

# Les grands thèmes de recherche sur l'érosion, obstacle au développement agricole durable

par Eric Roose

Pédologue, directeur de recherche à l'ORSTOM, BP 5045, Montpellier 34032, France.

Comm. Scient. Régional "Syst. Agraires et Agriculture durable" FIS + Dir. Rech. Agric. du Bénin.

RESUME

Cotonou, 7-12/2/94.

**Introduction.** 7000 ans après les lères tentatives de l'homme de conserver sa terre, la lutte antiérosive reste un sujet d'actualité. Il est vrai que les processus d'érosion sont complexes et qu'ils se manifestent de façon discontinue dans le temps et dans l'espace, ce qui complique sérieusement leur étude.

**Evolution des stratégies de lutte antiérosive.** Les stratégies traditionnelles sont étroitement liées aux conditions socio-économiques. Il reste à étudier leur aire de réussite, les causes de leur échec et surtout leur amélioration. Depuis 1850 se sont développées des stratégies modernes d'équipement hydraulique rurale (RTM, CES et DRS) visant à la fois la protection des sols, de la qualité des eaux et des ouvrages publics. Depuis les années 1980, plusieurs chercheurs ont montré l'échec de cette approche technocratique et développé une stratégie participative qui tente de valoriser la terre et le travail, tout en protégeant l'environnement. (LAND-HUSBANDRY ou GCES = Gestion Conservatoire de l'Eau, de la biomasse et de la fertilité des Sols).

## Quelques grands thèmes actuels.

**Diagnostic des processus** en cause, de l'origine du ruissellement (état de surface, capacité de stockage ou tassement ?). On a beaucoup étudié l'érosion en nappe en tant que lère manifestation de la dégradation des sols, mais on a négligé le ravinement, les mouvements de masse et en particulier l'érosion mécanique sèche provenant de la poussée des outils de travail du sol. Il serait temps de développer des méthodes de LAE efficaces et acceptables par tous les bénéficiaires.

**Evaluation des risques d'érosion divers.** Pas d'érosion sans une source d'énergie ! Mais celle-ci peut-être favorisée ou contrecarrée au sein d'un bassin versant par les actions, voire les interactions entre différents facteurs d'érodabilité du terrain. Il est maintenant possible de modéliser les risques et leur répartition dans l'espace à l'aide de la télédétection + SIG : encore faut-il bien choisir les paramètres significatifs.

**Les aspects socio-économiques de l'érosion.** Le coût de l'érosion et de la lutte antiérosive, le prix de la restauration de la fertilité des sols érodés et la réparation des dégâts à l'aval des zones érodées sont des données qui peuvent aider les décideurs à estimer l'importance des problèmes de dégradation du milieu. La pression démographique influence l'utilisation des sols fragiles et leur dégradation. Cette relation n'est pas linéaire : elle passe par des seuils de crise : l'érosion n'est qu'un signe du déséquilibre du milieu et de la société.

**La restauration des sols.** Bien des paysans refusent de perdre leur temps à "conserver les sols" car ils sont déjà très pauvres et la CES exige beaucoup de travail pour peu de bénéfice ! Or il est souvent possible de restaurer la capacité initiale de produire des sols et même de l'augmenter nettement (ex. le ZAI au Burkina Faso).

**La gestion des eaux superficielles.** Comment améliorer l'infiltration tout en évitant la lixiviation des nutriments, l'acidification ou les glissements ? On a généralisé la diversion du ruissellement (Bennet) mais on sait encore peu de choses sur la capture du ruissellement et sa valorisation, sur les possibilités d'infiltration totale ou de dissipation de l'énergie du ruissellement par la rugosité des surfaces et les structures antiérosives.

**La gestion de la biomasse.** Comment augmenter la production de matières organiques et gérer les résidus disponibles pour maintenir la fertilité du sol (fumier, compost, enfouissement des résidus ou paillage) ?

**La gestion des nutriments.** Si on veut relever le défi de la population qui double tous les 20 ans, il est indispensable de compléter par des apports minéraux les nutriments disponibles dans le sol et les matières organiques, de corriger le pH et les toxicités et de réduire les pertes de nutriments pour assurer la croissance optimale des cultures.

**En conclusion,** la protection de la ressource sol en milieu tropical, pose encore de nombreux problèmes techniques et humains pour aboutir à la mise au point de systèmes durables de production intensive.

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

29 AVRIL 1994

N° : 39459 24 1

Cote : B

## **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 sur les terres fragiles, le surpâturage, l'exploitation extensive des sols sans apport correspondant de nutriments et de matières organiques. Il s'en suit une dégradation accélérée de la couverture végétale d'abord, du sol ensuite, puis du réseau hydrologique et du micro-climat.

L'érosion est donc **le signe d'un déséquilibre** entre les potentialités du milieu et le mode de gestion par la société actuelle. 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 risques d'érosion.

Il y a 7000 ans que les hommes ont montré leur capacité de lutter contre l'érosion : on peut donc analyser l'histoire et se demander pourquoi tant de projets actuels de lutte antiérosive se soldent par un échec ?

Nous soulignerons d'abord la diversité des processus d'érosion, les confusions de langage, les discontinuités dans le temps et dans l'espace ainsi que les deux logiques d'approche de la lutte antiérosive :

d'une part, la protection-ou mieux, l'amélioration du potentiel de production du sol,  
d'autre part, la conservation de la qualité des eaux et des ouvrages d'art.

Ensuite, nous rechercherons des éléments de solution :

- quelques résultats de la recherche,
- une nouvelle stratégie de lutte antiérosive, la GCES dont l'objectif à moyen terme est de résoudre en même temps les problèmes de survie des paysans, de valoriser leur terre et leur travail, en gérant mieux les eaux, la biomasse et les nutriments

Enfin, nous tirerons quelques conclusions sur les thèmes de recherche les plus porteurs actuellement.

les méthodes de LAE devront être modulées 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 alimentaire tous les vingt ans !

## **1. L'érosion ou les érosions : un problème de langage lourd de mal entendus!**

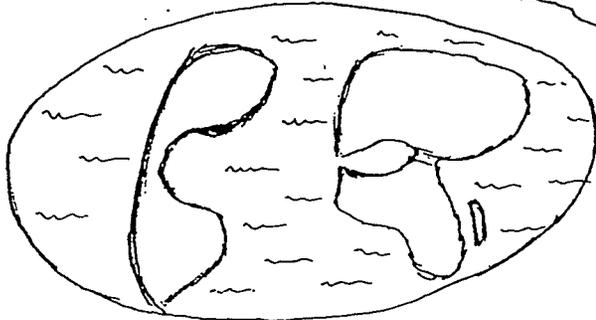
### **1. 1. Diversité des processus d'érosion en fonction des échelles de temps**

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 la vitesse d'altération des roches. D'où la formation de sols d'autant plus épais 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 mille. Il suffit de quelques dizaines d'années pour décaper 1 mètre de sol !

**Fig.1. Discontinuité dans le temps des problèmes d'érosion.**

Au commencement, la Terre était informe :  
C'était un grand marécage



Multiplication

Animaux

Hommes et Femmes

MORPHOGENESE



Pédogenese

Problèmes socio-économiques  
 ↗ population ↗ des besoins  
 ↗ défrichements ↘ tps jachères  
 ↗ surpâturage

EROSION NORMALE ≈ 0,1 t/h/an  
 Ruissellement ≈ 1 %

E. ACCELEREE : 10 à 500 t/ha/an  
 Ruissellement : 20 à 80 %

décaper 1 mètre = 100.000 ans

1 mètre en 1 siècle

E. CATASTROPHIQUE = 1 heure

RAVINES ..... E = 100 - 300 t / ha / JOUR

Glissements ..... E = 1000 à 10.000 t / ha / HEURE

d'où TRANSPORT Solide Rivière

Sédimentation

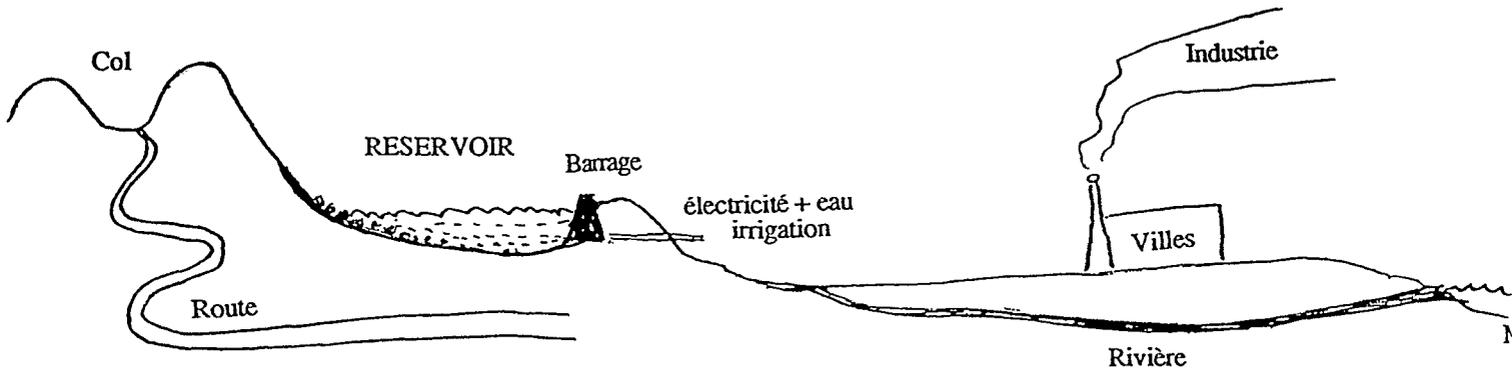


Ex. ORAGE de Nîmes 3/10/88 : 420 mm -----> { 11 MORTS  
 4 milliards de dégâts

Conclusions { . Grande discontinuité dans le temps : { millénaire  
 . On s'occupera de l'E. accélérée { siècle  
 . La presse et l'Etat ne s'occupent que des catastrophes { heure

**Fig. 2. Discontinuité dans l'espace de l'érosion : diversité des logiques de lutte.**

Erosion = Somme de 3 processus = Arrachement + Transport + Sédimentation  
 Mais leur importance varie dans l'espace



Montagnes  
Arrachements

Piémont : Erosion +  
Transports/Rivières

Plaines Littoral  
Sédimentation/Pollution

RTM

DRS + CES

CES

≠ lieux

≠ mots

≠ disciplines

≠ objectifs des acteurs

EROSION sur Versants  
(Sediment Yield)

>

<

Transports solides dans rivières  
(Sediment delivery)

Agro-Pédo-Socio  
Géomorphologues

Efficacité EROSIVE  
(Sediment ratio)  
< 1 si colluvions  
> 1 si forte Erosion des berges

Hydro-Sédimentologues  
Géomorphologues

2 logiques

Logique amont / paysan

Logique aval/citadin

Objectif = productivité de la terre  
= développement rural  
Moyens = améliorer les systèmes de  
production  
lutte biologique  
Acteurs = Paysans + Pouvoir Villageois  
Agronomes - Pédologues -  
Sociologues.

Objectif = protéger la qualité de l'eau  
= équipement rural  
Moyens = reforestation + lutte  
mécanique ; correction ravins  
protection barrages  
Acteurs - Citadins - Ingénieur  
Pouvoir Central  
- Hydrologues + Sédimentologues  
- Equipement + Forestier.

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 m<sup>3</sup> 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 ce type 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.

**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	<ul style="list-style-type: none"> <li>↘ Taux matière organique</li> <li>↘ Stockage eau + nutriments</li> <li>↘ Porosité, infiltration</li> <li>↘ Ruissellement</li> </ul>
Erosion en nappe	Battance des pluies  - tassement - cisaillement - projection	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Couvert végétal      1 000</li> <li>- Pente 0,1 à 20      200</li> <li>- Sol 0,01 à 0,30      30</li> <li>- Structure A.E.      1 à 0,1      10</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Croûte de battance + tassement</li> <li>. Ruissellement</li> <li>. Erosion sélective</li> <li>. Décapage</li> </ul>
Erosion mécanique sèche	Travail du sol	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fréquence</li> <li>- Intensité</li> <li>- Pente</li> <li>- Friabilité</li> </ul>	Décapage horizon humifère
Ravinement	Energie du ruissellement $E = \frac{M \cdot V^2}{2}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volume ruisselé = f</li> <li>  { surface b.v.</li> <li>  { pluie, intensité</li> <li>- Vitesse = f(pente, rugosité)</li> <li>- Résistance du sol x végétation</li> <li>- Structures A.E : seuils, épis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Entailles profondes</li> <li>. Déséquilibre des versants</li> <li>. Cônes de déjection-</li> </ul>
E = en Masse (glissement) versants	Gravité > cohésion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poids couverture</li> <li>  { sol + eau +</li> <li>  { végétation</li> <li>- Humectation du plan de glissement</li> <li>- Pente et drainage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Décapage des versants</li> <li>. Coulées boueuses</li> </ul>

**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

#### 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).

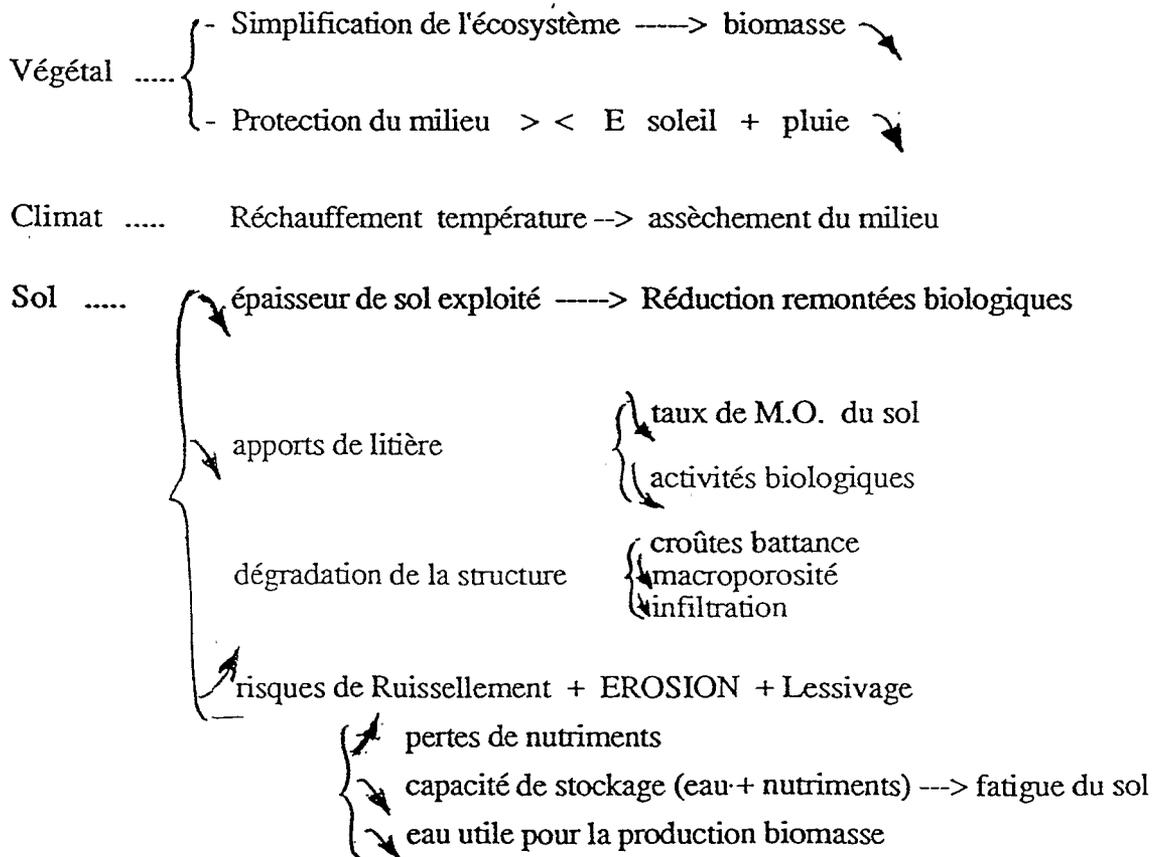
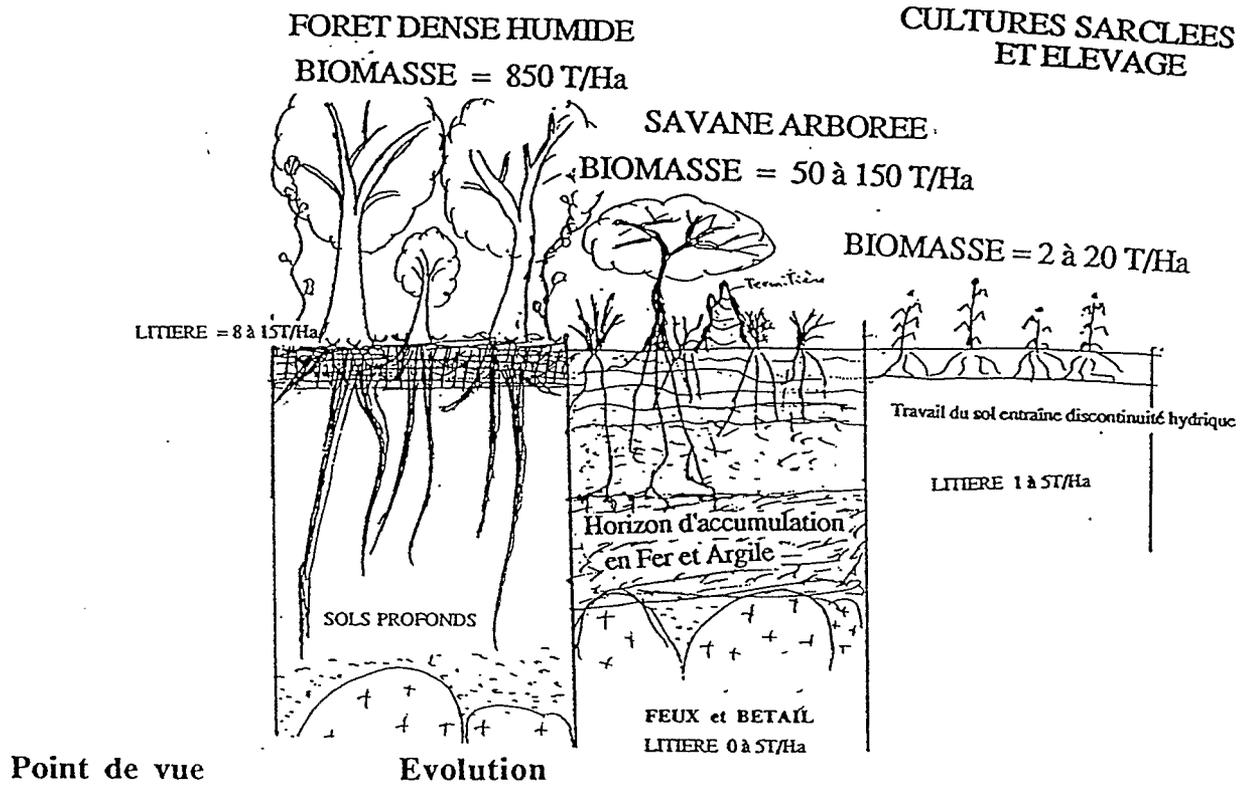
**Les pertes de production immédiates** sont facilement compensées par des apports d'engrais à l'échelon régional (2 à 10 %), mais elles peuvent être catastrophiques pour certains paysans qui vivent sur les zones à risques car ils perdent chaque année une large fraction de leurs revenus nets.

**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.

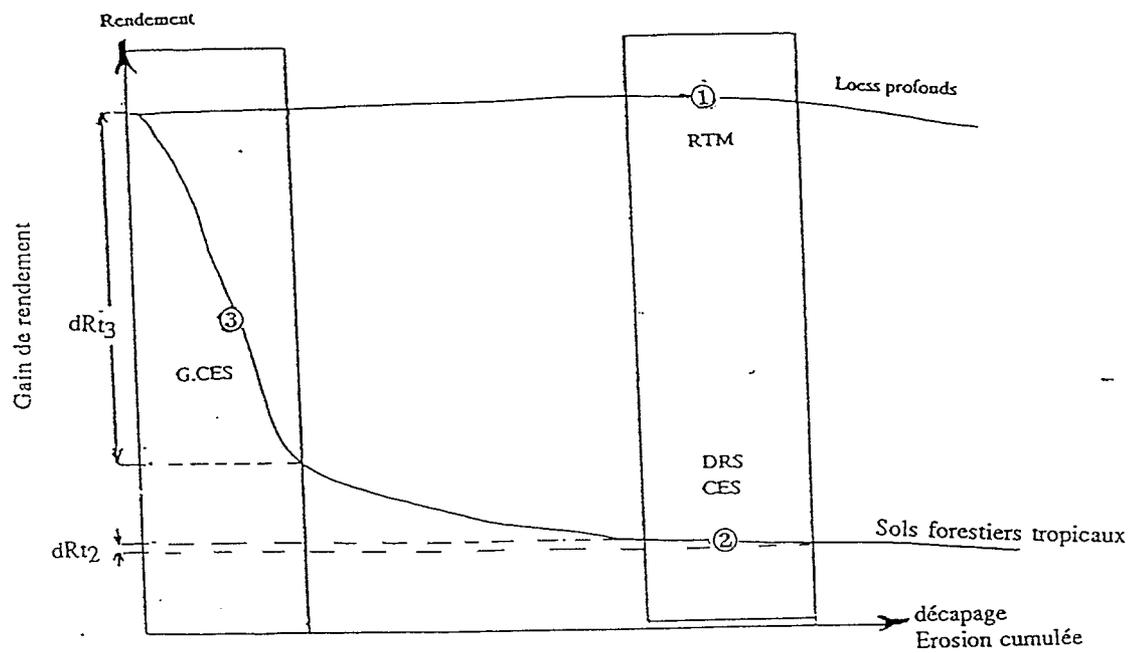
**Les pertes de productivité à long terme** sont très variables en fonction du type et de la profondeur du sol (voir schéma). La mémoire du sol s'inscrit dans la perte d'épaisseur de l'horizon humifère, la perte de capacité d'infiltration et de stockage de l'eau et des nutriments, la perte d'efficacité 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.

**Fig. 3. Le déséquilibre du milieu cultivé, à l'origine de la dégradation des sols.**



**Fig. 4. Effet de l'érosion cumulée sur le potentiel de production du sol.  
Intérêt des stratégies d'équipement rural (RTM-DRS-CES) ou de  
développement rural (GCES) pour les paysans et l'Etat, en fonction du type de sol.**



## 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.

**Fig. 5. Le ZAI : méthode traditionnelle de restauration de la productivité des sols.**

**Décembre à avril**

- Creusement tous les 80 cm d'une cuvette Ø = 40 cm, H = 15 cm terre posée en croissant en aval.
- L'Harmattan apporte des sables et des matières organiques.

**Avril à juin**

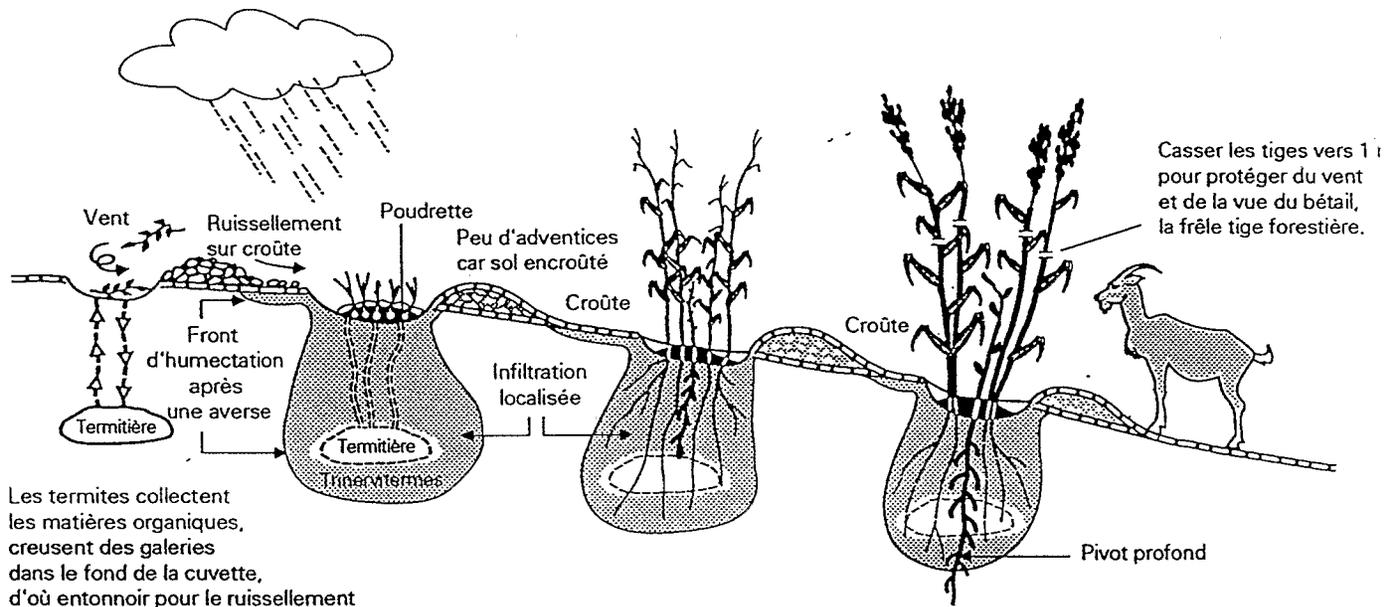
- Après la première pluie, apport de 2 poignées de poudrette (= 3 t/ha).
- Les termites y creusent des galeries enrobées d'excréments.
- Semis en poquet à la deuxième pluie.
- Eau infiltrée, stockée en profondeur à l'abri de l'évaporation directe.

**Juin-juillet**

- Démarrage de la saison des pluies.
- Levée précoce.
- Enracinement profond.
- Sarclage limité aux poquets.
- Germination de graines forestières.
- Concentration : de l'eau des nutriments.

**Novembre**

- Récolte : des panicules et du fourrage.
- Coupe des tiges vers 1 m : cache les tiges forestières de la vue du bétail. ralentit le vent desséchant et l'érosion éolienne.



- Zaï (en Moore) signifie : se hâter pour creuser en saison sèche le sol tassé et encroûté.
- Il permet de récupérer des terres abandonnées et de produire environ 800 kg / ha de grain dès la première année et d'entretenir la fertilité du sol sur plus de 30 ans.
- Il concentre l'eau et la fertilité sous le poquet et permet d'associer à la culture des arbres fourragers bien adaptés (agroforesterie).
- Limites : la date de commencement des travaux est fixée par le chef de terre du village... après les fêtes, quelque fois trop tard.  
le Zaï exige 300 heures de travail très dur soit environ 3 mois pour un homme pour restaurer 1 ha.  
le Zaï demande 2 à 3 tonnes de matières organiques et les charettes pour transporter la poudrette et le compost.  
pour réussir il faut entourer le champ à restaurer d'un cordon de pierres pour maîtriser le ruissellement.
- Améliorations : sous-solage croisé à 1 dent jusqu'à 12 - 18 cm, après la récolte, tous les 80 cm, (11 heures avec des boeufs bien nourris), creuser ensuite le Zaï en 150 heures.  
compléter la fumure organique par N et P qui manquent dans la poudrette exposée au soleil.  
introduire d'autres espèces forestières élevées en pépinière (3 mois de gagné).

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

Modes de gestion	Structures	techniques culturales
<b>AGRICULTURE SOUS IMPLUVIUM</b> Zone aride à semi-aride	Impluvium, citerne Drain, digues sur les oueds Terrasses discontinues.	Labour, cuvettes, microbassins localisés.
<b>INFILTRATION TOTALE</b> Zone semi-aride (P < 400 mm) ou zone humide sur sol très perméable.	Fossés aveugles Terrasses radicales	Labour + billons cloisonnés Paillage.
<b>DIVERSION</b> 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
<b>DISSIPATION DE L'ENERGIE            DU RUISSELLEMENT</b> 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.

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.

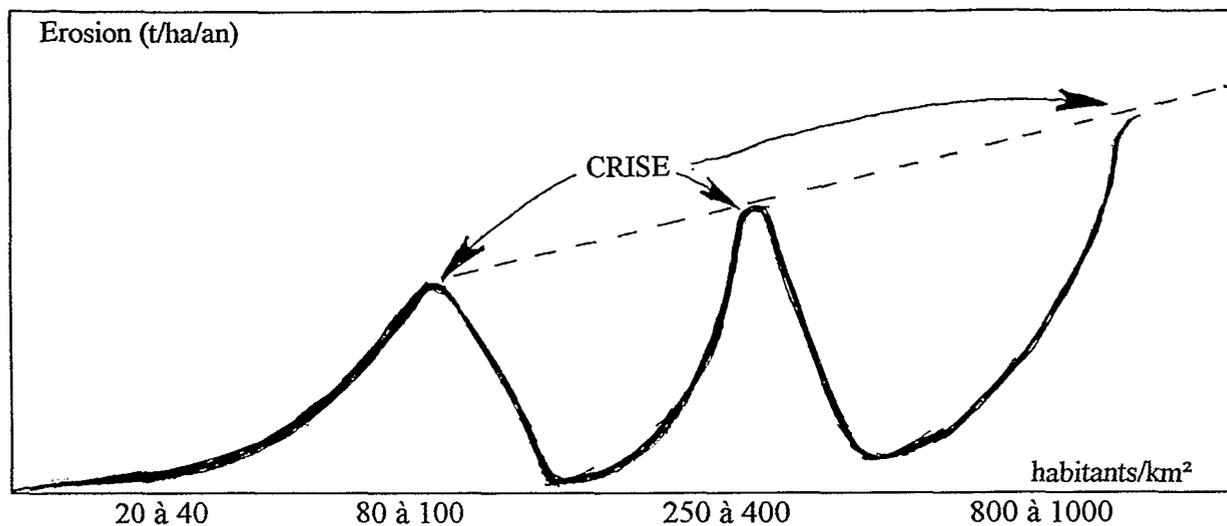
On part souvent du champ individuel pour aménager un versant exploité par une petite communauté rurale avant d'étendre les aménagements à l'ensemble du terroir et finalement du bassin versant. Le cheminement est plus long qu'un simple projet d'équipement car il faut changer les mentalités, libérer l'esprit 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.

**Figure 6 : Evolution des systèmes de production et des risques de dégradation des sols en fonction de la densité de la population rurale.**



Culture itinérante	Intensification déséquilibrante	Intensification labour + fumier	Intensification labour + fumier + NPKCa
<b>Fertilisation</b> - cendres - longue jachère forestière	- jachère + courte - enfouissement des adventices + résidus - un peu de poudrette	- jachère très courte - légumineuses - les résidus = fourrages - mais fumier sec	- agroforesterie - compost ou mulch - vrai fumier fermenté - NPK + Ca
<b>Elevage</b> - presque absent - troupeau itinérant - poulets + chèvres près de l'habitation	- élevage extensif - parc de nuit - poudrette = 600 kg/vache - quelques vaches	- résidus + jachère - semi-stabulation - poudrette + compost amélioré = 1500 kg/vache - boeuf + chèvres	- résidus + fourrage + court parcours - stabulation permanente - fumier 5 à 10 t/famille - porcs + chèvres seulement
<b>Arbre</b> - brûlis	- brûlis + déforestation	début de l'agroforesterie	- jardins multiétagés - arboriculture fruitière
<b>Surface d'exploitation</b> 1 + 20 ha	1 + 5 ha	1 + 3 ha	< 1 à 0,4 ha + ressources extérieures
<b>Agriculture</b> - Manioc et autres racines	céréales + haricots + un peu de manioc	manioc + céréales, haricot, riz	manioc + haricots

Q - La croissance démographique conduit-elle à la dégradation complète ?

R - Quand les nuisances causées par la dégradation du milieu deviennent trop fortes, éclate une crise écologique, sociale et politique. Alors, ou les gens migrent, ou ils acceptent d'investir dans un système de production plus équilibré.

### 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<sup>d</sup> 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.