

L'Erosion... un problème actuel d'environnement ?

La GCES, une nouvelle stratégie de lutte antiérosive pour résoudre ce problème de société en croissance

par Eric Roose
Directeur de Recherche en pédologie à l'ORSTOM, Centre de Montpellier
Président du réseau Erosion

Communication au Symposium International de Saint Cloud : 25-29 mai 1992
"Erosion des terres agricoles en milieu tempéré de plaines et de collines"

Résumé :

Dans la nature, tant que les sols sont couverts, l'érosion géologique reste du même ordre de grandeur que l'altération des roches (soit 1 mètre en 100 000 ans). Mais lorsque la densité de population dépasse certains seuils (40 - 100 - 800 habitants par km²), le ruissellement augmente dangereusement et l'érosion peut être multipliée par mille de telle sorte que les sols sont décapés en quelques dizaines d'années ou sont dégradés par l'érosion en nappe sélective des colloïdes et des nutriments. L'érosion ainsi accélérée est aussi un signe d'un déséquilibre de la société.

La lutte antiérosive est plus complexe que prévu, car les processus en cause sont nombreux et les facteurs écologiques intriqués avec les problèmes d'ordre socio-économique. Enfin, l'érosion varie énormément à différentes échelles de temps et d'espace.

Durant les siècles précédents, les sociétés humaines ont laissé les traces de leurs tentatives de lutte antiérosive.

Les **Stratégies traditionnelles** sont étroitement liées aux conditions socio-économiques. Par exemple, l'agriculture sur brûlis est un système équilibré là où la terre est abondante et où la population peu dense vit en autosubsistance. Par contre, le système des terrasses méditerranéennes apparaît là où la terre est rare, sauf en montagne, et que la main d'oeuvre est abondante et bon marché. Ces méthodes traditionnelles sont efficaces, mais souvent abandonnées aujourd'hui parce que les salaires sont plus attractifs à l'usine.

Des méthodes modernes d'équipement rural ont ensuite été développées :

La **RTM** - restauration des terrains en montagne - a été développée dans les Alpes et les Pyrénées autour des années 1850 par des ingénieurs civils ou forestiers pour protéger le réseau routier, les barrages et les vallées irriguées : il s'agit essentiellement de reforester les hautes vallées et de corriger les torrents.

La **CES**, conservation de l'eau et des sols, fut mise au point vers 1930 pour protéger la productivité des sols cultivés de la Grand Plaine Américaine ainsi que la qualité des eaux indispensables au développement des grandes villes.

En 1968, plus de 50 % des chercheurs du département de conservation des sols s'occupaient de la pollution des eaux pour l'érosion !

Enfin la **DRS**, défense et restauration des sols (dégradés) a été développée dans le bassin méditerranéen entre 1940-80 par des forestiers et des agronomes pour protéger les réservoirs de l'envasement accéléré. Depuis les années 1980-87, plusieurs chercheurs ont montré l'échec de cette approche d'équipement rural et développé une stratégie tenant mieux compte de l'intérêt des paysans. Un manifeste "comment soigner sa terre" a remplacé la grosse bible de Bennet (1939) qui a servi de modèle à tous les manuels de conservation des sols. En France et Outre-Mer, une nouvelle stratégie (la GCES = Gestion Conservatoire de l'Eau et de la fertilité des Sols) a été développée et expérimentée chez les paysans, visant d'abord à résoudre les problèmes de revenus, d'amélioration de la production et de sa sécurité, de valorisation du travail et de l'aménagement de l'environnement rural. La lutte antiérosive n'est plus le thème principal, mais plutôt une conséquence de l'amélioration de la capacité d'infiltration des sols, de l'augmentation de la production de biomasse - donc de couvert - en favorisant une bonne gestion de l'eau et des nutriments.

Summary:

In the Nature, as long as soils are covered, geological erosion is ± balanced by rock weathering (1 meter in 100 000 years). But when population density increases above thresholds (40-100-800 inhabitants/km²), runoff increases and erosion is multiplied by 1000 so that soils are scoured in a few dozen of years or are degraded ("TIRED") by selective erosion. The accelerated erosion is also the sign of a socio-economic change of the society.

Fighting against erosion is more difficult than it was primitively believed, because erosion processes are numerous and ecological factors are intricated with socio-economical problems. There are language confusions because various actors use the same terminology without a good understanding of their deep signification. Erosion processes are different at various scale of time and space.

During preceding centuries, societies have left traces of their soil and water conservation attempts

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 35.903 ex 1

Cote : B M P80

06 OCT. 1992

Traditionnal strategies are linked to socio-economical conditions: slash and burn system where ground is abundant and few people live in autosubsistence, or Mediterranean bench terracing if ground is scarce and labour cheap. But numerous traditionnal systems are now abandoned because labour is better valorized at the factory than in the country.

Modern equipment strategies were developped:

"RTM" - Mountainous Terrain Restoration - around 1850 in Alps and Pyrenee's mountains by civil and forester engineers to protect roads, dams and valleys by reforestation and torrential correction.

"CES" - Water and Soil Conservation around 1930 - in the USA Great Plain to protect soil productivity and water quality for townsmen: but in 1968 more than 50% of researchers of the Soil and Water Conservation Department were doing research about water pollution!

"DRS" - Defens and Soil Restoration was developped in Mediterranean area betwen 1940-80 by foresters and engineers to restore the green cover of the upper valleys and to reduce soil degradation and siltation in reservoirs. Around 1980-87, many researchers have proved the failure of this "rural equipment approach" and developped a "down top approach" taking more in account the farmers interest. A new booklet "Land husbandry" (1988) has replaced the big bible of Bennet (1939), which was the unique model of all the soil conservation manuals. In France and overseas a new approach GCES (Water and Soil fertility management) was developped and experimented on farmers fields looking first to farmers problems, like net income and production security improvement, labour valorization and rural environment management. Soil erosion is not the flag anymore, but "a consequence" of water infiltration soil capacity and biomass production increase, by water and soil nutrients management improvement.

Mots-clés : Stratégie antiérosive : RTM - DRS - CES - GCES. Diversité des processus, aspects économiques, gestion de l'eau, gestion de la fertilité des sols.

INTRODUCTION : l'érosion, est-ce encore un problème de recherche ?

L'érosion est un problème vieux comme le monde. Mais aujourd'hui, son importance croît avec la pression démographique et socio-économique. Avec la croissance du nombre d'hommes et de leurs besoins, s'étendent les défrichements des terres fragiles, le surpâturage, l'exploitation intensive des sols sans apports correspondants de nutriments et de matières organiques. Il s'ensuit une dégradation accélérée de la couverture végétale d'abord, du sol ensuite, puis du réseau hydrologique et du microclimat. L'érosion est donc le signe d'un déséquilibre entre les potentialités du milieu et le mode de gestion par la société moderne. Si c'est le mode d'exploitation des sols qui est à l'origine de l'érosion, on peut espérer mettre au point des systèmes de production mieux adaptés, et réduire les pertes par érosion.

Il y a sept millénaires que les hommes ont montré leur capacité de lutter contre l'érosion : on peut donc analyser l'histoire et se demander pourquoi 80 % des projets actuels de LAE se terminent par des échecs ? Nous soulignerons d'abord la diversité des processus d'érosion, les confusions de langage, les discontinuités dans le temps et dans l'espace et les deux logiques d'approches de la lutte antiérosive : d'une part, la protection ou mieux, l'amélioration du potentiel de productivité des sols ; d'autre part, la conservation de la qualité des eaux et des ouvrages d'art.

Ensuite, nous donnerons des éléments de solution :

- quelques résultats de la recherche,
- une nouvelle stratégie de LAE, la GCES, dont l'objectif moyen est de résoudre en même temps les problèmes de survie des paysans et d'améliorer leur environnement.

Enfin, nous tirerons quelques conclusions dont la validité devra être modulée en fonction des situations régionales :

- dans les pays d'agriculture intensive excédentaire, le problème est surtout de conserver la qualité des eaux,
- dans les pays en développement, il faut non seulement conserver les sols, mais restaurer leur fertilité et répondre au challenge : doubler la production tous les 20 ans !

1 - L'EROSION OU LES EROSIONS... un problème de langage lourd de malentendus

1.1. Diversité des processus d'érosion en fonction des échelles de temps

L'érosion géologique normale dans le milieu naturel est très lente (de l'ordre de 0,1 t/ha/an, soit 1 mètre de sol érodé en 100 000 ans) en équilibre avec l'altération des roches : d'où la formation de sols d'autant plus profonds que le climat est chaud et humide.

Mais dès que l'homme et les animaux se multiplient, la couverture végétale se dégrade, le ruissellement se développe et l'érosion est multipliée par 1000 ($E = 10$ à 700 t/ha/an ; ruissellement = 20 à 70 %). Il suffit de quelques dizaines d'années pour décaper 1 mètre de sol !

TABLEAU I : DIVERSITE DES PROCESSUS, DES CAUSES, DES FACTEURS ET DES CONSEQUENCES DE L'EROSION.

Processus	Causes	Facteurs	Conséquences
Dégradation des sols	Minéralisation des matières organiques	- Température - Humidité - Biomasse restituée	- Taux matière organique - Stockage eau + nutriments - Porosité, infiltration - Ruissellement
Erosion en nappe	Battance des pluies - tassement - cisaillement - projection	- Couvert végétal 1 000 - Pente 0,1 à 20 200 - Sol 0,01 à 0,30 30 - Structure A.E. 1 à 0,1 10	- Croûte de battance + tassement - Ruissellement - Erosion sélective - Décapage
Erosion mécanique sèche	Travail du sol	- Fréquence - Intensité - Pente - Friabilité	- Décapage horizon humifère
Ravinement	Energie du ruissellement $E = \frac{M \cdot V^2}{2}$	- Volume ruisselé = f { surface b.v. pluie, intensité - Vitesse = f(pente, rugosité) - Résistance du sol x végétation - Structures A.E : seuils, épis	- Entailles profondes - Déséquilibre des versants - Cônes de déjection
E = en Masse (glissement) versants	Gravité > cohésion	- Poids couverture { sol + eau + végétation - Humectation du plan de glissement - Pente et drainage	- Décapage des versants - Coulées boueuses

CONCLUSIONS :

1. Diversité des formes, causes, facteurs et méthodes de lutte
2. Variabilité dans le temps et dans l'espace de l'intensité de l'érosion
3. Grande importance des états de la surface du sol

L'érosion catastrophique provient de la combinaison de causes géologiques et de la gestion imprudente des hommes.

Elle s'accélère de façon dramatique :

- le ravinement en zone méditerranéenne atteint **100 à 300 t/ha par jour**,
- les glissements de terrain peuvent déplacer des millions de m³ en une heure.

L'exemple de l'orage qui dévasta Nîmes le 3 octobre 1988 est dans toutes les mémoires. En six heures, il a plu 420mm : les torrents ont tout balayé dans les vieux quartiers de la ville. Bilan : 11 morts et 4 milliards de dégâts ! Pire, en Colombie, le volcan Nevado Ruiz, en rejetant de la vapeur d'eau a provoqué une énorme lave torrentielle qui a englouti une ville de 25 000 habitants en une nuit !

En conclusion :

- Il est difficile de mesurer des processus aussi discontinus dans le temps et dans l'espace. La recherche en est encore aux balbutiements.
- La presse et l'Etat ne s'occupent que des catastrophes qui émeuvent l'opinion publique.
- Quant à nous, nous nous intéresserons plus particulièrement à l'érosion débutante - en nappe et rigole - l'érosion accélérée par l'homme car c'est sur elle que nous pouvons avoir prise. Mieux vaut prévenir que tenter de guérir les catastrophes.

1.2. Diversité des logiques : des intérêts différents dans l'espace

L'érosion est la somme de trois processus : l'arrachement, le transport et la sédimentation. Ces trois processus sont présents partout, mais leur importance varie dans l'espace.

En montagne, dominant les arrachements et les forestiers développent la RTM.

En piedmont, érosion et surtout transport, sont bien développés : la DRS veille à revégétabiliser les hautes vallées et maîtriser les torrents.

Dans les collines et les plaines, les arrachements sont surpassés par la sédimentation et la pollution : la CES et la lutte contre la sédimentation et la pollution sont des plus nécessaires.

En fonction de l'espace, les stratégies diffèrent, les acteurs également :

- Sur les versants, l'érosion dégrade les sols. **La logique amont ou les stratégies paysannes visent d'abord à augmenter la productivité de la terre**, sa durabilité et sa sécurité. Les moyens les mieux appropriés consistent à modifier les systèmes de production mal équilibrés. Les principaux acteurs sont les paysans, les seuls qui soient capables d'entretenir l'environnement rural et la productivité des terres.
- Dans les rivières, les transports solides dégradent **la qualité des eaux** et menacent les plaines en aval. **La logique aval** vise d'abord à équiper la vallée pour protéger la qualité des eaux, réduire l'envasement des réservoirs, corriger les torrents et ravins. Les principaux intéressés sont les citoyens, les ingénieurs et le pouvoir central : ils font généralement appel à des équipements lourds et à des méthodes physiques pour réduire les transports solides.

Il est fondamental de bien discerner ces deux logiques visant deux objectifs différents. Seuls les paysans peuvent entretenir et améliorer leurs terres, mais l'Etat doit prendre en charge les grands travaux de reforestation des sommets, de correction des ravins, des torrents, de fixation des berges, de dévasement, ainsi que la formation et la recherche.

1.3. La diversité des processus, des causes et des facteurs (tableau 1)

La dégradation des terres peut avoir plusieurs causes : salinisation en zone aride, compaction, lors de la motorisation, acidification par les engrais minéraux, minéralisation des matières organiques. Elle se développe dès le défrichement, avant les premiers symptômes d'érosion (pas de transport), mais s'accélère avec l'érosion.

L'érosion en nappe est dangereuse car peu visible (1 mm = 15 t/ha !) et sélective vis-à-vis des colloïdes organiques et minéraux ainsi que des nutriments adsorbés. Elle fatigue la terre, c'est à dire la rend impropre à stocker l'eau et les nutriments. Ce processus est mal perçu des paysans : à ma connaissance, aucun dialecte africain ne possède de mot particulier pour nommer ce processus pernicieux.

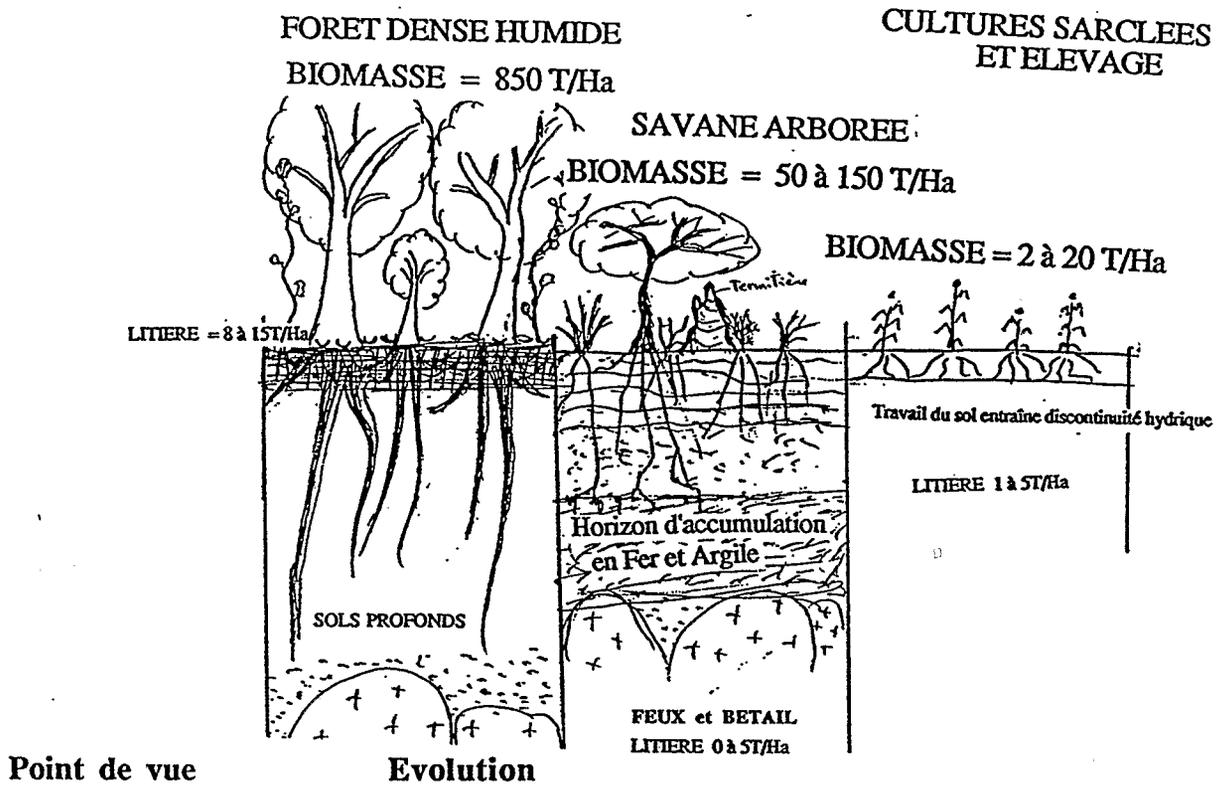
L'érosion linéaire est mieux connue : dès avant Bennet, on cherche à ralentir la vitesse du ruissellement par des seuils, on absorbe son énergie par des chutes, on réduit ses nuisances, mais on manque d'efficacité pour augmenter l'infiltration dans le sol et réduire le volume ruisselé.

L'érosion en masse est encore mal connue (en dehors de spécialistes) et difficilement maîtrisée : la présence d'arbres semble réduire sa fréquence. Par contre, le travail du sol sur les pentes provoque un glissement progressif des terres.

L'érosion mécanique sèche est souvent confondue avec l'érosion en nappe. On ignore presque tout sur les facteurs d'intensification ou de réduction de cette sorte de creeping sec très actif sur les montagnes surpeuplées. Les recherches viennent de commencer !

L'érosion éolienne ne se développe qu'après que le vent ait dépassé certains seuils de vitesse (25 km/heure). Les facteurs de pondération sont proches de ceux de l'érosion en nappe.

FIG. 1. NATURE DES PROBLEMES : LE DESEQUILIBRE DU MILEU "AMENAGE"



- Végétal {
 - Simplification de l'écosystème ----> biomasse ↘
 - Protection du milieu > < E soleil + pluie ↘

- Climat Réchauffement température -> assèchement du milieu

- Sol {
 - épaisseur de sol exploité ----> Réduction remontées biologiques
 - apports de litière {
 - taux de M.O. du sol
 - activités biologiques
 - dégradation de la structure {
 - croûtes battance
 - macroporosité
 - infiltration
 - risques de Ruissellement + EROSION + Lessivage
 - perdes de nutriments
 - capacité de stockage (eau + nutriments) ----> fatigue du sol
 - eau utile pour la production biomasse

1.4. La nature profonde du problème : le déséquilibre du "milieu aménagé" (fig. 1)

La forêt dense humide possède une biomasse de 850 t/ha et produit une litière de 8 à 15 t/ha/an qui protègent parfaitement le sol contre l'énergie du soleil et de la pluie. Les racines s'enfoncent profondément dans le sol, mais la majorité des racines exploite les 25 premiers centimètres, les plus riches en matières organiques et en nutriments. A l'ombre des frondaisons, les profils se développent sur plusieurs mètres, voire dizaines de mètres. L'érosion est lente. Sous savane, la protection est déjà moindre : la canopée (50-150 t/ha) et surtout, la litière brûlée ou pâturée, laissent pénétrer la chaleur et la pluie qui encroûte la surface du sol. Le ruissellement peut atteindre 40 à 70 %, surtout si les feux sont tardifs. Les eaux pénètrent moins profondément et les sols sont lessivés, plus argileux entre 50 et 100 cm. Mais sous culture, l'ambiance est encore plus sèche : la canopée est très réduite (2 à 20 tonnes selon les cultures) et la litière souvent inexistante, brûlée, utilisée ailleurs, valorisée par le bétail ou l'artisanat.

Du point de vue végétal, on observe :

- une simplification de l'agrosystème,
- une réduction de la biomasse.

Le pédoclimat est plus chaud, plus aride que sous forêt, d'autant plus que l'enracinement est limité à 25-50 cm de profondeur.

Le sol voit :

- ses remontées biologiques réduites (faible enracinement),
- la baisse de l'apport de litière, donc du taux de matières organiques du sol et des activités biologiques,
- les dégradations de la structure : croûtes de battance, écrasement de la macroporosité et baisse de la capacité d'infiltration.

Les risques de ruissellement augmentent, de même que l'érosion et le lessivage des nutriments par les eaux de drainage et ruissellement. Dès lors, les pertes de nutriments et de matières organiques s'accroissent, surtout dans les sols forestiers enrichis en surface par la litière : la capacité de stockage de l'eau et des engrais s'effondre. Le sol "fatigué" est incapable de valoriser l'eau et les nutriments qu'on lui offre : sa productivité baisse jusqu'à une limite stable, qui tient compte du système de production des remontées biologiques et des apports occultes par les pluies et les poussières. Traditionnellement, sans engrais, on produit toujours 4 à 8 quintaux de céréales ! Juste de quoi survivre dans la misère !

1.5. Les conséquences économiques de l'érosion

L'érosion entraîne des pertes de productivité du sol en place et des nuisances à l'aval. Cet aspect économique fait aujourd'hui l'objet de nombreuses recherches.

a) Les pertes sur les lieux de l'érosion (on-site)

Perte d'eau :

- le ruissellement entraîne en zone humide une diminution du drainage et une augmentation des débits de pointe des rivières, mais peu de changement de production ;
- par contre, en zone semi aride (ne fusse que pendant la saison sèche), le ruissellement entraîne la réduction de ETP et donc de la production de biomasse.

La lutte antiérosive (LAE) sera donc plus spectaculaire sur les rendements en zone semi aride.

Pertes d'engrais : elles se chiffrent par dizaines de kg de NPK, par centaines de tonnes d'érosion. Cela représente bien des millions à payer pour compenser en pertes d'engrais à l'échelle de chaque pays (Roose, 1973 ; Stocking, 1986). **Les pertes de production immédiates** sont facilement compensées par des apports d'engrais à l'échelon régional (2 à 10 %), mais elles peuvent être catastrophiques pour certains paysans qui vivent sur les zones à risques car ils perdent chaque année une large fraction de leurs revenus nets.

Les pertes de surface cultivable atteignent 7 à 10 millions d'hectares par an. A l'échelle mondiale, il faudrait trois siècles à ce rythme pour détruire tous les sols cultivables. A l'échelle régionale on trouve que 2 à 5 % de terres sont touchées par an ; mais certaines parcelles fragiles perdent jusqu'à 20 ou 100 % de leur terre arable lors de certains événements graves.

Les pertes de productivité à long terme sont très variables en fonction du type et de la profondeur du sol (voir schéma). La mémoire du sol s'inscrit dans la perte d'épaisseur de l'horizon humifère, la perte de capacité d'infiltration et de stockage de l'eau et des nutriments, la perte d'efficacité de l'eau et des intrants (= la fatigue du sol) et finalement, la chute de rentabilité d'une terre. Stocking et Biot ont ainsi modélisé la durée de vie des sols en fonction du rythme de l'érosion et de la profondeur de sol minimum indispensable pour maintenir la rentabilité d'un système de production.

Notons que certains sols profonds et riches sur toute leur épaisseur ne voient guère leur productivité diminuer. C'est le cas des sols bruns sur loess profonds.

Par contre, la majorité des sols africains concentrent leur fertilité en surface. La moindre perte de sol, par décapage, mais encore plus par érosion sélective, entraîne une forte chute de productivité, jusqu'à atteindre un seuil de stabilité à un niveau très bas (4 à 8 Q/ha/an de céréales).

b) Les nuisances à l'aval (off site)

Les eaux chargées du ruissellement se mêlent aux écoulements de base des nappes, polluent les eaux et accélèrent leur eutrophisation. Ces pollutions augmentent le prix de l'eau potable, de l'électricité, réduisent la croissance des poissons et accélèrent l'envasement des réservoirs, des canaux et des ports. Les coulées boueuses encombrant les fossés et les rues des villages mal placés. Le coût des nuisances de l'érosion lors des orages de fréquence rare (1/1 à 1/10) s'accroît, attire les médias et provoque la réaction des gouvernements bien plus souvent que la dégradation des terres. D'où l'approche traditionnelle qui consiste d'abord à stopper l'érosion sur les badlands, les terres épuisées.

c) conséquence majeure de l'analyse économique de la LAE (fig. 2)

- Si on investit dans la lutte antiérosive sur les sols dégradés, que le sol soit profond ou non, on ne change pas la productivité des terres (donc on n'intéressera pas les paysans), mais on réduira les transports solides. C'est le cas de la RTM et DRS.
- Si on investit dans les bonnes terres en train de se dégrader :
 - si le sol est profond, aucune amélioration de rendement à attendre,
 - mais si le sol est superficiel, je peux restaurer la productivité de la terre et intéresser le paysan.

C'est là une révolution par rapport à la LAE classique qui s'intéresse en priorité aux mauvaises terres, alors que les paysans préfèrent investir dans leurs meilleures terres... sauf s'ils peuvent récupérer des terres dégradées accidentellement. Ceci a été expérimenté dans des conditions écologiques très différentes : le Nord Pas de Calais (Roose, Masson : 1983), le Mali (Roose, 1985) et le Yatenga (Roose et Rodriguez, 1990), le Rwanda (Roose et al., 1988) et surtout l'Algérie (Arabi et Roose, 1989).

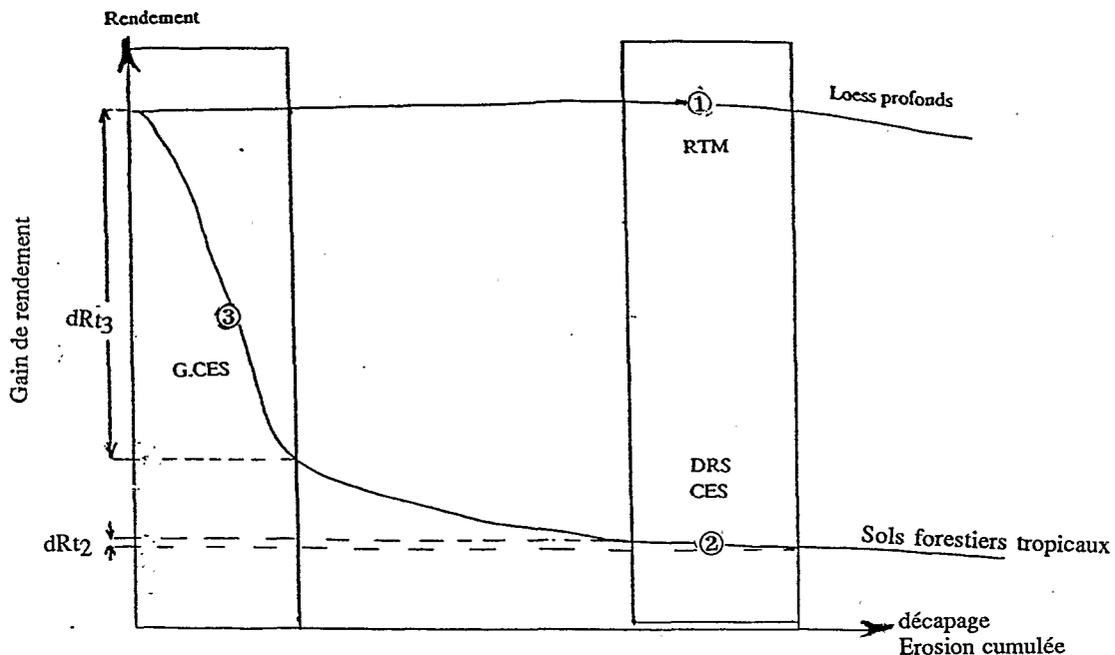


Fig. 2 - Effet de l'érosion cumulée ou du décapage du sol sur leur potentiel de production. Intérêt des stratégies d'équipement rural (RTM - DRS - CES) et de développement rural (G.CES) face aux situations pédologiques

1.6. Conclusions

- a) L'usage inconsidéré des mêmes termes par différentes disciplines pour parler de l'érosion alors qu'il s'agit au moins de cinq processus différents dont la gravité varie en fonction de facteurs différents et de seuils différents selon l'échelle de temps et d'espace a entraîné pas mal de confusions, tant au niveau des recherches (où l'on cherche désespérément des liens entre les tests en labo, en parcelles, aux champs, sur versant, sur bassin-versant) qu'au niveau des praticiens de la lutte antiérosive.
Malgré des millénaires de pratique empirique de lutte antiérosive, la recherche en est encore à balbutier dans certains domaines comme l'érosion mécanique sèche, la lutte contre l'encroûtement par la battance, la gestion simultanée de l'eau et des nutriments, les aspects socio-économiques de la LAE, l'acceptabilité par les paysans et le coût des techniques de LAE.
- b) L'analyse d'une politique économique de lutte antiérosive distingue clairement deux objectifs et deux acteurs différents :
- s'il s'agit de conserver - ou mieux de restaurer la fertilité des terres - il faut proposer aux paysans de modifier leurs systèmes de production pour résoudre leurs problèmes immédiats de valorisation du travail, d'amélioration et de sécurisation de production de leurs meilleures terres (c'est la GCES) : seuls les paysans peuvent entretenir l'environnement rural ;
 - s'il s'agit de conserver la qualité des eaux et de réduire les transports solides des rivières, seul l'Etat peut prendre en charge les grands travaux mécaniques et biologiques de stabilisation des ravines, des torrents, des glissements de terrain et des rivières, de reforestation des hautes vallées, de protection des berges, des routes et autres ouvrages d'art.

2 - DES ELEMENTS DE SOLUTION

2.1. Des stratégies traditionnelles ou modernes

L'homme ne s'est pas croisé les bras devant les phénomènes d'érosion qui contrarient ses projets de développement : on trouve des traces de son ingéniosité dans ce domaine depuis des millénaires (ex. terrasses en gradin en 1800 autour du bassin Méditerranéen - en 1200 en Crète - en 1400, les Incas au Pérou et plus tôt encore en Chine, Bali et Amérique latine).

Ces méthodes traditionnelles ont souvent été décrites, mais on connaît mal leur fonctionnement et leurs limites. Les études des ingénieurs les ont boudées, considérées comme inefficaces et indignes des temps modernes. Or beaucoup d'entre elles, si elles ont été abandonnées pour des raisons économiques (le travail à l'usine est plus rentable), sont très efficaces, renseignent sur les conditions socio-économiques d'une époque, préviennent les conditions écologiques extrêmes d'une région et peuvent être améliorées et servir de point de départ de la prise en charge par les paysans de leurs problèmes d'environnement (ex. le Zaï et les cordons de pierre au Yatenga, Burkina : Roose et Rodriguez, 1990).

Depuis 1850 sont nées des "méthodes modernes d'équipement rural" :

- la RTM (1850), Restauration des Terrains de Montagne dans les Alpes et Pyrénées par les forestiers qui revégétalisent les montagnes dégradées et corrigent les torrents ;
- la CES (née en 1930 aux USA), Conservation de l'Eau... et des Sols par des agronomes chargés d'appuyer techniquement et financièrement les fermiers désireux de protéger la productivité de leurs terres... et la qualité des eaux indispensables aux citadins (d'où le financement de l'Etat) ;
- la DRS (développée en zone Méditerranéenne de 1940-80) Défense et Restauration des Sols (dégradés par l'érosion) proposée par les ingénieurs forestiers de l'Etat pour protéger les terres, revégétaliser les terrains dégradés et surtout, réduire l'envasement des barrages, l'eau étant un bien précieux en zone aride.

Toutes ces approches, réalisées par le pouvoir centralisé des Etats, ont quelques belles réalisations à leur actif, mais un constat général d'échec à long terme, car les paysans ne se sentent pas concernés. Ces équipements n'améliorent pas la productivité de leurs terres, mais au contraire, réduisent leur surface exploitable sans s'attaquer aux causes : l'érosion en nappe et la dégradation des matières organiques des sols.

Depuis 1987 et les séminaires de Puerto Rico (WA.SWC), de Niamey (ICRISAT), de Médéa (INRF), de Butare (ISAR), de Bujumbura (ISABU), une nouvelle stratégie se développe qui tente d'abord de résoudre les problèmes des paysans, doubler les rendements en 20 ans, améliorer la stabilité des systèmes de production, intensifier l'agriculture sans détruire l'environnement. Ces méthodes ont été décrites dans un petit document "Land Husbandry" ou l'art de choyer sa terre et dans une série d'articles, de conférences sur la GCES. La FAO devrait sortir un volume sur l'application de cette stratégie liée au développement durable de l'agriculture dans différents pays d'Europe et d'Afrique.

En résumé, il s'agit de la démarche suivante :

- a) **Diagnostic** : D'où viennent le ruissellement et l'érosion ?
- S'agit-il d'une dégradation de la surface des sols ? quand ? comment ?
Dans ce cas, il convient d'améliorer le système de production avec les paysans.
 - S'agit-il d'apport intempestif d'eau de l'amont ?
Dans ce cas, il convient d'améliorer le drainage et la gestion des eaux avec les ingénieurs.
- b) **Gestion de l'eau en fonction du bilan hydrique de la région**

Il existe quatre modes de gestion des eaux auxquels correspondent des structures antiérosives et des techniques culturales adaptées.

TABLEAU 2.- Structures antiérosives et techniques culturales en fonction du mode de gestion des eaux de surface.

Modes de gestion	Structures	techniques culturales
AGRICULTURE SOUS IMPLUVIUM Zone aride à semi-aride	Impluvium, citerne Drain, digues sur les oueds Terrasses discontinues.	Labour, cuvettes, microbassins localisés.
INFILTRATION TOTALE Zone semi-aride (P < 400 mm) ou zone humide sur sol très perméable.	Fossés aveugles Terrasses radicales	Labour + billons cloisonnés Paillage.
DIVERSION Climat semi-humide, mois très humides. Sol peu perméable.	Fossés de diversion Banquette algérienne Terrasse radicale drainante.	Billons obliques ou dans le sens de la pente
DISSIPATION DE L'ENERGIE DU RUISSELLEMENT Tous climats, sols semi- perméables Pentes pas trop raides	Cordons ou murs de pierres Talus enherbés, lignes d'herbes Haies vives	Agroforesterie Labour motteux Cultures alternées/prairie Paillis.

- c) **Gestion de la biomasse et des nutriments**

La conservation des sols décourage souvent les paysans car elle exige des efforts importants, des investissements en travail et intrants sans offrir immédiatement d'amélioration des rendements car les sols sont déjà carencés.

Il faut donc prévoir la restauration de leurs qualités physiques et chimiques.

Il va falloir choisir le mode d'exploitation de la biomasse disponible à travers l'élevage et la production de fumier (prévoir un coefficient de rendement de 30 % et un fort gaspillage d'azote), le compostage (beaucoup de travail et même

rendement que le fumier, mais sans la production animale), enfouissement direct des résidus de culture (beaucoup de travail et dégradation plus lente du sol) ou paillage à la surface du sol. Il va surtout falloir mettre au point des systèmes de production augmentant la biomasse disponible (agroforesterie, jachères cultivées, engrais verts en dérobée, etc). Mais de toute façon, il faut prévoir l'aération du sol, la correction du pH (toxicité aluminique si $\text{pH} < 4.8$) et des carences du sol (compléments minéraux directement portés à la culture pour valoriser au mieux le travail et l'eau disponible).

Enfin, il faut prévoir les infrastructures (routes, marchés, écoles, dispensaires) nécessaires pour valoriser les excédents de produits de la campagne pour nourrir les villes.

On part souvent du champ individuel pour aménager un versant exploité par une petite communauté rurale avant d'étendre les aménagements à l'ensemble du terroir et finalement du bassin versant. Le cheminement est plus long qu'un simple projet d'équipement car il faut changer les mentalités, libérer l'esprit créateur des paysans, mais c'est actuellement le seul espoir de sortir de la situation d'échec : que les paysans prennent en main leur environnement.

2.2. Quelques solutions se dégagent de la recherche

- a) L'importance majeure des méthodes biologiques, du couvert végétal et en particulier, au ras du sol, des litières, des adventices, voire des plantes de couverture introduites sous les cultures : la canopée est moins efficace que la litière.
- b) Le rôle ambivalent du travail du sol qui d'une part, améliore temporairement l'infiltration, l'enracinement et les rendements, mais qui par ailleurs, accélère la minéralisation, le déséquilibre et la dégradation des sols. En user avec plus de prudence : le travail minimum allié au mulch permet de réduire sérieusement les risques de dégradation.
- c) Le rôle de l'inclinaison de la pente semble plus fort que la longueur de pente sauf si l'érosion linéaire s'organise. Mais surtout, l'importance de la position topographique : les bas de pente sont souvent plus vite saturés et érodés que les hauts de versant. Il faut donc réviser complètement les schémas d'aménagement classiques et oublier les formules mathématiques qui définissent - empiriquement - l'espace entre terrasses. Seule, l'observation de terrain sur la naissance de rigoles ou de ravines et la discussion de type économique avec les paysans permettront de définir sur le terrain l'espacement entre les structures antiérosives.
- d) L'effet majeur des états de surface du sol - en particulier des litières, activités biologiques et encroûtements - sur le ruissellement : ceci doit nous faire réviser les notions de travail profond /superficiel, en grosses mottes ou pulvérulent. En fonction du mode de naissance du ruissellement, on tentera d'améliorer l'infiltration par le système de production ou de drainer les excès d'eau sans augmenter les transports solides. Le profil cultural explique souvent le développement des plantes, mais rarement l'infiltration ! L'état de surface est beaucoup plus significatif.
- e) Le traitement des ravines est coûteux, mais pas compliqué si on respecte une dizaine de règles élémentaires. Il est possible de réduire le coût des aménagements et de valoriser l'eau et les sédiments piégés en transformant les ravines en "oasis linéaires" où chaque niche écologique est valorisée par des espèces productives bien adaptées.
- f) La modélisation du ruissellement a fait de grands progrès à partir des états de surface, de l'évolution de la capacité d'infiltration du sol et du stockage de l'eau dans les divers horizons. Il reste à mieux comprendre les redistributions d'eau à l'échelle du versant au cours des saisons.
- g) La modélisation de l'érosion est beaucoup plus compliquée. Il n'existe pas de modèle universel. Le modèle USLE est une approche empirique adaptée aux ingénieurs de terrain qui ont besoin de repères pour choisir différents modes de LAE. Elle peut être utile si l'énergie des pluies et les dangers d'érosion en nappe l'emportent nettement sur l'énergie du ruissellement et l'érosion en ravine ou en masse. Mais son emploi exige d'abord d'étudier le fonctionnement des versants.
- h) On entrevoit à peine les aspects sociologiques de l'érosion (les problèmes fonciers, la typologie des exploitations) les motivations et les ressources disponibles pour entreprendre des investissements fonciers).
On aborde les problèmes économiques : les conditions économiques de l'érosion, l'influence du marché régional, mondial, le coût de l'érosion, la perte de productivité à court et long terme des terres érodées, le coût de la lutte antiérosive.
On a même du mal à classer les sols en fonction de leur érodibilité car celle-ci est dynamique, évolue au cours du temps en fonction du système de production et du type d'érosion.

Bref, on avance dans le domaine des connaissances théoriques et pratiques... mais il y a encore de quoi faire pour les jeunes.

3 - CONCLUSIONS GENERALES

a) L'érosion est un problème de société en croissance

- Dans les PVD, il s'agit de gérer l'eau en même temps que la fertilité des sols pour résoudre le challenge : doubler la production en 20 ans, au même rythme que la population.
- Dans les pays industrialisés, il s'agit surtout de conserver, voire de restaurer, la qualité des eaux, ressource naturelle aussi précieuse que les sols - ressource dont le renouvellement, la restauration sont souvent possible, mais à un coût élevé.

b) Aujourd'hui, ce problème complexe intéresse beaucoup de monde

- Les chercheurs de diverses disciplines pour comprendre et modéliser les processus.
- Les développeurs, car la maîtrise de l'érosion est l'une des clés du développement agricole durable.
- Les politiciens... car les problèmes d'environnement sont à l'ordre du jour : les pollueurs devraient être les payeurs, ce qui n'est pas le cas aujourd'hui.

c) Aujourd'hui, s'ouvrent des possibilités d'action

- Le problème est évident, urgent : on est le dos au mur, c'est incontournable. Tout le monde est concerné.
- La pression démographique est énorme... mais la production stagne !
- On commence à y voir plus clair : on a déjà quelques résultats qui démontrent qu'il est possible d'intensifier la production agricole sans dégrader l'environnement.

C'est un domaine passionnant car il intègre les milieux physiques et humains.

Cependant, les instituts de recherche français n'ont pas de grand programme de recherche sur la lutte antiérosive. L'enseignement technique et supérieur sur les processus d'érosion est squelettique et quasi inexistant sur la lutte antiérosive. Il est difficile aujourd'hui de faire une thèse sérieuse sur l'érosion quantifiée sur le terrain et surtout sur la mise au point de la lutte antiérosive, car l'érosion varie beaucoup selon l'espace et les années.

Visiblement, les problèmes posés sont multiples et très fréquents..., mais il est bien difficile de faire carrière dans ce domaine.

Je voudrais finir sur une note optimiste - une fois résolus les problèmes de sécurité à l'échelle mondiale, on pourrait espérer que l'Homme s'attaquera aux vrais problèmes de sa Terre - et que, tout en rêvant à dominer la lune, il apprendra à maîtriser sa Terre nourricière, durablement.

BIBLIOGRAPHIE

- Arabi (M.), Roose (E.), 1989. Influence de quatre systèmes de production sur l'érosion et le ruissellement en nappe en moyenne montagne algérienne. Bull. Réseau Erosion n° 9 : 30-51.
- Bennet (H.H.), 1939. "Elements of Soil Conservation". 2^d Edit. New York, Mac Graw-Hill: 534 p.
- Roose (E.), 1973. Dix-sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse Côte d'Ivoire. ORSTOM, Abidjan : 125 p. Thèse Doct. Ing. Fac. Sci. Abidjan n° 20.
- Roose (E.J.), Masson (F.X.), 1983. Consequences of heavy mechanization and new rotations on runoff and on loessial soil degradation in the North of France. Communication ISCO 3, "Preserve the land", Honolulu, Edit. S.C. Soc. America, Andeny, USA : 24-33.
- Roose (E.), 1985. Rapport de mission auprès de la DRSPR dans la région Sud du Mali (3-17 décembre 1984). IER, Bamako, KIT Amsterdam : 42 p.
- Roose (E.), 1987. Water efficiency and soil fertility conservation on steep slopes of some tropical countries. Communication Workshop WASWC, Puerto Rico, 22-27 March 1987. Edit. Moldenhauer (W.C.) and Hudson (N.W.), S.W.C. Soc. Ankeny, USA : 296 p.
- Roose (E.), Ndayizigiye (F.), Nyamulinda (V.), Byiringiro (E.), 1988. La GCES, une nouvelle stratégie de lutte antiérosive pour le Rwanda. Bull. Agricole Rwanda, n° 21 (4) : 264-277.
- Roose (E.), Rodriguez, (L.), 1990. Aménagement de terroirs au Yatenga (N.O. Burkina Faso). Quatre années de GCES : bilan et perspective. CRPA Ouahigouya, ORSTOM Montpellier : 40 p.
- Roose (E.), 1991. Introduction à la Gestion Conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols (GCES) : une nouvelle stratégie de lutte antiérosive. Cours CNEARC, ENGREF, Montpellier : 188 p.
- Shaxson (I.F.), Hudson (D.W.), Sanders (D.W.), Roose (E.J.), Moldenhauer (W.C.), 1989. Land Husbandry: a framework for soil and water conservation. S.W.C. Soc., WASWC, Ankeny, Iowa, USA: 64 p.
- Stocking (M.), 1986. The cost of soil erosion in Zimbabwe, in terms of the loss of three major nutrients. FAO. AGLS. Rome : 164 p.