

Présentation

Innovations dans la conservation et la restauration des sols

Éric ROOSE

L'érosion est un processus vieux comme le monde. Dès l'origine, l'érosion a façonné les paysages et construit les plaines, lesquelles nourrissent la majeure partie des populations du globe. Chaque civilisation, en agglomérant les peuples autour des villes, a créé des conditions favorables à l'accélération de l'érosion et de la dégradation des sols. Face aux risques liés à ces processus, les sociétés rurales ont élaboré progressivement des techniques permettant de maintenir la productivité des terres : irrigation, fumure organique, jachère, structures antiérosives, etc. Mais, lorsque les besoins évoluent trop vite, se développe une crise à la fois socio-économique et écologique à laquelle la société rurale tente de répondre soit par l'émigration d'une partie de la population, soit par la mise au point de nouvelles techniques plus intensives de gestion durable. La figure 1 schématise l'évolution des systèmes de production en fonction de la densité de la population et des crises de l'environnement en Afrique.

L'ambition de ce troisième numéro consacré à l'érosion, et dernier de la série *Pédologie des Cahiers Orstom* est de rassembler des témoignages de chercheurs travaillant dans des conditions écologiques et humaines très variées, de montrer les progrès réalisés dans le choix des stratégies de gestion durable des sols et les possibilités de restaurer la capacité de production des terres dégradées et, enfin, d'ouvrir des perspectives sur les problèmes de gestion de l'eau en montagne où la battance des pluies n'est pas le processus dominant.

ÉVOLUTION HISTORIQUE DES STRATÉGIES DE LUTTE ANTIÉROSIVE

Les stratégies traditionnelles : adaptation à des contraintes socio-économiques

Depuis 7 000 ans, l'homme a accumulé des traces de sa lutte pour maîtriser les différentes formes d'érosion et améliorer la gestion de l'eau et de la fertilité des sols

(LOWDERMILK, 1953). L'analyse de la répartition spatiale des méthodes de lutte et des causes de leur disparition montre que l'efficacité des méthodes traditionnelles est strictement liée aux conditions économiques des sociétés où elles se sont développées. Deux exemples l'illustreront.

La culture itinérante sur brûlis est probablement la plus ancienne stratégie utilisée sur tous les continents pour maintenir la productivité de la terre et du travail. Pour que le système (brève culture sur brûlis, suivie d'une longue jachère) reste équilibré, il faut une réserve de terre considérable (dix à vingt fois la surface cultivée). Cette stratégie ne s'applique donc que dans des zones peu peuplées (moins de 20 à 40 habitants au kilomètre carré selon la productivité régionale), sur des sols suffisamment profonds et dans le cadre d'une économie d'autosubsistance. Que les besoins et la pression foncière augmentent, la durée de la jachère va diminuer et le système se dégrader (voir au Sahel ou au Rwanda et au Burundi) (fig. 1).

À l'opposé se sont développées les terrasses en gradins irriguées (2 000 ans avant J.-C. en Asie) et les terrasses méditerranéennes sur murettes en pierres (1 000 ans après J.-C. en Crète et au XIV^e siècle au Pérou), là où la population est dense, la terre cultivable rare (hormis en montagne) et le travail bon marché. Comme ces aménagements exigent un gros effort pour la construction des structures (1 000 jours par homme et par hectare), l'entretien des sols et la restauration de la fertilité, ces améliorations foncières ne sont acceptées que là où les paysans n'ont pas d'autre choix pour subsister (pression militaire, religieuse ou économique) ou pour produire des cultures particulièrement rentables (par exemple, la vigne en Suisse, les fleurs à Nice ou le cannabis dans le Rif marocain).

Mais, actuellement, la mécanisation de l'agriculture, les salaires dans l'industrie, la crise économique et la désintégration des sociétés traditionnelles entraînent l'abandon de ces techniques anciennes, si bien décrites par les ethnologues, mais méprisées par les technocrates (CRITCHLEY

et al., 1992). L'étude détaillée de leur extension, de leurs limites et des améliorations possibles ouvre de nouveaux horizons pour une nouvelle voie de recherche (ROOSE et al., 1994).

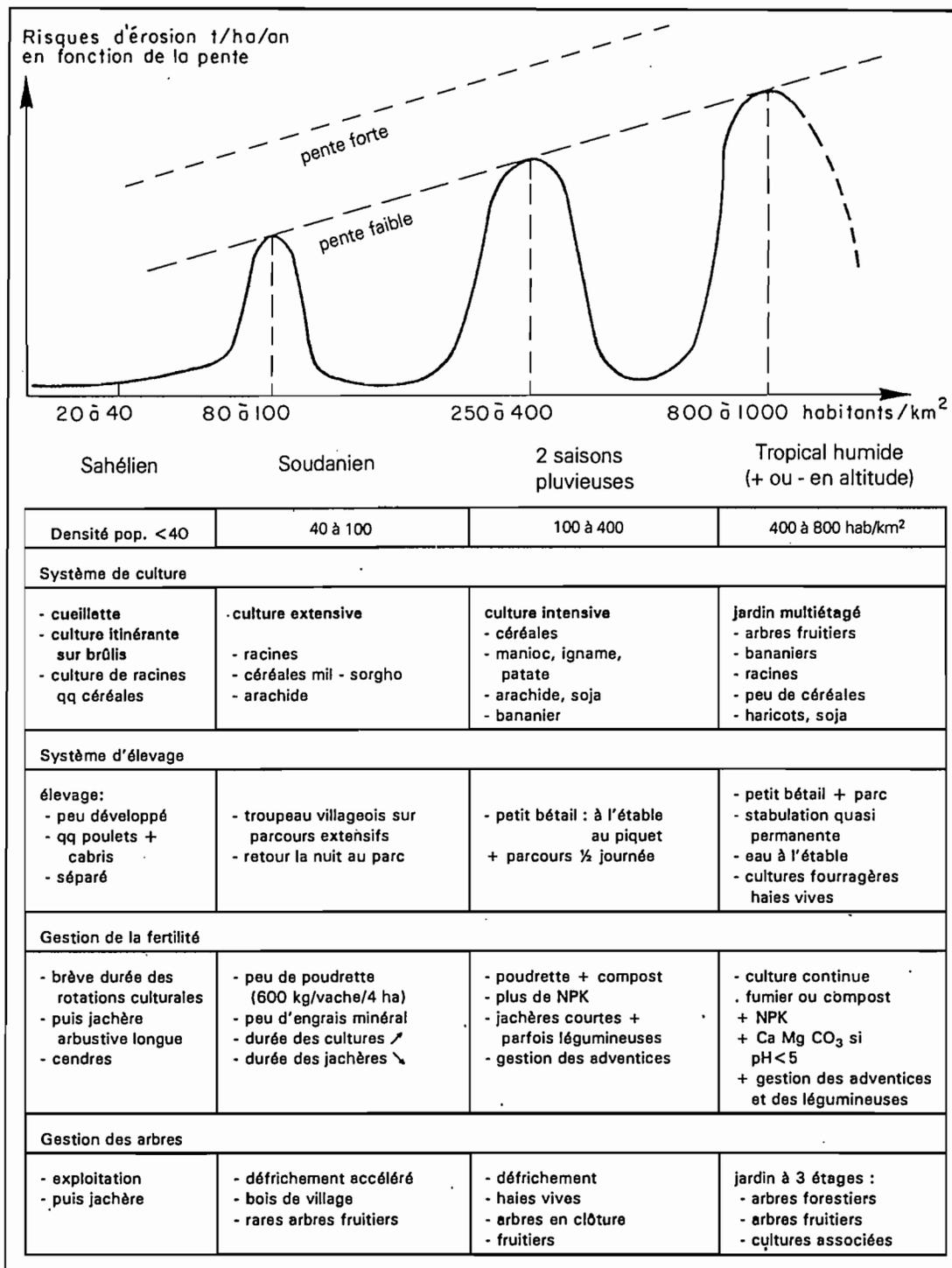


FIG. 1. — Relation entre la densité de la population, l'érosion, le système de culture, le système d'élevage et la gestion de la fertilité. Ce schéma adapté à l'Afrique devra être nuancé en fonction de la fréquence des pluies, de la pente et des potentialités des sols. D'après ROOSE, 1994.
Relation between population density, erosion, farming system, animal husbandry and nutrients management. This draft adapted from Africa must be nuanced in relation to rainfall frequency, slope steepness and soil productivity. After ROOSE, 1994.

Les stratégies modernes d'équipement hydraulique des campagnes : la logique de l'État

À l'occasion de graves crises se sont développées des stratégies modernes d'équipement hydraulique des campagnes. Il s'agit essentiellement de reforestation des hautes vallées, d'amélioration foncière, de correction du réseau de drainage et de terrassements. La priorité a été donnée à la réalisation de dispositifs mécaniques de gestion des eaux.

À partir de 1850, la Restauration des terrains en montagne (RTM) s'est développée en France pour faire face à la crise des petits paysans montagnards qui ne pouvaient survivre sans mener leurs troupeaux sur les terres communales déjà surpâturées. La dégradation des couvertures végétales et pédologiques a entraîné le développement catastrophique des torrents. Pour protéger les vallées aménagées et les voies de communication des masses de terre mobilisées par ces derniers, les services forestiers ont racheté les terres dégradées en montagne, reconstitué la couverture végétale et corrigé les torrents (LILIN, 1986).

Dès la crise de 1930, le Service de conservation de l'eau et des sols (CES) a été instauré aux États-Unis d'Amérique par des agronomes pour conseiller les fermiers volontaires qui demandaient un appui technique et financier afin de lutter contre l'érosion. En effet, l'extension rapide des cultures industrielles peu couvrantes (coton, arachide, maïs) dans la Grande Prairie a déclenché une érosion éolienne catastrophique : des nuages de poussière obscurcissaient le ciel en plein jour. En pleine crise économique, 20 % des terres cultivables étaient dégradées par l'érosion. Sous la pression de l'opinion publique, l'État a dû réagir : sous l'impulsion de Bennet se sont mis en place un programme de recherche sur les facteurs de l'érosion et un programme de lutte antiérosive (LAE) au niveau des versants.

Deux écoles s'affrontent encore sur l'approche des problèmes de lutte antiérosive :

— l'une, sous l'impulsion de BENNET (1939), organise la LAE autour des moyens mécaniques de réduction de la vitesse et de l'énergie du ruissellement pour réduire le ravinement (invention des terrasses de diversion des eaux de ruissellement vers des exutoires enherbés, validée sur les sols argilo-limoneux) ;

— l'autre, à la suite des travaux de ELLISON (1944) sur la battance des gouttes de pluie et des équipes de WISCHMEIER et SMITH (1960), organise la LAE au niveau des systèmes de culture pour réduire le volume et la vitesse du ruissellement sur les champs en améliorant le couvert végétal (STALLINGS, 1953) et la rugosité du sol (techniques culturales et gestion des résidus de culture).

Dans les années 1940-1980, la Défense et restauration des sols (DRS) a été développée par les forestiers autour du bassin méditerranéen pour faire face à de graves pro-

blèmes de pénurie d'eau, d'envasement des barrages et de dégradation des équipements et des terres. La DRS est née d'un mariage de raison entre la RTM des forestiers (reforestation des hautes vallées, correction torrentielle) et la CES des agronomes (diverses banquettes plantées d'arbres fruitiers). Pour les forestiers, il s'agissait avant tout de mettre en défens les terres dégradées par la culture et le surpâturage, de reforester les hautes vallées et de restaurer par l'arbre la capacité d'infiltration des sols, celui-ci étant considéré comme le moyen le plus efficace pour les régénérer. Tous les problèmes ne naissent-ils pas du surpâturage et du défrichement abusif de la végétation naturelle ? (PUTOD, 1956 ; PLANTIÉ, 1961 ; MONJAUZE, 1962 ; GRÉCO, 1978).

Cependant, depuis les années 1975-1980, de nombreuses critiques se sont élevées pour constater l'échec fréquent des démarches technocratiques d'équipement menées rapidement, sans l'avis des « populations bénéficiaires ». Aux États-Unis, malgré cinquante ans de travaux remarquables des services de CES et les millions de dollars investis chaque année, 25 % des terres cultivées perdent encore plus de 12 t/ha/an de sédiments, limite de tolérance pour les sols profonds (LOVEJOY et NAPIER, 1976 ; HUDSON, 1991). Si la fréquence des vents de sable a été réduite, la pollution des eaux, les inondations catastrophiques et l'envasement des barrages posent encore de graves problèmes. En Algérie, malgré 800 000 ha de reforestation et la construction de banquettes sur 350 000 ha, la dégradation de la végétation et des sols s'accélère, l'envasement des barrages et le manque de bois restent des problèmes préoccupants. En Afrique de l'Ouest et au Maghreb, des paysans préfèrent abandonner leurs terres aménagées par l'État plutôt que d'entretenir les structures antiérosives car ils craignent qu'il ne s'agisse d'un piège de ce dernier pour s'emparer de leurs terres (HEUSCH, 1986).

Des stratégies participatives (*Land husbandry* et GCES) : la logique paysanne

Au séminaire de Porto Rico, en 1987, furent analysées les causes de l'échec des projets de LAE. Une nouvelle stratégie participative y est née, tenant mieux compte des besoins des paysans et des éleveurs et visant à valoriser la terre et le travail en améliorant le système de culture : l'enracinement des plantes, l'infiltration de l'eau et la fertilité du sol. Cette stratégie a été nommée « *Land husbandry* » en anglais (SHAXSON *et al.*, 1989 ; HUDSON, 1992) et « Gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols » (GCES) en français (ROOSE, 1987, 1994). Étant donnée la nécessité de la participation paysanne pour assurer la pérennité (voire l'extension) des aménagements, une telle stratégie tient compte de la façon dont les paysans ressentent les problèmes de dégradation des sols et propose l'intensification de la productivité des

terres pour faire face à la croissance démographique qui double la population tous les vingt ans.

Les résultats récents ont bien montré qu'il ne suffit pas de conserver l'épaisseur des sols pour intensifier, ni même maintenir, la productivité des terres : les méthodes de terrassement exigent des travaux considérables pour leur mise en place et pour leur entretien, mais n'ont pas amélioré la productivité des sols, ni même réduit leur vitesse de dégradation. Dans le cadre de la GCES, la nouveauté consiste justement à gérer au mieux les terres productives, l'eau, les matières organiques et les nutriments indispensables au développement des cultures. L'intensification de la production augmente la couverture végétale, l'activité de la faune et la rugosité de la surface du sol : elle réduit indirectement les risques de ruissellement et d'érosion. La lutte antiérosive n'est donc plus une fin en soi, mais elle fait évidemment partie du paquet technologique qui permet d'assurer la gestion durable de la couverture pédologique.

Les stratégies d'équipement ont porté en priorité sur les terres dégradées d'où proviennent la majorité des sédiments qui polluent les eaux indispensables aux villes, aux industries et à l'irrigation des plaines fertiles. En créant des banquettes sur les mauvaises terres (*badlands* ou *roubine*), on ne s'attaque pas aux causes de l'érosion : les terres productives continuent à se dégrader. Les paysans préfèrent investir d'abord dans leurs terres productives pour tirer le meilleur revenu de leurs améliorations foncières. « Mieux vaut prévenir que guérir » et l'expérience de cinquante ans de CES et DRS a montré qu'on n'arrive pas à éteindre les foyers d'érosion.

LES FACTEURS DE L'ÉROSION EN MILIEU TROPICAL

L'érosion est l'un des processus les plus actifs de la dynamique actuelle des couvertures pédologiques. Elle a souvent été présentée comme un danger majeur pour les sols, soit qu'elle appauvrisse sélectivement l'horizon superficiel de sa substance vitale (matières organiques vivantes ou mortes, argiles, limons et nutriments), soit qu'elle décape les horizons superficiels parfois jusqu'à la roche. Mais l'érosion est aussi à l'origine du rajeunissement des sols de montagne et de la formation des plaines les plus fertiles.

L'étude des causes, des facteurs et des processus d'érosion en milieu tropical a été plus poussée qu'en milieu tempéré européen : en effet, l'agressivité des pluies et l'évolution rapide des matières organiques en milieu chaud accélèrent l'érosion qui sanctionne très vite les systèmes de production déséquilibrés.

On a cru les sols tropicaux particulièrement fragiles jusqu'à ce qu'on démontre l'agressivité remarquable des pluies tropicales (cinq à vingt fois plus agressives que

celles des régions tempérées) (ROOSE, 1973, 1977 ; ROOSE et SARRAILH, 1989-1990). En réalité, les sols tropicaux résisteraient plutôt mieux à l'énergie des pluies que la majorité des sols bruns lessivés des régions tempérées, mais leur fertilité chimique disparaît aussi vite que la matière organique du sol.

On a longtemps pensé que l'érosion était directement fonction de la pente et de sa longueur : toutes les équations fixant l'écartement entre les structures antiérosives sont basées sur cette hypothèse. Or, en 1972, HEUSCH a montré que, sur les vertisols sur marne du Rif marocain, les risques d'érosion en nappe sont bien plus élevés en bas de versant (sur pente faible) que sur les fortes pentes en haut de versant. Depuis, ROOSE (1973) a observé, sur des sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire, que lorsque la pente augmente de 4 % à 22 % l'érosion augmente exponentiellement, mais le ruissellement diminue. PLANCHON (1991) a montré en savane humide que le ravinement et les transports solides sont discontinus le long des versants. En Algérie, les résultats des mesures en parcelles montrent qu'il n'y a pas de liaison directe entre la pente et les pertes en terre : le ruissellement a tendance à diminuer (ROOSE et ARABI dans ce *Cahier*). Ce faisceau de résultats remet sérieusement en cause les méthodes classiques d'aménagement de bassin versant s'appuyant sur les cartes de pente, des sols et d'occupation des sols : on ne peut faire l'économie de l'étude du fonctionnement de la couverture pédologique.

Enfin, le couvert végétal a été rapidement reconnu comme le facteur le plus déterminant de l'érosion (STALLINGS, 1953 ; HUDSON, 1992 ; ROOSE, 1973). Il faut cependant distinguer nettement la « canopée », qui domine le sol de quelques décimètres ou mètres, des litières qui traînent à la surface du sol et absorbent non seulement l'énergie des gouttes de pluie et les restituent sans énergie, mais interceptent aussi l'énergie du ruissellement (WISCHMEIER et SMITH, 1978). Alors qu'il n'est pas toujours facile d'augmenter la densité de plantation, on s'oriente aujourd'hui vers le semis direct (LAL, 1976) et la gestion des adventices, des légumineuses de couverture ou des résidus de culture à la surface du sol (KLEIN, 1994 ; SÉGUY et BOUZINAC, 1995 ; BOLI, 1996). Pour réduire l'érosion de 50 %, il suffit d'une couverture de 30 % de litière ou de 60 % de canopée haute de 50 cm !

LE CONTENU DES TROIS CAHIERS ORSTOM « SPÉCIAL ÉROSION »

En trente ans, les *Cahiers Orstom, série Pédologie* ont publié plus de soixante-dix articles concernant l'érosion, ses facteurs de variation et les moyens de lutte antiérosive ; les uns sont dispersés au fil des ans (dynamique actuelle, matière organique et stabilité structurale), mais la plupart sont regroupés dans trois numéros spéciaux.

Le numéro 22, 2 (1986) présente treize articles sur l'efficacité relative des méthodes de conservation des sols dans différentes régions d'Europe, d'Amérique latine, d'Afrique soudanienne et des montagnes méditerranéennes. L'érosion y est déjà présentée comme un signal d'alarme avertissant du déséquilibre prononcé entre le milieu écologique et le mode de gestion. On y souligne la dissociation possible des zones de naissance du ruissellement (par encroûtement de surface ou par saturation) et des zones d'érosion linéaire (dans les bas de pente). Les terrasses sont fortement critiquées car elles ne s'attaquent pas aux causes du ruissellement ni de l'érosion, mais tentent d'en réduire les conséquences à l'aval. Les approches biologiques, qui corrigent le système de production ou qui ralentissent la nappe ruisselante et dissipent son énergie, semblent plus performantes que les techniques purement mécaniques des banquettes de diversion. Une analyse fine des méthodes traditionnelles de gestion des eaux de surface (*jessour*, cordons de pierres, haies vives et autres microbarrages perméables dissipant l'énergie du ruissellement) montre qu'elles sont finalement moins coûteuses, mieux acceptées par les paysans et plus efficaces que les terrassements conventionnels.

Le numéro 25, 1-2 (1989-90) rassemble quinze articles consacrés à l'érodibilité des sols — c'est-à-dire à la résistance du sol à différents processus d'érosion — et à l'érodibilité des terres en fonction de leur pente, des techniques culturales et des cultures, de l'érodibilité du sol et des pratiques antiérosives. La diversité des processus d'érosion nécessite des approches à différentes échelles de temps et d'espace, combinant des mesures de terrain sous pluies naturelles ou simulées à divers tests de laboratoire : on n'a pas trouvé de test universel.

Le présent numéro propose cinq articles sur la réhabilitation des sols, neuf articles sur la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols, et deux notes techniques sur des méthodes simples permettant de mieux évaluer la dynamique de l'eau sur un versant. Il a fallu deux années à l'éditeur scientifique pour réunir l'ensemble des résultats disponibles sur ces thèmes, de telle sorte que certaines références citées sont postérieures à 1993. Cependant, il eût été dommage de ne pas regrouper l'ensemble de ces résultats positifs alors que s'achève la série *Pédologie des Cahiers de l'Orstom*.

La restauration/réhabilitation des sols

Pour les écologistes, la restauration au sens strict consiste à interrompre les facteurs de dégradation pour permettre au milieu de retrouver naturellement la flore et la faune primitives (ARONSON *et al.*, 1993). Comme on ignore souvent la composition du milieu primitif, la restauration au sens large correspond à l'arrêt de la dégradation et à l'orientation du système perturbé vers ce qu'on suppose être l'écosystème équilibré primitif. Mais, si la dégrada-

tion a dépassé certains seuils irréversibles, le milieu ne peut plus être restauré naturellement. On parle de réhabilitation lorsqu'on est obligé d'intervenir énergiquement pour restituer une certaine autonomie à l'écosystème profondément dégradé. Enfin, les écologistes proposent le terme de réallocation lorsqu'on destine une part du paysage à un nouvel usage qui n'a pas de rapport intrinsèque avec l'écosystème dégradé (par exemple, la plantation d'eucalyptus dans une savane) (fig. 2).

Le terme de « réhabilitation » des écologistes correspond souvent aux termes de « *mine soils reclamation* » ou de « *soil restoration* » des pédologues, utilisés lorsqu'il s'agit d'intervenir énergiquement pour rétablir la capacité de production du sol. Il faudrait encore introduire une nuance, dans ce sens que les sols primitifs ne sont pas forcément très productifs (par exemple, les sols forestiers acides à haut niveau de R_2O_3 libres toxiques) : pour les pédologues, la restauration des sols est une intervention naturelle (la jachère, par exemple) aboutissant avec le temps à l'amélioration des propriétés liées à leur productivité. Dans les articles qui suivent, l'homme est intervenu artificiellement pour relancer le fonctionnement hydrique des vertisols « hardés » et des « zipellés » du Burkina, pour reconstituer un complexe argilo-humique sur les cendres volcaniques du Salvador ou pour réduire la toxicité aluminique dépendante du pH des vieux sols ferrallitiques du Bénin, du Rwanda et du Burundi : il s'agit donc de réhabilitation ou d'amélioration foncière si on crée les conditions biologiques et physico-chimiques qui améliorent la croissance des plantes. Cependant, on peut augmenter la production végétale en améliorant la nutrition des plantes sans pour autant modifier significativement la composition chimique du sol, ni réduire ses carences minérales : c'est le cas de l'apport de fumier, dans la pratique du zaï au Burkina, ou sur les sols ferrugineux sableux de Mbissiri (Cameroun), qui améliore nettement la production végétale sans modifier la teneur en carbone du sol, ni sa résistance à l'érosion.

Les pédologues ont souvent présenté les sols comme une ressource non renouvelable. Certes, il est des circonstances (comme pour les sols superficiels sur roches dures) où il n'est pas possible (ou pas rentable), à l'échelle d'une génération, de réintroduire une couverture végétale sur ces paysages décapés. Le premier objectif de ce numéro est de montrer que, en dehors des longs processus de restauration des sols par la jachère, il existe diverses techniques plus ou moins complexes qui permettent d'abord de restaurer la productivité des terres en un ou deux ans, puis d'améliorer progressivement les composantes du sol liées à la fertilité.

C'est le cas :

— de l'apport de fumier de poule et de feuilles de *Gliricidia sepium* sur les cendres volcaniques du Salvador (COLLINET et MAZARIEGO) ;

— de la « roturación », du terrassement, de la fertilisation et de la rotation (blé-maïs-fève-haricot) sur les cendres indurées du Mexique (QUANTIN, PRAT, ZEBROWSKI) et de l'Équateur (DE NONI et VIENNOT) ;

— de la jachère courte de *Mucuna* sur les sols ferrallitiques acides du Bénin (AZONTONDE) ;

— du buttage cloisonné des vertisols dégradés (hardés) du Nord-Cameroun (MASSE *et al.*) ;

— du fumier de chèvre sur les sols ferrugineux sableux labourés du Nord-Cameroun (BOLI *et al.*) ;

— du zaï, du fumier et du complément minéral sur les sols dégradés (zipellés) du Burkina (ROOSE *et al.*) ;

— du fumier, du paillage, de la chaux et du complément minéral sur les sols ferrallitiques acides du Rwanda (ROOSE, NDAYIZIGIYE, SEKAYANGE) et du Burundi (RISHIRUMUHIRWA).

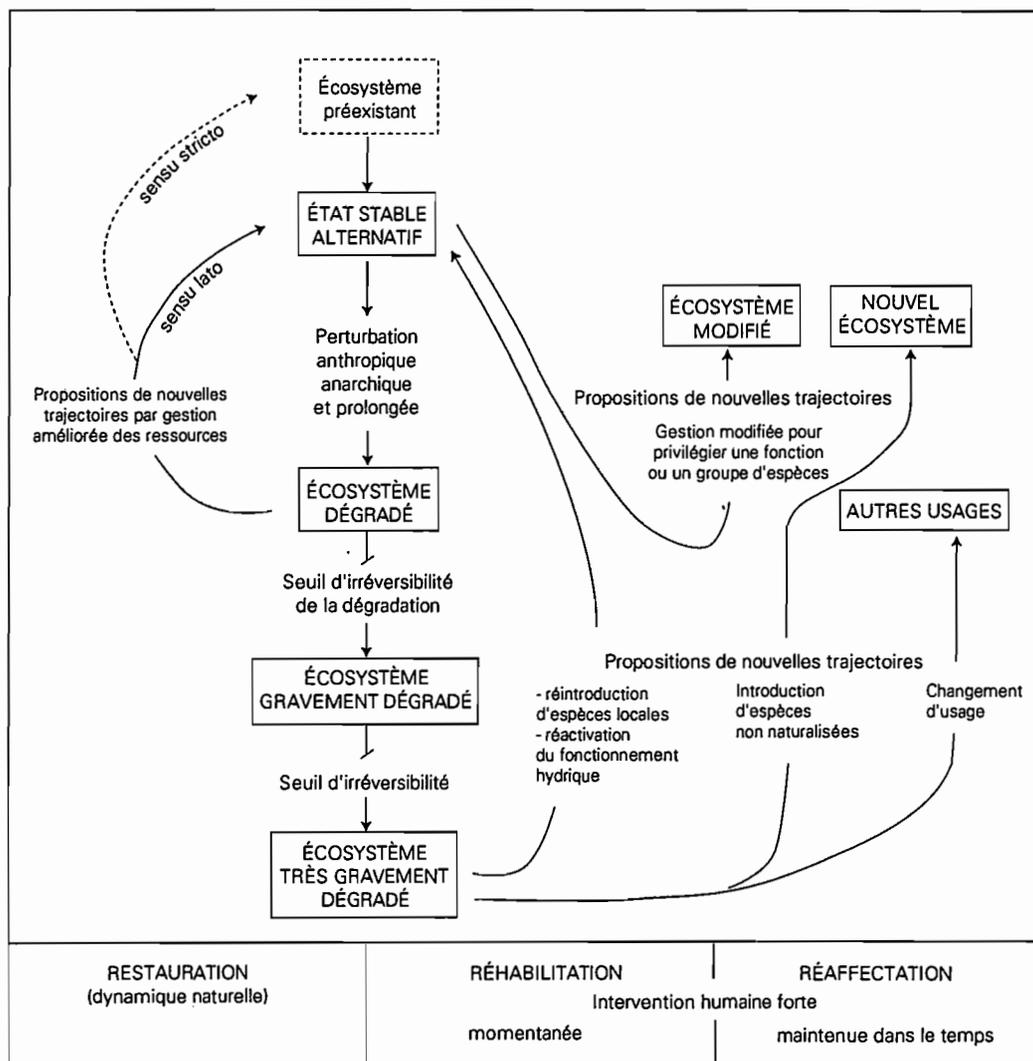


FIG. 2. — Modèle général décrivant la dégradation des écosystèmes et les trois voies majeures envisagées pour y remédier. D'après ARONSON *et al.*, 1993.

General scheme describing ecosystems degradation and the three main ways considered to solve the problems. After ARONSON *et al.*, 1993.

Expérimentations sur la stratégie de GCES dans diverses conditions écologiques

Le deuxième objectif de ces *Cahiers* est de montrer que, en combinant la gestion de l'eau, de la matière organique

et des nutriments indispensables pour la croissance optimale des cultures, on peut à la fois réduire les risques érosifs et améliorer substantiellement la productivité des terres et du travail. Cet exercice complexe a été tenté dans des milieux très divers :

— sur les collines d'Haïti, en intensifiant la production végétale grâce à des citernes collectant le ruissellement sur les pistes rurales, grâce à des haies vives et à des techniques culturales améliorées (SMOLIKOWSKI) ;

— dans les cerrados du Brésil, en sélectionnant les techniques de semis direct (BLANCANEUX *et al.*) ;

— dans les montagnes de l'Équateur, en combinant la fertilisation, les rotations et des structures antiérosives perméables (DE NONI et VIENNOT) ;

— dans quatorze sites montagneux méditerranéens en Algérie du Nord-Ouest, en améliorant les techniques culturales et les cultures associées (ROOSE, ARABI *et al.*) ;

— dans les blocs de culture de coton du Nord-Cameroun, en associant le travail du sol et les litières, la fertilisation organique et minérale, le paillage et les haies vives (BOLI, *et al.*) ;

— dans les montagnes de l'Ouest-Cameroun, en conjuguant les haies, le bocage et les techniques culturales (FOTSING) ;

— dans les collines du Rwanda, en combinant les haies vives de légumineuses arborescentes au fumier, au paillage et aux compléments minéraux NPK et Ca (ROOSE, NDAYIZIGIYE, SEKAYANGE) ;

— dans les collines du Burundi en optimisant la gestion de la biomasse dans la bananeraie, du fumier et des compléments minéraux NPKCa (RISHIRUMUHIRWA) ;

— dans la zone soudano-sahélienne du Burkina, en analysant les limites des aménagements de terroir basés sur la construction de cordons de pierres ou de haies vives, les techniques culturales, la fertilisation organique et son complément minéral (DUGUÉ *et al.*).

La dynamique de l'eau et l'érosion sur les versants

De nombreuses études ont abordé les problèmes posés par l'érosion en nappe sur des pentes modérées. Bien qu'on ait décrit l'existence en montagne d'autres processus plus actifs (ravinement, glissement de terrain, érosion mécanique sèche consécutive aux travaux culturaux), peu d'études dépassent le stade de la typologie, de la morphologie et de la cartographie des processus. Comme la modélisation sur la base des processus physiques, lancée il y a vingt ans, n'a pas encore donné de résultats satisfaisants ni applicables à grande échelle, on continue à évaluer les risques d'érosion des grands bassins versants à l'aide de SIG, de vues aériennes... et des facteurs de l'équation de perte en terre de WISCHMEIER et SMITH (1960, 1978)

(USLE plus ou moins révisée), laquelle n'a été prévue que pour l'érosion en nappe et en rigole.

À la fin de ce numéro, deux notes techniques décrivent des méthodes simples permettant d'aborder l'analyse de la capacité d'infiltration (monocylindre), de la circulation des eaux dans le profil pédologique (*subsurface flow*) et sur le versant (simulateur de ruissellement).

CONCLUSION

Si les problèmes d'érosion, de dégradation et de restauration de la fertilité des sols sont anciens, la recherche scientifique dans ce domaine est très récente (60 ans !).

La majorité des études concerne l'érosion en nappe due à la battance des pluies sur des pentes modérées. Cependant, en région tropicale, des populations nombreuses cultivent des versants très raides ; les processus de naissance du ruissellement et d'érosion y sont très différents et mériteraient des études approfondies permettant la modélisation des facteurs déterminants et le développement d'une lutte antiérosive moins empirique.

Contrairement à ce qu'on a cru longtemps, la résolution des problèmes de lutte antiérosive se heurte, outre le refus par les « bénéficiaires » des techniques imposées par les technocrates, à la nécessaire adaptation des techniques de lutte aux processus divers et aux conditions socio-économiques qui prévalent localement. Des progrès techniques sont encore nécessaires pour définir l'efficacité et les limites d'utilisation de ces techniques et pour mieux prévoir les risques de ruissellement et d'érosion avant que les sols ne soient trop dégradés.

Des succès récents, bien que localisés et partiels, donnent enfin l'espoir que le monde ne marche pas fatalement à la catastrophe à cause d'une croissance démographique sans précédent historique. Il n'est plus temps de « conserver les sols » : il faut d'urgence intensifier la productivité de la terre et du travail.

Devant la diversité des problèmes posés, se dessine un large champ de recherche axé sur l'adaptation des techniques de gestion durable de l'eau, de la biomasse et de la fertilité du sol aux conditions écologiques et humaines. Avec une approche participative (la GCES), s'appuyant d'abord sur les méthodes traditionnelles améliorées et, si nécessaire, sur les techniques mécaniques plus sophistiquées, il est possible d'améliorer sérieusement l'efficacité de la lutte antiérosive et de réhabiliter la productivité des sols dégradés, en attendant la stabilisation de la population.

BIBLIOGRAPHIE

- ARONSON (J.), FLORET (C.), LE FLOC'H (E.), OVALLE (C.), PONTANIER (R.), 1993 — Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. I. A view from the South. *Restoration Ecology*, 1 (1) : 8-17.
- BENNET (H. H.), 1939 — *Elements of soil conservation*. New York, Mac Graw-Hill.
- BOLI (Z.), 1996 — *Fonctionnement des sols sableux et optimisation des pratiques culturales en zone soudanienne humide du Nord-Cameroun (Mbissiri)*. Thèse doct., sciences de la Terre, univ. Dijon/Orstom/Ira, 345 p.
- CRITCHLEY (W.), REIJ (C.), SEZNEC (A.), 1992 — *Water harvesting for plant production. Part II. Case studies and conclusion for Sub-Sahara Africa*. Washington, World Bank, Technical paper, 120 p.
- ELLISON (W. D.), 1944 — Studies of raindrop erosion. *Agric. Eng.*, 25 : 131-181.
- GRÉCO (J.), 1978 — *La défense des sols contre l'érosion*. Paris, La Maison Rustique, 183 p.
- HEUSCH (B.), 1986 — Cinquante ans de banquettes de DRS en Afrique du Nord : un bilan. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 22 (2) : 153-162.
- HUDSON (N. W.), 1991 — Reasons for success or failure of soil conservation projects. *FAO Soils Bull.*, 64, 65 p.
- HUDSON (N. W.), 1992 — *Land husbandry*. London, Batsford, 192 p.
- KLEIN (H. D.), 1994 — *Introduction des légumineuses dans la rotation céréales-cotonnier au Nord-Cameroun : gestion et utilisation*. Maisons-Alfort, Cirad-EMVT, 184 p.
- LAL (R.), 1976 — *Soil erosion problems on an alfisol in Western Nigeria and their control*. Ibadan, IITA, Monograph 1, 208 p.
- LILIN (C.), 1986 — Histoire de la restauration des terrains en montagne. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 22 (2) : 139-146.
- LOVEJOY (J. B.), NAPIER (T.), 1976 — Conserving soil : sociological insights. *J. Soil and Water Conservation*, 415 : 304-410.
- LOWDERMILK (W. C.), 1953 — Conquest of the land through 7 000 years. *Agric. Information Bull.* (USDA, SCS), 99.
- MONJAUZE (A.), 1962 — *Rénovation rurale : rôle et dispositif d'infiltration*. Alger, Délégation générale, département des Forêts, service de DRS, 16 p.
- PLANCHON (O.), 1991 — *Étude spatialisée des écoulements sur les versants et leurs conséquences sur l'hydrologie et l'érosion. Exemple en savane humide (Booro-Borotou, Côte d'Ivoire)*. Paris, Orstom, 340 p.
- PLANTIE (I.), 1961 — *Technique franco-algérienne des banquettes de DRS*. Oran, Délégation générale, département des Forêts, service de DRS, 22 p.
- PUTOD (R.), 1956 — La protection des vignes contre l'érosion. *Rev. Agron. Afrique du Nord*, 1992 : 567-576.
- ROOSE (E.), 1973 — *Dix-sept années de mesure de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse Côte d'Ivoire*. Thèse doct.-ing., fac. Sciences, Abidjan, 125 p.
- ROOSE (E.), 1977 — *Érosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest*. Paris, Orstom, coll. Travaux et documents, 78, 105 p.
- ROOSE (E.), 1987 — « Gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols dans les paysages soudano-sahéliens d'Afrique occidentale ». In : *Compte rendu du séminaire Icrisat/Inran*, Niamey, Niger : 57-72.
- ROOSE (E.), 1994 — Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bull. Pédol.* FAO, 70, 420 p.
- ROOSE (E.), KABORE (V.), GUENAT (Cl.), 1994 — « Le zaï, une technique traditionnelle africaine de réhabilitation des terres dégradées de la région soudano-sahélienne (Burkina Faso) ». In Pontanier (R.), M'Hirit, Akrimi, Aronson, Le Floch, éd. : *L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ?* Paris, J. Libbey Eurotext : 249-265.
- ROOSE (E.), SARRAILH (J. M.), 1989-1990 — Érodibilité de quelques sols tropicaux. Vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 25 (1) : 7-30.
- SÉGUY (L.), BOUZINAC (S.), 1995 — *Modélisation et mise en pratique de systèmes de culture mécanisés*. Programme Zap/ Cirad-CA, n° 20, 47 p.
- SHAXSON (T. F.), HUDSON (N. W.), SANDERS (D. W.), ROOSE (E. J.), MOLDENHAUER (W. C.), 1989 — *Land husbandry : a framework for soil and water conservation*. Ankeny (Iowa), Soil and Water Conservation Society, WASWC, 64 p.
- STALLINGS (J. H.), 1953 — Continuous plant cover : the key to soil and water conservation. *J. Soil and Water Cons.*, 8 : 63-68.
- WISCHMEIER (W. H.), SMITH (D. D.), 1960 — « A universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning ». In : *7th Congress ISSS 1* : 418-425.
- WISCHMEIER (W. H.), SMITH (D. D.), 1978 — *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. Washington, USDA, Agriculture Handbook n° 537, 58 p.

SYNOPSIS DE L'ÉVOLUTION DES CONNAISSANCES SUR LA LUTTE ANTIÉROSIVE

- 2000	Asie	Invention des terrasses en gradins irrigués.
+ 1000	Crète	Terrasses méditerranéennes avec murs de pierres sèches.
> 1400	Pérou	Terrasses avec murs de pierres taillées plus sol reconstitué.
1850	France	RTM : reforestation et correction torrentielle dans les Alpes et les Pyrénées.
1889	Allemagne	Premières parcelles de mesure de l'érosion.
1930	USA	CES : invention des terrasses de diversion (Bennet).
1940-1980	Maghreb	DRS, mariage de la RTM et de la CES : reforestation et diverses banquettes dans le bassin méditerranéen.
1944	USA	« Effet splash » : étude de la battance des gouttes de pluie sur la structure de l'horizon superficiel et de l'impact sur le ruissellement (Ellison).
1954-1991	Afrique	Extension d'un réseau de parcelles d'érosion en zone tropicale : évaluation de l'érosion sous diverses cultures (Fournier, Bailly, Charreau, Fauck, Roose).
1958-1978	USA	USLE : premier modèle de prévision des risques de pertes en terre en fonction de l'agressivité des pluies et de la résistance du milieu (Wischmeier et Smith).
1960	Rhodésie	Hudson démontre que l'intensification des cultures réduit les risques d'érosion en augmentant le couvert végétal.
1965	USA	Meyer, Swanson... mettent au point des simulateurs de pluie.
1972	Maroc	Heusch démontre que, sur les vertisols, le ruissellement et l'érosion sont plus forts en bas de pente (sur pente faible saturée) qu'en haut de pente (pente forte).
1973-1980	Côte d'Ivoire	Roose montre que, sur les sols ferrallitiques, le ruissellement décroît lorsque la pente augmente, mais l'érosion augmente. Les sols tropicaux sont plus résistants à la battance que prévu.
1960-1981	France	Théorie des aires contributives au ruissellement (Cappus, Riddle, Cosandey).
1987	Porto Rico	Séminaire sur les causes de l'échec de la CES et de la DRS. Proposition d'une nouvelle approche participative, <i>Land husbandry</i> (Shaxson <i>et al.</i>) et GCES (Roose).
1986-1994	Afrique	Nouvelle approche de la gestion des eaux de surface par dissipation de l'énergie du ruissellement en nappe (Roose) sur la rugosité de la surface du sol et les microbarrages perméables (Roose, Serpantié, Lamachère).
1988	Brésil	La matière organique, bon indicateur du degré d'érosion d'un sol (Leprun).
1989	Afrique	Modélisation du ruissellement en zone sahélienne à partir des états de surface (Casenave et Valentin).
1989	Côte d'Ivoire	Discontinuité du ruissellement sur les versants (Planchon).
1990-1995	Tropiques	Diverses techniques de restauration des sols : le zaï au Burkina (Roose <i>et al.</i>), les haies vives plus les fertilisants au Rwanda (Ndayizigiye), le fumier et le travail du sol au Cameroun (Boli <i>et al.</i> , Pontanier <i>et al.</i>), au Mexique (Quantin <i>et al.</i>), au Salvador (Collinet), en Équateur (De Noni <i>et al.</i>).