE NONI (G.), TRUJILLO (G.), NOUVELOT (J.F.) 1986. — Estudio cuantitativo de la erosión con fines de protec-

- ción de los suelos : las parcelas de Alangasí e Ilalo, « Documentos de Investigación » N° 6, CEDIG-ORSTOM, Quito. p.35-47.
- DONKIN (R.A.), 1979. — Agricultural terracing in the aboriginal new work, Viking Fund publications in Anthropology, 56, Tucson Arizona, 196 p.
- ESTRADA YCAZA (J.), 1977. — Regionalismo y migración. Publicaciones del Archivo histórico del Guayas, Guayaquil, 296 p.
- GONDARD (P.), LOPEZ (F.), 1983. — Inventario arqueológico preliminar de los Andes Septentrionales del Ecuador, PRONAREG-ORSTOM con el auspicio del Museo del Banco Central del Ecuador, Quito, 274 p.
- OBEREM (U.), 1981. — El acceso a recursos naturales de diferentes ecología en la Sierra ecuatoriana (siglo XVI). Col. Pendoneros, Quito, 406 p.
- SANTANA (R.), 1983. — Campesinado indígena y el desafío de la modernidad, CAAP, Quito, 209 p.
- VELASCO (F.), 1983. — Reforma agraria y movimiento campesino indígena de la Sierra, Ed. El Conejo, Quito, 135 p.

Téledétection spatiale et Erosion des sols

Etude bibliographique

Michel DUBUCQ

Laboratoire de Pédologie et de Géochimie, Université Paul Sabatier, 38, rue des 36 Ponts, 31062 Toulouse Cedex, France

RÉSUMÉ

Les publications sur le thème de la télédétection spatiale appliquée à l'étude de l'érosion des sols sont relativement récentes, puisque les premières remontent aux années 1973-1974. L'étude bibliographique présentée ici, qui ne prétend pas à une exhaustivité totale, vise à établir un inventaire des différents travaux, des méthodologies et des résultats obtenus.

Trois préoccupations majeures apparaissent :

- la cartographie des zones dégradées : cartographie de l'érosion à petite échelle et carte F.A.O. au 1/5 000 000 ;*
- la quantification de l'érosion : modèles d'érosion des sols et modèles hydrologiques ;*
- le suivi de l'érosion : analyses multitemporelles fondées sur des variations de luminance ou d'albédo. Toutes les publications examinées, sauf deux, ont pour objet l'étude de l'érosion des sols dans un domaine spectral allant du visible au proche infrarouge.*

L'analyse des résultats obtenus et des expérimentations met en valeur les possibilités offertes par la télédétection spatiale de même que ses limites. Les nouveaux capteurs nous permettent d'envisager une nouvelle approche des milieux dégradés et d'obtenir de précieuses informations complémentaires à la planification agricole.

MOTS-CLÉS : Etude bibliographique — Erosion — Télédétection spatiale — Visible — Infrarouge — Landsat — Spot.

ABSTRACT

SPACEBORNE REMOTE SENSING AND SOIL EROSION. BIBLIOGRAPHIC STUDY

Publications on spaceborne remote sensing applied to soil erosion are relatively recent as the first one has been written in 1973-1974. This bibliographic study, which is not exhaustive, aims to compile the different approaches, the methodologies and the results. Three major preoccupations appear : the cartography of the degraded zones (erosion cartography at small scale, F.A.O. map at 1/5 000 000), the erosion quantification (soil erosion model and hydrographic model), follow-up erosion (multidate analysis based on the luminance or albedo variation). All the publications found, except two, concern the study of erosion in the visible and near infrared spectral band. The analysis of the results of the experimentations shows possibilities offered by spaceborne remote sensing and its limits. The use of new captors allows a new approach of the land degradation and new informations fuller to agricultural planning can be obtained this way.

KEY WORDS : Bibliographic review — Erosion — remote sensing — Visible — Infrared — Landsat — Spot.

INTRODUCTION

En pédologie, l'emploi des photographies aériennes remonte aux années d'après-guerre. Actuellement, il est rare d'effectuer des levés pédologiques, de dresser des inventaires de zones dégradées sans consulter les photographies aériennes (3,4,72). De nouvelles possibilités nous sont offertes avec la télédétection spatiale. Son usage commence à se développer tant dans les régions arides, où les processus de dégradation sont bien connus, que dans les zones tempérées où l'érosion est beaucoup plus insidieuse mais commence à prendre des proportions inquiétantes sous l'effet de pratiques culturales ayant plus pour but le rendement immédiat que la pérennité des terres cultivables (21).

Les manifestations de l'érosion hydrique (érosion en nappe, érosion en griffes, ravinements et dépôts) et de l'érosion éolienne (zones de déflation, accumulation sableuse, etc.) sont généralement bien décelées sur les photographies aériennes à partir du 1/50 000.

Les études traitant d'érosion des sols par télédétection spatiale vont s'appuyer soit sur l'interprétation visuelle des images satellites, soit sur des traitements numériques. Dans le visible et le proche infrarouge, les informations obtenues ne concernant que la surface du sol, il est nécessaire que celui-ci soit nu, à moins que d'autres éléments de la scène permettent de l'identifier indirectement (réseau hydrographique, végétation, parcellaire). Il convient de souligner que la notion d'échelle perd un peu de sa signification : en effet, quel que soit le traitement choisi, l'unité d'information de base (le pixel) a toujours la même dimension et le même contenu.

Les différentes utilisations de l'imagerie satellite

concernant l'érosion des sols mettent en évidence trois préoccupations majeures : *la cartographie, la quantification et le suivi des zones érodées*. Avant d'exposer les différentes utilisations des données satellites il convient de présenter les problèmes liés à l'utilisation de l'imagerie spatiale.

LES DONNÉES SATELLITAIRES — MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE D'UTILISATION EN PÉDOLOGIE

Les données

LES SATELLITES D'OBSERVATION DE LA TERRE

Les satellites d'observation de la Terre, Landsat et Spot, sont des satellites héliosynchrones à orbite basse. Ils permettent :

- la couverture globale de la terre ;
- l'observation cyclique d'un lieu donné à la même heure solaire.

LES CAPTEURS

Les capteurs enregistrent des luminances provenant de la surface de la terre. Ces données dépendent non seulement des caractéristiques de la surface réfléchissante, mais aussi des facteurs atmosphériques et de la géométrie du système « Soleil — Cible — Capteur ». On pourrait en principe utiliser l'ensemble du spectre électromagnétique, mais en raison de l'état actuel de la technique, et du rôle joué par l'atmosphère, seules quelques « fenêtres » sont utilisées. Ce sont (fig.1) le visible (0.4 — 0.75 μm), le proche infrarouge (0.75 — 1.1 μm), l'infrarouge thermique (3 à 5 et 8 à 14 μm), les ondes radars (supérieures au millimètre).

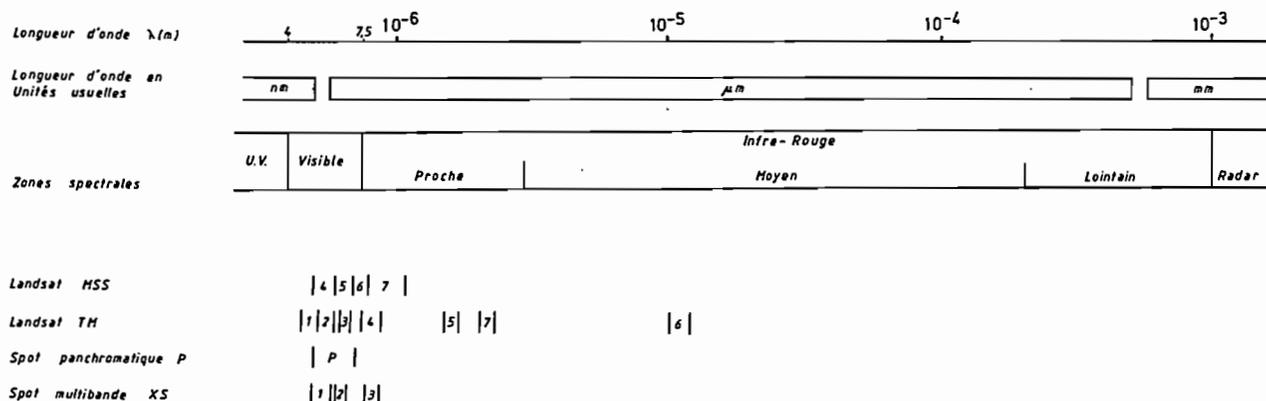


Fig.1. — Les ondes électromagnétiques et les principaux scanners.

Le pouvoir de résolution de ces capteurs, ou leur aptitude à rendre distincts deux points voisins, n'était pas excellent (fig.2) mais de gros progrès ont été réalisés avec l'apparition des scanners TM et HRV.

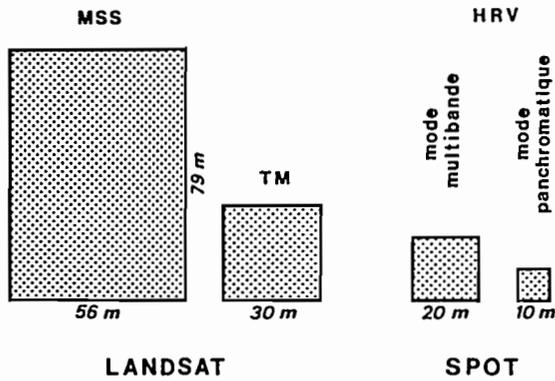


Fig.2. — Dimensions correspondant à une tache élémentaire pour les capteurs de Landsat et de Spot. Chaque tache est représentée par un élément d'image appelé pixel. (in *L'Information géographique* 1985, volume 49, 1 - pp.17-25).

LES DONNÉES

Les produits Landsat MSS se présentent soit sous forme de bandes magnétiques numériques (CCT 1600 bpi 4 canaux corrigés) soit sous forme de tirages papiers au 1/1 000 000 et 1/500 000, soit sous forme de composition colorée ; des bandes magnétiques 7 canaux (6 250 bpi) constituent les données numériques de Landsat TM ; les données Spot sont fournies de manière standard soit sous forme de visualisation sur film photographique à l'échelle de 1/400 000, soit sous celle de bandes magnétiques.

Méthodologie générale d'utilisation en pédologie

L'interprétation de l'imagerie spatiale en pédologie se heurte aux mêmes problèmes que ceux rencontrés avec les photographies aériennes. L'image obtenue est le résultat de l'énergie réfléchie sur les différents objets à la surface du sol et captée par le satellite. Cette surface est recouverte bien souvent par la végétation spontanée ou les cultures. En outre, même si la surface du sol est nue, des sols différents peuvent avoir des luminances identiques. A l'inverse, des sols identiques peuvent avoir des luminances différentes (54). Les quantités d'énergie réfléchies ou émises (thermiques) dépendent, d'une part des conditions d'éclairage, d'autre part de l'état de surface du sol, enfin de son environnement. De ce fait, un sol donné peut avoir dans le temps *plusieurs signatures spectrales*. Il ne faut donc pas perdre de vue que toute donnée de téledétection est un instantané qui ne fournit d'informations que sur les objets

existants au moment de la saisie. Donc, à chaque date de prise de données correspondra une nomenclature dépendant des cycles naturels et des façons culturales.

L'extraction de l'information « aspect de l'érosion », à partir des données satellite, pourra être directe ou le plus souvent indirecte, comme pour les photographies aériennes (62). Dans le premier cas l'analyse des images de sols nus ou peu couverts par la végétation permettra de caractériser la surface des sols. Cette analyse sera possible si des rapports étroits existent entre les données de téledétection, les caractères de la surface du sol et l'érosion. Nous savons que les effets apparents de l'érosion se manifestent en premier lieu à la surface des sols et que de telles relations existent. Les caractères considérés pourront être permanents (teneur en calcaire par exemple) ou transitoires (rugosité). On raisonnera en terme de présence ou d'absence d'un paramètre considéré.

D'autres formes de dégradations sont, pour la plupart, invisibles mais pourront dans certains cas être déduites grâce à des « indicateurs ». C'est l'extraction indirecte. Ces indicateurs seront :

- la végétation, dans le cas où elle est fortement influencée par les facteurs édaphiques ; les problèmes de stress de la végétation ont déjà été utilisés en photographie aérienne (72,82) ;
- les structures spatiales (et spatio-temporelles) telles que :

- * les aménagements humains : type de parcellaire, façons culturales, état des cultures et labours (21,49) ;
- * les *structurations caractéristiques liées au type d'érosion* soulignées par la couleur, les ombres, et les formes de l'érosion hydrique (52,68) ; les stries et alignements associés à l'érosion éolienne (38,46,55) ;
- * les évolutions saisonnières des états d'humidité (41), de salure etc.

L'exploitation des données

Il est possible d'exploiter les données satellitaires de différentes manières. En ce qui concerne les bibliographies analysées, les résultats obtenus reposent, soit sur l'interprétation d'images reconstituées à partir des données brutes ou corrigées, soit sur des traitements informatiques.

— L'analyse visuelle constitue l'étape la plus simple et la moins coûteuse. La démarche suivie est identique à celle employée en photographie aérienne. Elle tend à prendre en compte, en plus des variations des niveaux de gris, des critères de texture (aspect local) et de structure (organisations et relations entre les éléments texturaux). Les données multispectrales peuvent être étudiées canal par canal ou à partir de compositions de canaux. Une composition colorée, par exemple, correspond à une combinaison de trois bandes spectrales. Une couleur

fondamentale est affectée à chacune des composantes. MALON (40) souligne que « l'utilisation d'une composition colorée accroît considérablement la quantité d'information disponible. En effet, les données individuelles de chacune des trois bandes peuvent être représentées par des niveaux de brillance dans une image couleur. De plus, les variations dans les réponses spectrales des trois canaux apparaîtront comme des différences de couleur dans la composition colorée. Enfin, l'information complète des trois images initiales est contenue dans un seul document, évitant ainsi le passage d'une image à l'autre ». Diverses techniques permettant, soit d'affiner la perception visuelle de l'image, soit de mettre l'image sous une forme plus appropriée à l'analyse, pourront être recherchées dans cet ouvrage, et dans celui de STRAHLER *et al.* (81).

— Les traitements numériques concernent la manipulation des valeurs de luminance de chaque pixel dans les différentes longueurs d'ondes, par des méthodes statistiques d'analyse des données (composantes principales, nuées dynamiques, classement par hypercubes, etc.). L'analyse numérique nécessite donc des techniques informatiques qui permettront le classement en plusieurs catégories d'objets possédant une répartition d'énergie plus ou moins semblable dans le spectre.

CARTOGRAPHIE DE L'ÉROSION

Cartographie de l'érosion à petite échelle

Deux démarches peuvent s'inscrire dans l'analyse d'une série temporelle : l'étude des réponses spectrales, l'étude de la texture et de la structure des images.

LA PREMIÈRE DÉMARCHE vise à la reconnaissance, à des fins d'inventaire, des différents états de surface du sol ou du couvert végétal. Elle s'appuie sur des variations de grisés ou de colorations (composition colorée) à l'intérieur d'une même unité de paysage ou bien repose sur l'analyse radiométrique des canaux. Plusieurs articles traitant de l'intérêt des images Landsat dans différents domaines soulignent les possibilités offertes en ce qui concerne la cartographie des zones d'érosion ; de telles études ont été réalisées dans les milieux arides ou semi-arides en Argentine (61), en Equateur (15), au Maroc (46), au Niger (12). Au Népal, les zones érodées ont pu être définies au 1/500 000 à partir des compositions colorées (2). Au sud du Kansas, des variations rapides de teintes engendrées par la sécheresse et l'érosion éolienne ont pu être enregistrées à partir des données MSS et Seasat (30). En Inde, l'évaluation des données MSS de Landsat (interprétation visuelle et traitements numériques) a abouti à la cartographie des zones dégradées (84,85). La reconnaissance des milieux salés a été

abordée. Six classes d'érosion ont été définies à partir d'une classification supervisée dans une autre province indienne (74).

En Egypte, les réflectances mesurées en laboratoire, rectifiées ensuite pour se conformer aux conditions satellitaires, de plusieurs types de sables ont été comparées aux données Landsat avec succès (41). L'agencement des milieux dunaires a pu être relevé sur les photographies Appolo-Soyouz et trois zones ont pu être classées d'après leurs signatures spectrales (17).

Quand la couverture végétale est discontinue, le pixel intègre aussi bien *les caractéristiques permanentes* liées aux constituants de l'horizon superficiel que *les caractéristiques conjoncturelles* (32) liées à la présence, ou à l'absence, de certains types de végétation. Au Mali, une analyse statistique des données Landsat a permis de dresser une carte de la végétation avec pour objectif le suivi de la désertification (11). L'interprétation visuelle d'images Landsat au 1/500 000 d'une partie du Brésil a mis en relief différents milieux naturels dont certains sont confrontés à des problèmes de dégradation ou d'érosion (36). Dans le sud de l'Inde, les teintes claires associées à une faible végétation se sont révélées être des zones actives d'érosion. Ces zones ont été retrouvées par classification non supervisée (27). Dans l'Indiana, les données MSS ont été utilisées pour la reconnaissance et la cartographie des zones sévèrement érodées au travers de la végétation (63). Dans l'état du Nebraska, les images Landsat ont permis la reconnaissance au 1/250 000, canal 5, de zones de déflation (dont certaines ne recouvraient pas plus d'un hectare). A l'aide d'un microdensitomètre il a été possible d'évaluer la biomasse ; les emplacements où la végétation s'est dégradée, au point que les sols risquent d'être soumis à l'érosion éolienne, ont pu être cartographiés (70).

Deux études font intervenir des ratios (rapports entre canaux) ; il s'agit de travaux portant sur des radiométries acquises au sol. Dans la première (33) des échantillons de parcelles érodées de différentes localités de l'Indiana ont fait l'objet d'une étude en vue d'établir les relations qui pourraient exister entre les propriétés physiques et chimiques de ces sols et leur réponse spectrale. Les résultats exprimés en fonction des canaux MSS font apparaître une rupture de pente entre les canaux 6 et 7 qui n'existe pas dans le cas des sols en place ou des zones de dépôt (fig.3). Un ratio (réflectance du sol en place sur zone modérément, sévèrement, très sévèrement érodée et dépôt) met en valeur la forme convexe des courbes des milieux érodés dans la région du spectre comprise entre 0.52 — 0.9 μm . Dans la seconde étude (62) un ratio canal 4/canal 6 — canal 5/canal 6 permet de classer les surfaces érodées, les dépôts et les sols en place.

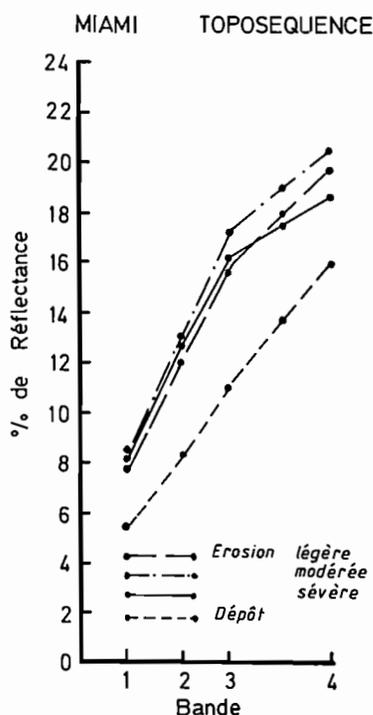


Fig. 3. — Réflectances Landsat simulées pour une toposéquence de sols. (in réf. 33).

L'étude des signatures spectrales des différents types de surface n'est pas toujours soigneusement explicitée et ne permet pas au lecteur de faire des comparaisons avec ses propres résultats. Quelques résultats semblent définitivement acquis : les valeurs de réflectance sont plus fortes pour le sel que pour le sable ; elles sont supérieures dans le cas d'accumulations sableuses actives par rapport aux dunes stabilisées.

Quelques traitements informatiques enfin (33), histogrammes bidimensionnels, classifications multispectrales de type hypercube (64), classifications supervisées ou non (27,44) permettront d'inventorier et de définir les principaux états de surface.

LA SECONDE DÉMARCHE tend à tirer parti de l'aspect global de l'observation spatiale et privilégie les relations entre les faits et leur agencement. Elle permet de formuler des hypothèses à l'échelle des paysages, et repose sur l'observation directe des images brutes ou des compositions colorées. Elle est basée sur les structurations caractéristiques de l'image, spécifiques à l'érosion éolienne et à l'érosion hydrique :

Des traces d'usure éolienne variables dans l'espace et dans le temps : *figures linéaires* blanches (zones de transit du sable) ou gris foncé (crêtes rocheuses) sont observées au Sahara sur les images Météosat malgré leur

petite échelle (38). De la même manière la synthèse des effets de l'érosion éolienne dans le Sahel a été réalisée à partir des données Landsat du 1/1 000 000. Les traces d'usure, à forte réflectance, s'opposaient aux *figures d'abri* liées à la présence d'obstacles (39,49). Les photographies aériennes sont nécessaires à l'étude locale de certaines formes dunaires (barkhanes isolées, dunes de type sif, etc.). Des figures de corrasion relevées en milieu aride (58) ont permis de formuler l'hypothèse que le transport aérien est avant tout un déplacement par saltation des éléments en jeu. Dans le bassin inférieur du Danube enfin « la mise en évidence (sur composition colorée) des aires d'érosion éolienne a permis d'actualiser les cartes pédologiques respectives, en constatant l'évolution du phénomène durant un délai de 10 ans ». Les échelles employées étaient le 1/500 000 et le 1/250 000.

Un *modèle d'érosion hydrique* a pu être décelé grâce au canal thermique de Nimbus (65). En Arizona, dans le canal MSS 5, des ravins dont la largeur est supérieure à 20 m sont cartographiables (52). Les mêmes observations sur le canal 7 de Landsat ont été effectuées dans le Dakota (86), en Inde (75). Ces deux articles précisent que la cartographie des milieux humides est plus aisée en hiver. En Colombie, les effets de l'érosion ont été décelés au 1/500 000 ; c'est au 1/250 000, dans les bandes 5 et 7, et sur les compositions colorées, qu'il a été possible d'étudier l'érosion hydrique dans la péninsule indienne (69).

Le drainage, la taille des parcelles, le pourcentage des terres de cultures sont les éléments à la base d'un inventaire au 1/1 000 000 dans le Dakota (80). La gestion des ressources (29,87) est abordée dans l'ouvrage (31) d'où est tiré cet article.

La reconnaissance sur photographies aériennes de la dégradation ou de l'érosion éolienne ou hydrique (42,68) de certains milieux peut constituer une première étape avant l'exploitation des données Landsat.

Les deux approches ne sont pas antagonistes. La délimitation d'unités homogènes fera suite au repérage des discontinuités, qu'elles soient spectrales ou texturales. Généralement les bandes 5 et 7 sont les plus utilisées. La bande 5 est plus sensible à l'érosion des sols, la bande 7 traduit davantage la nature, le taux de recouvrement et l'état de développement de la végétation. Certains articles ou communications (9), (28), (52), (53) ne font référence qu'aux seules informations du canal 5. COINER (11) utilise les deux canaux. POUGET *et al.* (64), dans le cadre de la cartographie régulière (au 1/200 000) des ressources en sol menée sur l'ensemble de la Tunisie, prend en compte le canal 4 ; ce canal permet en effet de discriminer les sols rencontrés d'après leur couleur en complétant les informations des canaux 5 et 7.

Un exemple particulier : les cartes F.A.O. au 1/5 000 000 et au 1/1 000 000

En novembre 1965 la F.A.O., le P.N.U.E. (Programme des Nations Unies pour l'Environnement) et l'UNESCO ont lancé un projet conjoint intitulé « évaluation mondiale de la dégradation des sols ». Un rapport collectif (46) conclut que Landsat peut servir de base, avec les données terrain, à la légende de la carte mondiale F.A.O. de dégradation des sols au 1/5 000 000. Des cartes, qui couvraient à peu près tous les types de climats, ont été réalisées : en Gambie, Guinée et Sierra Leone (5), au Niger, Haute-Volta, Mali, et Nigeria (37), en Jordanie, Syrie et Irak (45), en Iran (48). Au Maroc, l'étude plus fine a conduit à une carte au 1/1 000 000 (60).

Ces études reposent sur l'interprétation visuelle des canaux Landsat (48), des compositions colorées ou des diazos (37), et sur l'introduction de données extérieures : cartes thématiques, observations au sol, etc. Il n'y a pas eu d'étude numérique réalisée. Il a été tenu compte, dans l'édification de la légende des cartes, du fait que le risque de désertification d'un milieu s'accroît quand le couvert végétal diminue et l'utilisation des terres s'intensifie (17,18,45). Les problèmes de salinisation ou d'alcalinisation (en Irak), d'inondation (entre le Tigre et l'Euphrate) font partie des processus de dégradation étudiés (46).

Le 1/5 000 000 présente évidemment de grandes limitations et ne permet qu'une vue globale de la dégradation. La méthodologie peut servir de support après adaptation à des études à des échelles beaucoup plus grandes.

Il est souligné dans certains articles (35,66) que Landsat peut intervenir dans la quantification de l'érosion. La méthodologie retenue (66) est une méthode paramétrique permettant d'évaluer chaque type de dégradation de l'environnement selon le modèle :

$$D = f(C,S,T,V,L,M)$$

(où D = dégradation des sols, C = facteur d'agressivité climatique, S = facteur sol, T = facteur topographique, V = facteur végétation naturelle, L = facteur d'utilisation des terres, M = facteur d'aménagement).

Le calcul du risque de dégradation tient compte des facteurs de l'environnement relativement stables, tels qu'agressivité climatique, topographie et sol auquel on applique ensuite des coefficients correspondant à l'utilisation actuelle du sol ou à la végétation naturelle pour obtenir la dégradation du sol :

$$R = f(C,S,T,K)$$

(où R = risque de dégradation, K = constante représentant les conditions normalisées de V,L,M).

La cartographie de l'érosion à grande échelle

Les auteurs ne sont pas tous d'accord sur les échelles de cartographie que permettent les satellites. Si

certaines pensent qu'il n'est pas possible de dresser une carte à une échelle inférieure ou égale à 1/200 000, d'autres voient un intérêt possible de Landsat jusqu'au 1/20 000 (cf. Ref. 35) ou tout au moins jusqu'au 1/50 000. Aucune étude à ces échelles n'a été répertoriée.

QUANTIFICATION DE L'ÉROSION

La quantification de l'érosion éolienne ne paraît pas avoir été étudiée à partir de l'imagerie satellite.

L'érosion hydrique des sols est reconnue comme étant l'un des processus majeurs à l'origine de la baisse de productivité des terres cultivables. Les plus spectaculaires des formes élaborées par les eaux courantes sont les formes de creusement (parfois directement cartographiables par satellite) ; mais cette érosion n'est ni la plus répandue, ni la plus pernicieuse. Sans avoir à se concentrer, les eaux décupent et érodent. D'une manière générale, la quantification de l'érosion est difficile. Elle est estimée suivant un modèle mathématique à partir des données pluviométriques, topographiques, morphologiques, de la succession des cultures etc. Au niveau de la prévention, de l'estimation des dégâts, les images satellites peuvent se révéler utiles, d'autant qu'elles sont répétitives. Afin d'évaluer l'érosion, les données satellites seront intégrées, soit :

- dans un modèle d'étude d'érosion des sols ;
- dans un modèle hydrologique.

Un modèle d'étude d'érosion des sols

Pour apprécier les dangers d'érosion, un modèle mathématique de l'érosion, désigné sous le vocable d'« Universal Soil Loss Equation » (88,89,90,91), a été établi. Nous retiendrons toutefois qu'il s'agit d'un modèle empirique établi à partir du traitement statistique des résultats de nombreuses mesures en parcelles expérimentales. Il a d'abord été mis au point pour des conditions de milieux existant aux Etats-Unis et n'est pas forcément applicable tel quel (définition des paramètres) dans d'autres régions (34,6) et notamment dans le milieu méditerranéen (13). Il a pour expression :

$$A = R.K.L.S.C.P.$$

(où A est l'érosion attendue en t/ha, R l'indice d'érosivité des pluies, K l'indice d'érodibilité du sol, L est fonction de la longueur de la pente, S de la valeur de cette pente, C est un paramètre relatif aux pratiques culturales, P un indice qui caractérise les pratiques de lutte antiérosive).

De nombreuses études réalisées par photographies aériennes, traitant d'érosion des sols, exploitent cette équation (50,51). L'utilisation des données satellites, malgré le pouvoir de résolution limité des capteurs, est possible comme le prouvent STEPHENS *et al.* (79) : les statistiques comparées du scanner MSS et des données

simulées des scanners TM et HRV estiment à plus de 92 % de réussite les résultats des données HRV et TM pour la reconnaissance des cultures. Dans les études qui vont découler de l'équation de Wischmeier, les différents auteurs se sont surtout intéressés à la définition de l'« indice de cultures » (C) considérant que les autres paramètres n'évoluent que très peu dans le temps (20,78,79), et peuvent être acquis plus précisément par d'autres moyens : enquêtes de terrain (52), cartes topographiques (21), ou photographies aériennes (88).

Un modèle de terrain le « DEM » (Digital Elevation Model) a été expérimenté avec succès pour estimer les paramètres L et S. Une étude statistique (24) révèle que la définition des unités de sol associée au « DEM » est la plus pertinente pour estimer l'érosion des sols. SPANNER *et al.* (78) estiment le facteur (R) à partir des cartes de précipitations éditées par la N.O.A.A., les facteurs (K), (L), (S) au moyen des cartes pédologiques et topographiques. Il est précisé que le facteur (P) n'a pu être défini à partir des données MSS. La pente (S) et le mode de mise en culture (C) se sont révélés être les coefficients les plus sensibles de l'U.S.L.E. Les auteurs soulignent qu'un résultat « valable » sera fonction de la bonne estimation de ces deux facteurs.

Les modèles hydrologiques

L'étude des ressources en eau d'une région peut avoir pour objectif soit la modélisation du cycle de l'eau soit la quantification des écoulements pouvant exister sur différents bassins versants. Divers modèles ont été proposés qui associent aux inventaires à dominantes descriptives des modélisations de systèmes hydrologiques particuliers.

Le modèle couplé de simulation conjointe des écoulements de surface et des écoulements souterrains (25,26) est un modèle de transformation-précipitation-débit basé sur le découpage d'un bassin hydrologique en mailles carrées sur lesquelles seront discrétisées les caractéristiques tant superficielles que souterraines du milieu. La reproduction des débits est obtenue en effectuant le bilan de chaque carreau à chaque « pas de temps ». Le cycle de l'eau y est schématisé en cinq fonctions :

- une fonction d'entrée qui constitue la source des apports en eau dans le système ;
- une fonction production dont le rôle est de répartir les précipitations entre l'infiltration, le ruissellement, l'évapotranspiration et le stockage dans le sol en fonction des caractéristiques physiographiques du bassin ;
- une fonction de transfert de surface ;
- une fonction de transfert souterrain ;
- une fonction de transfert surface-souterrain.

La fonction production est la pièce maîtresse de ce modèle : chaque surface élémentaire détermine sa propre fonction. Il est donc impératif de dresser une carte précise et exhaustive des milieux (1). Les modèles d'éro-

sion interviennent donc dans la définition des propriétés des sols vis-à-vis de leur influence sur la fonction production. Il ne s'agit alors que d'un paramètre parmi les autres, et non une finalité en soi. Ces modèles permettent de mieux comprendre comment se fait la composition des écoulements des différentes zones d'un bassin versant et par là de mieux cerner les processus de genèse des crues.

Il est possible dans le domaine de surface de définir les caractéristiques physiques propres à chaque carreau par l'étude de l'imagerie satellite et la création de néocanaux (7-5 et 7+5), (10). Le néocanal 7-5 donne entre autres l'état de la végétation, le néocanal 7+5 la brillance et le modelé hydrographique. Neuf états de surface ont été définis à partir d'une classification supervisée (Procédure « loterie » basée sur l'analyse des valeurs radiométriques des pixels et leur regroupement en thèmes).

Le modèle développé par le S.C.S (U.S. Soil Conservation Service) est un modèle mathématique, basé sur une description physique des bassins versants (drainage, sol, végétation) et sur des mesures de précipitations et de débits. Les données Landsat trouvent leur utilité dans la définition des grands bassins versants. Elles permettent une vision globale des paysages (1). La répétitivité des observations permet de choisir l'image la mieux adaptée à la résolution du problème posé.

Les auteurs ne s'accordent pas là encore sur les échelles de cartographie. La résolution des données MSS, jugée suffisante pour ALEXANDER *et al.* (1), ne le sera pas pour d'autres auteurs (76). Les données TM plus précises suppriment ces difficultés (59).

SUIVI DE L'ÉROSION

L'analyse multispectrale et multitemporelle des données satellitaires peut déboucher sur une cartographie évolutive des paysages, utile à la connaissance des processus d'érosion. La cartographie diachronique est complexe : il faut séparer l'information évolutive de l'invariance à partir de valeurs de luminances altérées par les conditions d'enregistrement, par la transmissivité atmosphérique, par les rayonnements diffusés par les gaz, aérosols, particules... le problème peut être envisagé de différentes manières :

- il est possible d'exploiter les variations de l'albedo ;
- de « mesurer » l'évolution d'un ou de plusieurs thèmes pour un canal donné.

Analyse multitemporelle basée sur des variations d'albedo

L'albedo est défini comme le rapport du rayonnement solaire réfléchi sur le rayonnement solaire incident.

Différents modèles, plus ou moins élaborés, ont été testés, mais toujours avec une simplification de la réalité, en supposant par exemple :

- une contribution uniforme de l'angle solaire à la clarté de la scène entière, les surfaces horizontales (67) ;
- une diffusion atmosphérique uniforme sur toute la scène.

La méthode développée (77) sur des données MSS prend en compte les valeurs numériques de clarté des pixels, les valeurs d'éclairement solaire, des corrections de la diffusion atmosphérique. Il est tenu compte encore de l'angle solaire, et de la calibration du scanner. L'albedo est un facteur primordial à l'étude de la désertification. La valeur enregistrée de même que le pourcentage de végétation semblent toutefois très liés à la pluviosité du milieu (14).

Analyse multitemporelle basée sur des variations de luminance

BRERA *et al.* (7) ont choisi de « croiser » les informations d'un canal à deux dates dans un histogramme bidimensionnel. A chaque axe est affectée une couleur fondamentale, cyan et jaune par exemple ; si l'on n'enregistre, pour un pixel donné, aucune variation de réflectance entre les deux dates, celui-ci apparaîtra vert, si une variation est enregistrée, il apparaîtra soit bleu-vert, soit jaune-vert. Cette technique permet de localiser, d'évaluer et de contrôler rapidement les inondations. FRANK (22) définit des images résiduelles ; elles correspondent à la différence entre les données MSS enregistrées et les données estimées à partir d'un modèle mathématique (positionnement d'un pixel donné dans un nuage par rapport à la droite de régression des deux nuages). Si le pixel se situe au-dessus des valeurs estimées à partir du canal 5 ou 6 ou du ratio 5/6 il y a dégradation du milieu. DE LA TORRE *et al.* (14) qui utilisent les données Landsat emploient deux paramètres (l'albedo et le pourcentage de couverture d'une cible donnée) comme indicateur des progrès de la désertification. MAINGUET *et al.* (37) ont pris jour après jour sur les images Météosat les renseignements les plus évidents avant d'établir un croquis final.

CONCLUSION

Les avantages généraux tirés de l'utilisation à petite échelle des données de la télédétection spatiale sont les suivants :

- le caractère homogène des observations sur des superficies importantes. Un satellite couvre plusieurs milliers de kilomètres carrés (35 millions d'hectares par image (76)) ;
- une égale facilité d'accès à l'information concernant les régions inhospitalières (8,74,80) ;

— la dissociation de l'information par le système des canaux (57,76) ;

— le caractère global et synthétique des informations recueillies (38,39,86) ;

— la répétitivité, c'est-à-dire la possibilité d'obtenir périodiquement, à courts intervalles, sous réserve de conditions météorologiques favorables, le même type de données, sur une même zone, pour en suivre l'évolution (1,76).

A petite échelle, il s'agit bien souvent de gérer de manière rationnelle un territoire ; *la télédétection spatiale apparaît comme le moyen des inventaires et d'une surveillance systématique sur de vastes superficies* ; ces inventaires consistent à dresser en chaque point un descriptif précis pour un nombre déterminé de paramètres du milieu.

La télédétection peut ouvrir l'accès au recueil d'informations multidisciplinaires dans les pays neufs, elle peut intervenir comme moyen complémentaire aux systèmes traditionnels (71,83), permettant de faciliter voire d'améliorer la saisie des données. Dans presque tous les cas il s'agira d'associer l'imagerie satellite et les photographies aériennes (8,16,79) avec des relevés sur le terrain (20,36,44,65). Les observations faites à petite échelle permettent de cerner les problèmes et d'orienter l'utilisation des moyens au sol. La télédétection spatiale ne se pose pas en concurrente des méthodes « traditionnelles » d'acquisition des données mais en complément. L'accent est mis sur la différence qui existe entre cette vision instantanée du milieu naturel et les inventaires systématiques mettant en œuvre un personnel qualifié, des moyens lourds et entraînant de longs délais d'exploitation (8,16,22,51). La notion du coût de l'opération n'est pas à négliger non plus pour des pays en voie de développement (23).

Dans la démarche adoptée, l'association des utilisateurs au processus d'interprétation est souhaitable (16). Trop souvent en effet, ceux-ci considèrent les traitements utilisés comme des « boîtes noires » qui transforment des données en résultats en ne se préoccupant pas des conditions de validité des hypothèses sous-jacentes et du caractère « relatif » des résultats.

Pour en finir avec ces remarques d'ordre général nous dirons qu'il faut se méfier des prosélytes enthousiastes, et de leurs estimations de coûts, qui cherchent à « vendre » la télédétection spatiale dans des situations où elle n'est pas nécessaire (c'est « l'overselling » critiqué en son temps par les Américains) ou lorsque des méthodes plus classiques peuvent permettre de s'en passer avantageusement.

Limites d'utilisation

Les résultats obtenus à moyenne échelle (échelle régionale), pour des études à objectifs très globaux peuvent

apparaître aux yeux de certains décevants ; nous abordons là les problèmes de limites d'utilisation et de contraintes. Jusqu'à présent, quel que soit le degré de précision de l'analyse et des traitements, les résultats étaient limités par les caractéristiques du système d'acquisition des données.

— La résolution au sol des images MSS de Landsat est insuffisante vis-à-vis des phénomènes à détecter (39,59). Pour pouvoir distinguer correctement un milieu dégradé, il faut que celui-ci couvre plusieurs pixels. Si la superficie de ces milieux est inférieure à trois ou quatre hectares, comme c'est souvent le cas en ce qui concerne les phénomènes d'érosion en régions tempérées, ceux-ci seront en général invisibles sur les images Landsat. De plus, la probabilité de confusion et d'erreur augmente avec la diminution de taille du phénomène observé ; il est donc illusoire de vouloir répertorier toutes les « empreintes » de l'érosion.

— La répétitivité est elle aussi insuffisante (8,9,43) ; la quantité des enregistrements disponibles est largement inférieure au nombre d'images théoriquement réalisables. Pour la France, par exemple, on ne peut espérer plus de six images utilisables par an, c'est-à-dire qui comportent moins de 10 % de nuages.

— Les délais d'acquisition des données sont longs, les mémoires de Landsat fonctionnent en deçà de leurs capacités et il est nécessaire maintenant de demander la programmation d'une mission sur une scène donnée.

— Peu d'organismes élaborent une politique globale d'utilisation des données de la téledétection. Des études ponctuelles ne peuvent conduire qu'à des expériences localisées, parfois remarquables mais il paraît difficile dans ces conditions d'aboutir à une généralisation.

Les possibilités actuelles

Une « deuxième génération » de satellites avec Landsat 5 (lancé le 1^{er} mars 1984) et SPOT 1 (lancé le 21 février 1986) est actuellement en place. Les bandes spectrales du scanner TM plus fines et plus nombreuses,

la haute résolution (30 mètres pour le TM, 10 mètres en panchromatique pour SPOT) vont permettre l'observation de paysages complexes ainsi qu'en témoigne l'acquisition des premières images Spot. Il sera possible alors de travailler à moyenne échelle jusqu'à 1/25 000.

La programmation des visées latérales de SPOT permettra d'augmenter considérablement la répétitivité ; en visée verticale celle-ci est de 26 jours, en orientant les miroirs, à une latitude de 45° comme la nôtre, celle-ci pourra être ramenée à 2 jours. Nous disposerons alors d'un suivi efficace des états de surface.

Les visées obliques vont permettre en outre d'obtenir des images stéréoscopiques et donc nous offrir la possibilité d'intégrer directement la morphologie dans les prochaines études thématiques sur l'érosion des sols.

Les possibilités que nous offrent ces nouveaux systèmes ne doivent pas nous faire oublier les écueils déjà dénoncés :

— développer l'outil pour lui-même ne présente aucun intérêt ;

— chercher à refaire par la téledétection ce que les utilisateurs savent déjà faire autrement ;

— le problème des données de référence au sol, parfois insuffisantes, ou insuffisamment pertinentes, pour comprendre les données enregistrées, risque de s'amplifier avec des échelles d'observation croissantes.

Nous avons à notre disposition un outil nouveau susceptible de nous apporter une nouvelle vision de certains phénomènes qu'il convient d'utiliser à bon escient. Ceci ne veut pas dire que l'interprétation des images spatiales diffère sur le principe de celles des photographies aériennes.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Monsieur POUGET (ORSTOM), Monsieur REVEL (UPS) et Monsieur LATARCHE (GDTA) d'avoir bien voulu me laisser libre accès à leur bibliothèque et de m'avoir prodigué de nombreux conseils qui m'ont permis de rédiger cet article.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) ALEXANDER (D.P.), RAO (A.R.), 1985. — Hydrologic modeling using Landsat MSS data — Machine Proceeding of Remotely Sensed Data Symposium, pp.103-111.
- (2) ANDRAWIS (A.S.), BHATTARAI (K.D.), JOSHI (P.M.), RAJBHANDARI (M.D.), VAIDYA (N.N.), SHERESTHA (P.P.) (1978). — An evaluation of Landsat technology for operational use by Nepal resource agencies — Proc. of the 12th Int. Symp. on Rem. Sens. of Env., Manilla, USA ; *Ann Arbor* ; Michigan, V2, pp.1503 — 1512.
- (3) BERGSMAN (E.), 1974. — Soil erosion sequences on aerial photographs — *ITC Journal*, 3, pp.342-376.
- (4) BERGSMAN (E.), 1974. — Soil erosion toposequences on aerial photographs — Proc. of Symp. on Remote Sensing and Photointerpretation ; Alberta October 7-11, Canada, V1, pp.317-328.
- (5) BLEEKER (P.), 1978. — The application of Landsat imagery to soil degradation mapping at 1 : 5.000.000 of Gambia, Guinea, Sierra Leone, and parts of Senegal,

- Liberia and Ivory Coast — Remote Sensing Unit, FAO Rome.
- (6) BOLLINE, (A.) LAURANT (A.), 1983. — La prévision de l'érosion en Europe atlantique : le cas de la zone limoneuse de Belgique — *Pédologie* XXXIII, 2, pp.117-136.
- (7) BRERA (A.M.), SHAHROKHI (F.), 1978. — Application of Landsat data to monitor desert spreading in the Sahara region — Proc. of the 12th Int. Symp. on Rem. Sens. of Env., *Ann. Arbor*, Mich., USA (V2), pp.1329-1338.
- (8) BREYER (J.), 1982. — Reconnaissance geomorphological terrain classification, Lower Boteti region, Northern Botswana — *ITC Journal*, 3, pp.317-323.
- (9) CARTER (D.J.), HOUGHTON (H.J.), 1982. — Remote sensing of wind erosion in cropland — *In* papers selected for presentation at the 16 th Int. Symp. on Rem. Sens. of Env., (V1), *Ann. Arbor*, Mich., USA, pp.275-282.
- (10) CHEVALLIER (P.), LOINTIER (M.), LORTIC (B.), 1985. — Water levels of a sahelian Lake — *In* Acte of « International Workshop on Hydrologic Applications of Space Technology », IAHS, WMO, Cooabeach, août 1985, 12 p.
- (11) COINER (J.C.), 1980. — Using Landsat to monitor changes in vegetation cover induced by desertification processes — Proceedings of the 14 th Int. Symp. on Rem. Sens. of Env., ERIM, *Ann. Arbor*, Mich., USA ; pp.1341-1350.
- (12) COOLEY (M.E.), TURNER (R.M.), 1982. — Applications of Landsat products in range and water-managment problems in the sahelian zone of Mali, Upper Volta and Niger — Geological Survey Professional Paper, U.S. Dep. of. the interior, N° 1058, 52 p.
- (13) CORMARY (Y.), MASSON (J.), 1964. — Etude de conservation des eaux et du sol au Centre de Recherche du Génie Rural de Tunisie. Application à un projet type de la formule de perte de sols de Wischmeier — *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.* vol.II, n° 3, pp.3-26.
- (14) DE LA TORRE (J.C.), SASSER (J.H.), LIRA (J.), 1985. — A measuring reference system to quantify the desertification process in a semiarid ecosystem based on LANDSAT MSS Data — *in* Machine Proceeding of Remotely Sensed Data Symposium, pp.112-121.
- (15) DE NONI (G.), NOUVELOT (J.P.), WINCKELL (A.), et collaborateurs équatoriens, 1984. — Los principales procesos erosivos en Ecuador — Pronareg, Pronacos, Acuerdo Mag-ORSTOM, Quito, 31 p.
- (16) DOSSO (M.), KILLIAN (J.), SAVARY (G.), 1983. — Campagne de simulation des données de Spot Burkina : Région de Bagre — *In* Expériences de simulation du satellite Spot en Afrique de l'Ouest (ed. G.D.T.A.), p.73-96.
- (17) EL-BAZ (F.), 1978. — The meaning of desert color in earth orbital photographs — Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, pp.61-73.
- (18) FAO, 1978. — Methodology for assessing soil dégradation — FAO — UNDP.
- (19) FAO, 1979. — Methodology for soil degradation assessment — FAO — UNDP. Rome, Italy.
- (20) FENTON (T.E.), 1982. — Estimating soil erosion by remote sensing techniques — *In* Remote Sensing for Resource Management ; (ed. by Johannsen C.J., Sanders J.L.) IOWA, USA ; Soil Conservation Society of America, pp.217-231.
- (21) FOIN (P.), 1985. — Cours de télédétection — Fascicule 2 ; Bases sur la connaissance du milieu naturel et humain (ed. Institut Géographique National ; n° 107), 78 p.
- (22) FRANK (T.D.), 1984. — Assessing change in the surfacial character of a semi-arid environment with Landsat residual images — Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.L, N° 4, avril, pp.471-480.
- (23) GEORGE (T.S.), TAYLOR (R.S.), SHUBINSKI (R.P.), 1980. — Cost effectiveness of conventional and remote sensing techniques for watershed planning — Proc. of the 14 th Int. Symp. on Rem. Sens. of Env., *Ann. Arbor*, Mich., USA, pp.739-644.
- (24) GESCH (D.B.I.), NAUGLE (B.I.), 1984. — An analysis of the utility of Landsat Thematic Mapper data and digital elevation model for predicting soil erosion — *In* Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium, pp.260-265.
- (25) GIRARD (G.), MORIN (G.), CHARBONNEAU (R.), 1972. — Modèle précipitations-débits à discrétisation spatiale — *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol.IX, n° 4, pp.35-52.
- (26) GIRARD (G.), LEDOUX (E.), VILLENEUVE (J.P.), 1981. — Le modèle couplé simulation conjointe des écoulements de surface et des écoulements souterrains sur un système hydrologique, *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. XVIII, n° 4, 191 p.
- (27) GURUSWANY (V.), KRISTOF (S.J.), BAUMGARDNER (M.), 1980. — A case study of soil erosion detected by digital analysis of the remotely sensed multispectral Landsat scanner data of a semi-arid Land in Southern India. (BURROF P.G., MORRISON D.B., ed) — Machine Processing of Remotely Sensed Data and Soil Information Systems and Remote Sensing and Soil Survey — Proc. of the 6th An. Symp. held at Lafayette, Indiana USA ; Purdue Univ. ; pp.266-271.
- (28) HAMZA (A.), 1978. — Télédétection et cartographie de l'érosion en Tunisie centrale — Proc. of the Int. Symp. on Rem. Sens. for Observation and Inventory of Earth Resources and the Endangered Environment, July 2-8, Freiburg, F.R. of Germany. V3, pp.2231-2237.
- (29) ISAACSON (D.L.), SMITH (H.C.), ALEXANDER (C.J.), 1982. — Erosion hazard reduction in a wildlife damaged area. *In* Remote Sensing for Resource Management (ed. by JOHANNSEN C.J., SANDERS J.L.), Iowa, USA, Soil Conservation Society of America, pp.179-190.
- (30) JACOBBERGER (P.A.), 1982. — Drought-Induced wind erosion in southwestern Kansas, U.S.A. Integration of Landsat, Seasat, and airborne multispectral data — Proc. of the Int. Symp. on Rem. Sens. of Env. ; First Thematic Conference : « Remote Sensing of Arid and Semi-arid Lands », January 19-25, Vol.2, pp.937-946.
- (31) JOHANNSEN (C.J.), SANDERS (J.L.), 1982. — Remote sensing for resource management — Ankeny, Iowa, USA ; Soil Conservation Society of America, 665 p.
- (32) KING (C.), 1985. — Etude des sols et des formations superficielles par télédétection. Approche de leurs caractéristiques spectrales et temporelles dans le visible et dans le proche infra-rouge — Thèse INA-PG, 174 p.
- (33) LATZ (L.), WEISMILLER (R.A.), VANSCHOYOC (G.E.), 1981. — A study of the spectral reflectance of selected eroded soils of Indiana in relationship to their chemical and physical properties — Purdue University, Labora-

- tory for Applications of Remote Sensing. Lafayette, Indiana ; USA ; 71 p.
- (34) LAURANT (A.), BOLLINE (A.), 1978. — Caractérisation des pluies en Belgique du point de vue de leur intensité et de leur érosivité — *Pédologie* XXVIII, 2, pp.214-232.
- (35) LEROY (G.), 1980. — Utilisation des données satellites en pédologie. ORSTOM, Paris, 43 p. *multigr.*
- (36) LOMBARDO (M.A.), CARVALHO (V.C.), 1980. — Preliminary analysis of the potential of Landsat imagery to study desertification — Proc. of the 14 th Int. Symp. on Rem. Sens. of Env., 23-30 April, San Jose, Costa Rica, *Ann. Arbor.*, Mich., USA ; Vol. 2, pp.645-652.
- (37) MAINGUET (M.M.), SPIERS (B.), CANON (W.D.), LANGERAAR (L.B.), 1978. — Application of Landsat Imagery to soil degradation assessment and mapping at 1 : 5.000.000 : Niger, Upper Volta, Eastern Mail, Northern Nigeria, Chad, and Central African Empire — FAO Rome.
- (38) MAINGUET (M.), COSSUS (L.), CHAPELLE (A.M.), 1980. — Utilisation des images Météosat pour préciser les trajectoires éoliennes au sol, au Sahara et sur les marges sahéliennes. Interprétation des documents Météosat du 28 mars 1978 au 9 février 1979. — *Bull. Soc. Fr. de Photogrammétrie et de Téledétection* ; 1980-2, N° 78, pp.1-15.
- (39) MAINGUET (M.), CHEMIN (M.C.), 1981. — Utilisation des images Landsat pour la cartographie de la dynamique éolienne et la définition de son influence dans la désertification en milieu sahélien — 4° Colloque International du G.D.T.A., 22-26 juin, Toulouse, pp.135-149.
- (40) MALON (J.F.), 1984. — Principaux traitements des images satellitaires et associées — Point 1984, B.R.G.M. Département carte géologique et géologie générale. Division téledétection. 84 SGN 396 GEO. 47 p.
- (41) Mc CORD (T.B.), CLARK (R.N.), MELOY (A.), SINGER (R.B.), 1982. — An example of the application of a procedure for determining the extent of erosional and depositional features and rock and soil units in the Kharga oasis region, Egypt, using remote sensing — Presented at the first Thematic Conference : « Remote Sensing of Arid and Semi-arid Lands », Cairo, Egypt, Jan. 19-25, V2, pp.909-919.
- (42) MENSCHING (H.G.), IBRAHIM (F.N.), 1980. — Mapping desertification in the Sudan : a methodological approach — School of Geography, Univ. of New South Wales, pp.19-28.
- (43) MILLINGTON (A.C.), TOWNSHEND (J.R.G.), 1984. — Remote sensing applications in African erosion and sedimentation studies — Proc. of the Harare Symposium IAHS-AISH publication. N° 144, pp.373-384.
- (44) MILLS (G.F.), 1972. — The application of multispectral remote sensing to the study of soil properties affecting erosion — 1 st Canadian Symposium on Remote Sensing, pp.731-743.
- (45) MITCHELL (C.W.), PACHECO (R.), HOWARD (J.A.), 1978. — The application of Landsat imagery to the soil degradation mapping of Jordan, Syria and Iraq at 1 : 5.000.000 — FAO, Rome.
- (46) MITCHELL (C.W.), HOWARD (J.A.), 1978. — The application of Landsat imagery to soil degradation mapping at 1 : 5.000.000 — F.A.O., Rome, Italy. 43 p.
- (47) MITCHELL (C.W.), HOWARD (J.A.), 1978. — The application of the Landsat imagery to soil degradation mapping at 1 : 1.000.000 — FAO, Rome.
- (48) MITCHELL (C.W.), GHORASHIAN (K.), 1978. — The application of Landsat Imagery to soil degradation mapping of Iran at 1 : 5.000.000 — FAO Rome.
- (49) MITCHELL (C.W.), HOWARD (J.A.), MAINGUET (M.M.), 1982. — Soil degradation mapping from LANDSAT in North Africa and the middle East — Presented at the first Thematic Conference « Remote Sensing of Arid and Semi-arid Lands » ; Cairo, Egypt, Jan.19-25, V2, pp.899-908.
- (50) MORGAN (K.M.), 1978. — Assessing the potential for soil erosion using remote sensing image interpretation — PHD Dissertation, University of Wisconsin-Madison.
- (51) MORGAN (K.M.), 1979. — Application of Remote Sensing airphoto interpretation to cropland erosion studies — PHD, 1979, University of Wisconsin-Madison, 111 p.
- (52) MORRISON (R.B.), COOLEY (M.E.), 1973. — Application of ERTS-1 multispectral imagery to monitoring the present episode of accelerated erosion in Southern Arizona — In Symp. on Significant Results obtained from the Earth Resources Technology Satellite-1. New Carrollton, Maryland, March 1973, Vol.1, pp.283-190.
- (53) MOWER (R.D.), ARDILA (T.M.), 1982. — Using Landsat Digital Data to identify erosional zones in the Cuenca Alta del Rio Bogota. In papers selected for presentation at the 16 th Int. Symp. on Rem. Sens. of Env., Vol.1, *Ann. Arbor.*, Mich., USA ; pp.257-261.
- (54) NAERT (B.), 1977. — Méthodologie de l'application de la téledétection à la cartographie des sols. Premières conclusions obtenues à partir des traitements photographiques des données — 1^{er} Colloque Pédologie et téledétection, Rome.
- (55) NAKATA (J.K.), WILSHIRE (H.G.), BARNES (G.G.), 1976. — Origine of Mojave Desert dust plumes Photographed from space. *Geology*, Vol. 4, pp.644-648.
- (56) OPRESCU (N.), MANDESCU (E.), 1978. — Résultats obtenus dans l'inventaire des ressources du bassin inférieur du Danube et dans le delta du Danube par téledétection ; technologies adoptées au cas des moyens restreints — Proc. of an Int. Conf. on Earth Observation from Space and Management of Planetary Resources. Toulouse, 6-11 March — (ESA SP-134), pp.63-76.
- (57) OTTERMAN (J.), GORNITZ (V.), 1983. — Saltation versus soil stabilisation : two processes determining the character of surfaces in arid regions — *Catena*, Vol.10, n° 4, pp.339-362.
- (59) OWE (M.), ORMSBY (J.P.), 1984. — Improved classification of small-scale urban watersheds using thematic mapper simulator data — *Int J. Remote Sensing*, Vol. 5, N° 5, 761-770.
- (60) PACHECO A., (1977). The use of Landsat Imagery for assessing soil degradation in Morocco. 1^{er} Colloque Pédologie-Téledétection, 29 août - 7 sept. — Rome pp.109-117.
- (61) PENA (M.S.), CAMPI (M.G.), MARLENRO (N.), 1982. — Potential application of Remote Sensing to the study of arid and semi-arid Lands in Argentina — Presented at the first Thematic conference « Remote Sensing of Arid and Semi-Arid Lands », Cairo ; Egypte, Jan. 19-25, pp.33-36.

- (62) PICKUP (G.), NELSON (D.J.), 1984. — Use of Landsat radiance parameters to distinguish soil erosion, stability, and deposition in arid central Australia. *Rem. Sens. of Env.* 16 : 195-209.
- (63) POUGET (M.), 1985. — Analyse et interprétation des données Télédétection en Pédologie — CETEL 85/86, ENSG/GDTA, 6 p.
- (64) POUGET (M.), LORTIC (B.), SOUISSI (A.), ESCADAFAL (R.), MTIMET (A.), 1984. — Apport des données MSS LANDSAT pour la cartographie des ressources en sols en régions arides (feuille au 1/200 000 de Tatahouine et de Zarzis, Tunisie). 18th Symp. Int. sur l'observation de la terre, 1-5 oct. 1984, Paris, France.
- (65) POUQUET (J.), 1971. — Les sciences de la terre à l'heure des satellites P.U.F., Paris, 259 p.
- (66) RIQUET (J.), 1982. — Evaluation globale de la dégradation des sols — *Nature et ressources*, Vol.XVIII, N° 2, avril-juin, pp.19-23.
- (67) ROBINOVE (C.J.), CHAVEZ (C.Jr), GÉHRING (D.), 1981. — Arid Land monitoring using Landsat albedo difference image — *Rem. Sens. of Env.* 11 : 133-156.
- (68) RODRIGUEZ-BEJARENO (D.), 1978. — Applications of Landsat and Skylab imagery in Mexico. Detection of erosion and forest damage — *In papers selected for presentation to the 12th Int. Symp. on Rem. Sens. of Env.*, Vol. 3, *Ann. Arbor.*, Mich., USA, pp.1609-1615.
- (69) SAMBASIVA RAO M., 1985. — Environmental geomorphology and Landscape management of Tamilnada using remote sensing data — 6th Asian Conf. on Remote Sensing, Nov. 21-26 1985, Hyderabad, India, pp.85-90.
- (70) SEUBERT (C.E.), BAUMGARDNER (M.F.), WEISMILLER (R.A.), 1979. — Mapping and estimating areal extent of severely eroded soils of selected sites in Northern Indiana — *In Machine Proc. of Remotely Sensed data.* 5th An. Symp. held at Purdue Univ., West Lafayette, Ind. pp.234-239.
- (72) SILLEOS (N.G.), 1981. — The effect of calcium carbonate on soil erodibility in a survey area in northern Greece — *ITC Journal* 1981-4, pp.418-434.
- (73) SINGH (B.M.), 1977. — Interpretation of satellite imagery for delineation of ravines — *J. Indian Soc. Photo-Int.* 5(1), pp.31-34.
- (74) SINGH (A.N.), VENKATARATNAM (L.), SINHA (A.K.), VENKATACHALAM (P.), RAO (K.R.), DWIVEDI (R.S.), 1983. — Utilisation of Landsat data for dealineating, mapping and managing of soil ressources. The problems and prospects under Indian conditions. Proc. of the 17th Int. Symp. on Rem. Sens. of Env., *Ann. Arbor.* ; Mich., USA ; May 9-13, pp.787-795.
- (75) SINGH (A.N.), 1980. — Delineating ravinous areas on aerial photographs and satellite imageries — a comparative study — Seminar on Application of Photo-interpretation and Remote Sensing Techniques for Natural Resources survey and environmental Analysis. IPI, Dehradun, India.
- (76) SLACK (R.B.), WELCH (R.), 1980. — Soil conservation service runoff curve number estimate from Landsat data — *Water resources Bulletin*, Vol.16, N°5, pp.887-893.
- (77) SOBUR (A.S.), CHAMBERS (M.J.), CHAMBERS (R.), DAMOPOLII (J.), HADI (S.), HANSON (A.J.), 1978. — Remote sensing applications in the southeast Sumatra coastal environment. *Rem. Sens. of Env.*, Vol. 7, N° 4, : 281-303.
- (78) SPANNER (M.A.), STRAHLER (A.H.), ESTES (J.E.), 1983. — Soil Loss prediction in a geographic information system format — Presented at the 17th Int. Symp. on Rem. Sens. of Env., Vol.1, *Ann. Arbor.*, Mich., USA ; pp.81-102.
- (79) STEPHENS (P.R.), CIHLAR (J.), 1981. — The potential of Remote Sensing to monitor soil erosion on cropland — Proc. of the 15 th Int. Symp. on Rem. Sens. of Env., *Ann. Arbor.*, Mich. USA, pp.985-995.
- (80) STEPHENS (P.R.), CIHLAR (J.), 1982. — Mapping erosion in New Zealand and Canada — Remote Sensing for Resource Management (ed by Johannsen C.J., Sanders J.L.), Iowa, USA, Soil Conservation Society of America, pp.232-242.
- (81) STRAHLER (A.H.), ESTES (J.E.), MAYNARD (P.F.), MERTZ (F.C.), STOW (D.A.), 1980. — Incorporating collateral data in Landsat classification and modelling procedures — Proc. of the 14 th Int. Symp. on Rem. Sens. of Env., *Ann. Arbor.*, Mich. USA, pp.1009-1026.
- (82) SVENSSON (M.), 1972. — The use of stress situation in vegetation for detecting ground conditions on aerial photographs — *Photogrammetria*, Vol. 28, N° 3, sept.72, pp.75-87.
- (83) VASS (P.A.), V GENDEREN (J.L.), 1978. — Monitoring environmental pollution by remote sensing — Proc. of the 12th Int. Symp. on Rem. Sens. of Env. 1978, Manila, *Ann. Arbor.*, Mich., USA, Vol.1, pp.219-234.
- (84) VENKATARATNAM (L.), 1980. — Delineation and mapping of agricultural soil limitations/hazards in arid and semi-arid tropics using Landsat MSS data. An Indian example — Proc. of the 14 th symp. on Rem. Sens. of Env. Vol.1, *Ann. Arbor.*, Mich. USA, pp.905-914.
- (85) VENKATARATNAM (L.), 1984. — Mapping of Land/soil degradation using multispectral data — 8^e Symposium Canadien de Télédétection : 4^e Congrès de l'association Québécoise de Télédétection : L'A.Q.T./C.R.S.S. pp.421-429.
- (86) WESTIN (F.C.), FRAZEE (C.J.), 1975. — Landsat-1 data, its use in a soil survey program — Proc. of the NASA Earth Resources Survey Symposium, HOUSTON, Texas, June, Vol.1, pp.67-95.
- (87) WESTIN (F.C.), 1982. — Soil and Land resource inventory using Landsat data — Remote Sensing for Resource Management (ed by JOHANSEN C.J., SANDERS J.L.), IOWA, USA, *Soil Cons. Soc. of Am.*, pp.243-252.
- (88) WISCHMEIER (W.H.), SMITH (D.D.), 1960. — A universal soil-loss equation to guide conservation farm planning — Trans. 7th Int. Congr. Soil. Sci. (Madison, Wis.) V1, pp.418-425.
- (89) WISCHMEIER (W.H.), SMITH (D.D.), 1962 — Soil Loss estimation as a tool in soil and water management planning. *Assoc. Int. Hydrol. Sci.* V 59, pp.148-159.
- (90) WISCHMEIER (W.H.), SMITH (D.D.), 1965. — Predicting rainfall-erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains — Guide for selection for practice for soil and water conservation. *Handbook* N° 282. USDA, Washington, D.C., 47 p.
- (91) WISCHMEIER (W.H.), SMITH (D.D.), 1978 — Predicting rainfall-erosion losses — *Supersedes Agriculture Handbook*, N° 282, 58 p. U.S. Govern printing office.

IMPRIMERIE COPÉDITH

PARIS (FRANCE)

Dépôt légal : Mars 1987

Numéro Imprimeur : 607

« Spécial Erosion »

Avant-propos par E. ROOSE	119
<hr/>	
MONNIER (G.), BOIFFIN (J.), PAPY (F.). — Réflexions sur l'érosion hydrique en condition climatique et topographique modérées : cas des systèmes de grande culture de l'Europe de l'Ouest	123
<hr/>	
VOGT (H.), LEVY (G.), METTAUER (H.). — Ablation hydrique en vignoble en conditions d'érosivité chronique et exceptionnelle : mécanismes et coûts comparés. Exemple du vignoble de Sigolsheim et Kientzheim, Haut-Rhin, France	133
<hr/>	
LILIN (C.). — Histoire de la restauration des terrains en montagne au 19 ^e siècle	139
<hr/>	
AUBERT (G.). — Réflexions sur l'utilisation de certains types de banquettes de « Défense et Restauration des Sols » en Algérie	147
<hr/>	
HEUSCH (B.). — Cinquante ans de banquettes de D.R.S. — C.E.S. en Afrique du Nord : un bilan	153
<hr/>	
BONVALLOT (J.). — Tabias et jessour du Sud tunisien. Agriculture dans les zones marginales et parade à l'érosion	163
<hr/>	
MARCHAL (J.Y.). — Vingt ans de lutte antiérosive au nord du Burkina Faso	173
<hr/>	
MIETTON (M.). — Méthodes et efficacité de la lutte contre l'érosion hydrique au Burkina Faso	181
<hr/>	
ROOSE (E.). — Terrasses de diversion ou microbarrages perméables ? Analyse de leur efficacité en milieu paysan ouest-africain pour la conservation de l'eau et des sols dans la zone soudano-sahélienne	197
<hr/>	
FRITSCH (J.M.), SARRAILH (J.M.). — Les transports solides dans l'écosystème forestier tropical humide guyanais : effets du défrichement et de l'aménagement de pâturages	209
<hr/>	
LEPRUN (J.C.), SILVEIRA da (C.O.), SOBRAL FILHO (R.M.). — Efficacité des pratiques culturales antiérosives testées sous différents climats brésiliens	223
<hr/>	
DE NONI (G.), TRUJILLO (G.), VIENNOT (M.). — L'érosion et la conservation des sols en Equateur	235
<hr/>	
DUBUCQ (M.). — Télédétection spatiale et Erosion des sols. Etude bibliographique	247