

**La gestion conservatoire de l'eau  
et la fertilité des sols (G.CES) :  
Une nouvelle stratégie pour l'intensification  
de la production et la restauration de l'environnement  
en montagne.**

par

**Eric ROOSE** : Directeur de recherche en Pédologie  
à l'ORSTOM, BP 5045, 34032 Montpellier - France.

**François NDAYIZIGIYE** : Géographe, chef du programme EMSP,  
Management de l'eau et du sol, ISAR, BP 138, Butare.

**Léonard SEKAYANGE** : Agronome, EMSP, programme farming system, ISAR.

**Justin NSENGIMANA** : Agronome, directeur de la CES  
(Minagri BP 641 Kigali).

## **1 - AVERTISSEMENT**

Cet article est le fruit d'une troisième mission de consultation de Eric ROOSE, spécialiste en conservation des sols de l'ORSTOM - auprès du programme Management de l'eau et des sols de l'ISAR. Il a fait l'objet d'une conférence à l'Atelier sur la Recherche en conservation des sols qui s'est tenu à Rubona du 14 au 16 novembre 1991.

Il fait suite au premier article publié dans le Bulletin Agricole du Rwanda n° 21,4 : 264-277 auquel les lecteurs sont priés de se reporter pour mieux saisir l'évolution rapide des concepts de lutte antiérosive au Rwanda ces dernières années.

## **2 - RESUME**

Ruissellement et érosion en montagne sont des phénomènes plus complexes que prévu par la plupart des techniciens concernés : ils ont à faire face à des problèmes techniques (inadaptation du référentiel technique) et à des implications sociologiques et économiques nombreuses : problèmes fonciers, objectifs et priorités des paysans selon leurs disponibilités en main d'oeuvre, en terre, en pâture et en intrants divers, possibilités de valorisation des produits et d'amélioration du niveau de vie, etc...

Les résultats de la recherche (4 à 10 ans en petites parcelles) montrent que les risques de décapage des horizons superficiels (par érosion en nappe, en rigole et par le travail du sol) sont graves sur les pentes raides (25-60 % de pente) des collines cultivées (1 à 3 cm par an). Cependant il existe quatre solutions pour stabiliser les versants : le paillage (sous les caféiers, bananiers, manioc, légumes), les haies vives alternant tous les 5 mètres avec de gros billons permanents (terrasses progressives), les terrasses radicales (s'il n'y a pas de risque de glissement et si on dispose de fumier, de chaux et de NPK) et la revégétalisation permanente (forêt, prairie ou verger avec plantes de couverture).

Mais la conservation des sols même parfaitement réussie, ne peut satisfaire les paysans car elle n'augmente pas la production. La plupart des sols sont si pauvres que même si on arrête les pertes par érosion on ne rentabilise pas le travail supplémentaire. C'est pourquoi la G.CES passe par la gestion des

eaux de surface et la stabilisation des versants (préalable) mais aussi par la restauration de la fertilité des terres et donc par l'agroforesterie, l'élevage et la fertilisation minérale complémentaire.

La gestion des eaux de surface (augmentation locale de l'infiltration) devrait permettre d'améliorer la production de biomasse dans la zone des savanes semi-arides de l'Est du Rwanda, mais elle risque d'augmenter le drainage et la lixiviation des nutriments sur les hautes collines humides. Des recherches devraient être entreprises pour stocker les eaux de surface et créer une troisième saison de culture grâce à une irrigation d'appoint. Le choix des structures antiérosives et des techniques culturales doit tenir compte des risques d'engorgement ou d'échaudage selon les saisons.

La gestion de la biomasse (agroforesterie, engrais vert, fumier, compost, paillage) ne suffit pas pour améliorer significativement les rendements des terres pauvres et acides : il faut d'abord restaurer leur fertilité par apport massif de fumier (10 t/ha tous les 2 ans), de chaux (2 à 4 t/ha tous les 3 ans) et d'engrais minéral complet (N 50 à 150, P 40 à 100, K 30 à 200 selon les plantes et les niveaux de production programmés).

L'analyse des coûts de l'érosion permet de mieux cibler les stratégies. La DRS-CES cherche à stabiliser les versants pour réduire les problèmes à l'aval : l'intervention est massive sur les terres les plus dégradées de l'ensemble d'un bassin versant, mais n'améliore pas forcément les rendements du paysan. Si l'objectif est d'intensifier la production, il faut intervenir avec les paysans sur les terres productives pour en tirer le meilleur parti et stabiliser les ravines qui risquent de les ruiner. La LAE n'est plus qu'un volet d'un programme d'intensification de la production. Le coût des aménagements antiérosifs et des intrants indispensables doit orienter le choix des interventions à proposer en fonction des contraintes socio-économiques des paysans bénéficiaires.

### 3 - INTRODUCTION : LA G.CES, DE NOUVEAUX OBJECTIFS.

Tant que la population est dispersée sur les terres agricoles (10-30 habitants par km<sup>2</sup>), les problèmes d'érosion sont peu importants et le maintien de la fertilité des terres s'obtient par la migration et le défrichement de nouvelles terres dès que les champs montrent des signes d'épuisement ou d'invasion par les adventices.

Mais au Rwanda, dès les années 1930, les populations concentrées sur certaines collines ont posé des problèmes de famine et de protection des sols. L'administration coloniale a dès lors imposé des cultures pérennes (manioc et café) et des structures antiérosives. Ces stratégies d'équipement rural (RTM, DRS et CES) imposées par l'Etat ont été mal acceptées par les paysans d'autant plus que les techniques imposées exigent beaucoup de travail à l'installation et à l'entretien des structures et augmentent peu les rendements.

Aujourd'hui, le problème se pose en d'autres termes. La population double tous les 12 à 20 ans et dépasse déjà 150 à 800 habitants par km<sup>2</sup>. Les deux tiers des terres cultivées sont acides, épuisées et il ne reste presque plus de réserve de terres cultivables. La pression sur les terres fragiles est telle que les pentes de plus de 80 % sont défrichées, surpâturées ou décapées dès la deuxième année de culture. La surface moyenne de l'exploitation tend vers 0,5 ha par famille. Il n'est plus temps de conserver les sols, ils sont déjà très pauvres et leur niveau de productivité est très bas, (4 à 800 kg de haricot, de maïs ou sorgho, 1-3 tonnes de patates douces ou manioc). Malheureusement il n'existe pas d'industrie pour donner des revenus à l'excès de population rurale et le commerce des produits agricoles est peu développé.

Le nouvel objectif est donc clair : il faut gérer l'eau et restaurer la fertilité des terres pour doubler la production tous les 20 ans, tout en améliorant le niveau de vie et l'environnement rural.

La nouvelle stratégie (Land husbandry ou G.CES) proposée en 1987 aux séminaires de Niamey, de Puerto Rico et de Medea, puis au Rwanda (1988), au Burkina, au Cameroun, au Burundi (1990) et en Haïti (1991), vise donc résolument le développement rural. Elle tente d'abord de répondre aux besoins urgents des paysans, à savoir améliorer la production et sa sécurité, augmenter les revenus et valoriser le travail en développant des systèmes de production agro-sylvo-pastoraux intensifs.

**TABEAU 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

Comment atteindre cet objectif ? En améliorant la gestion de l'eau (augmentation de la capacité d'infiltration des sols, stockage du ruissellement et irrigation d'appoint), et la gestion des fertilisants (gestion de la biomasse, amélioration du turn-over, recyclage biologique et chaulage plus compléments minéraux liés à la fumure organique et aux besoins localisés des plantes cultivées). En cherchant à couvrir le sol toute l'année, on réduit indirectement les risques de ruissellement et d'érosion.

La lutte antiérosive, qui reste indispensable, ne sera plus présentée comme l'objectif principal mais comme une technique inséparable des autres paquets technologiques (fertilisation, graines sélectionnées, rotations rapides, soins phytosanitaires, herbicides, etc.) qui permettent l'intensification rapide de l'agriculture.

On s'intéressera en priorité à la gestion des meilleures terres et ensuite à la restauration des terres dégradées à fort potentiel de production et à la capture des eaux de source, au stockage des nutriments qui pourront servir à l'irrigation d'appoint de pôles de développement (maraîchage et cultures fruitières). Les terres marginales, (plus de 60 % de pente, rocheuses ou trop peu profondes) doivent être exploitées sous couverture permanente du sol (pâturage, arbres forestiers ou fruitiers). Le changement radical d'orientation demande du temps (5 à 10 ans) et se réalise par étapes :

- 1 - Dialogue entre les paysans et les techniciens, enquêtes pour évaluer les risques (où, quand, comment naissent le ruissellement et l'érosion), et la façon dont les paysans les ressentent et tentent de les maîtriser (méthodes traditionnelles favorables ou dégradantes). Bilan de la recherche également.
- 2 - Expérimentation simple avec les paysans sur leurs terres pour comparer la faisabilité, l'efficacité et la rentabilité de différentes techniques. Evaluation par les paysans, les techniciens et les chercheurs.
- 3 - Planification et généralisation à l'échelle du versant, d'une colline ou d'un petit bassin valorisé par une communauté rurale.

Au cours de cet article, nous rappellerons la diversité des processus de dégradation en cause, quelques résultats de la recherche, puis nous approfondirons la gestion de l'eau et de la fertilité des sols, les aspects économiques de l'érosion avant de présenter quelques propositions pour la recherche, les paysans et les autorités nationales.

#### 4 - LES RESULTATS DE LA RECHERCHE

- 4.1 - Les processus de dégradation des sols et d'érosion sont nombreux, leurs formes et leurs causes sont diverses, les facteurs déterminants sont variés, leur efficacité est très variable dans le temps et dans l'espace de telle sorte qu'il ne peut y avoir de recette universelle. Chaque versant exige un diagnostic des conditions écologiques et socio-économiques de la dégradation des sols (état de surface et végétation) ; il faut éviter de renforcer certains processus (les glissements de terrain par ex) en voulant en réduire d'autres (ex : le ruissellement et l'érosion en nappe).

Voir TABLEAU 1.

En montagne les processus d'érosion en rigole et d'érosion mécanique sèche sont exacerbés par les pentes fortes et aboutissent rapidement au décapage des horizons humifères surtout lorsque le sol est dénudé de sa litière et travaillé finement.

La lutte antiérosive concerne différents acteurs et différents processus.

Les paysans sont seuls capables d'entretenir leurs terres contre la battance des pluies (couvert végétal/travail du sol), contre l'érosion mécanique sèche (réduction du travail du sol) et l'érosion en rigole (entretien des états de surface). Par contre, les paysans sont incompetents pour maîtriser le ravinement créé par les routes, les grands glissements de terrain, les écoulements torrentiels de certaines rivières. L'Etat doit également veiller à la formation depuis l'école primaire, les cycles techniques et jusqu'à l'université. (voir fig. 1).

Figure 1 : Six processus aboutissant à la dégradation du milieu rural .

1. Dégradation des sols :

{ . Matières organiques →  
 . Fertilité → Infiltration →

2. Érosion en nappe + rigoles

3. Érosion mécanique sèche : creeping

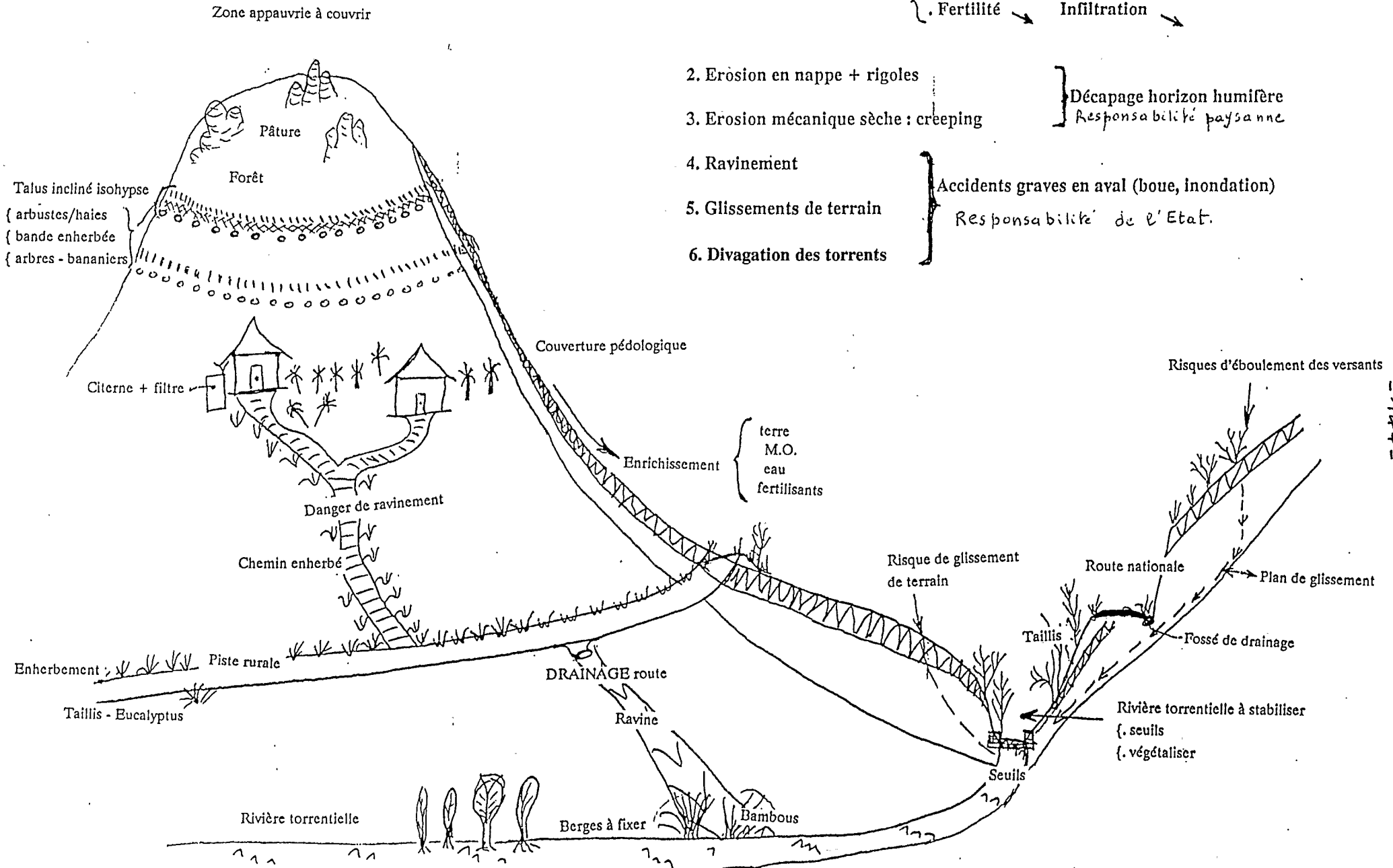
} Décapage horizon humifère  
 Responsabilité paysanne

4. Ravinement

5. Glissements de terrain

} Accidents graves en aval (boue, inondation)  
 Responsabilité de l'Etat.

6. Divagation des torrents



- 144 -

4.2 - Quantification de l'érosion en nappe et rigole sur des pentes de 25 à 60 % du Rwanda et du Burundi

TABLEAU 2 - Résultats des mesures d'érosion

Couvert végétal	Aménagement	E t/ha/an	Ruisellement KRAM %
Sol nu	cultivé dans le sens de la pente	300 à 550	10 à 40 %
Manioc ou patates mais/haricots ou pois-sorgho en culture associées	traditionnel à la houe	50 à 150 (300)	10 à 37 %
Id + 200 arbres/ha	(litière 50 kg/arbre/an)	30 à 50 (111)	5 à 7 %
Id + arbres + haies vives tous les 5 à 10 m	biomasse de (3 à 6 kg/m/an)	an 1 : 7 à 16 an 4 : 3 à 1	10 à 15 % 1 à 3 %
Id + A + HV ± billons couverts tous les 5 m		1 à 4	0.1 à 2 %
Bananeraie	ouverte, paillis exporté (10t/ha/an) complète, paillis étalé ou en cordons	20 à 60 1 à 5	5 à 10 % (45) 0 à 2 %
Caféière ou manioc + paillis épais	(20 t/ha/an)	0 à 1	0.1 à 10 %
Forêts de <i>Pinus</i> , prairies, vieilles jachères	(5-15 t/an de litière)	0 à 1	1 à 10 %

( ) = valeurs maximales observées.

TABLEAU 2. Erosion et ruissellement en fonction des techniques culturales.

D'après les résultats de l'ISAR à Rubona (NDAYIZIGIYE F., 1988-90), du PASI à Butare (König, 1991) de l'IRAZ (RISHIRUMUHIRWA, 1992) et de l'ISABU (DUCHAUFOR et BIZIMANA, 1992).

Les résultats proviennent d'essais réalisés sur des pentes fortes (27 à 55 %) (sauf pour les bananeraies de l'IRAZ p = 8 %) sur des sols ferrallitiques très désaturés mais assez résistants à l'agressivité des pluies (RUSA/Ham = 0.20 à 0.25).

De ces résultats, il ressort :

- . que les risques de ruissellement et d'érosion en nappe + rigole + érosion mécanique sèche sont très élevés sur les sols nus ;
- . que les méthodes culturales et les associations traditionnelles réduisent déjà sérieusement ces risques mais pas assez (tolérance = 12 t/ha/an) ;
- . que les arbres plantés entre les cultures ne suffisent pas ;

- . que les barrières d'herbes et les haies vives tous les 10 mètres complétées par un gros billon couvert de patates douces ou de légumineuse tous les 5 mètres sont une première solution ;
- . que le paillage (sous bananeraie, café ou manioc) est une autre solution très efficace même sur pentes fortes ;
- . que la reforestation en pins (litière d'aiguilles très efficaces) ou en d'autres essences sylvicoles laissant se développer un sous-étage réduisent très vite le ruissellement et l'érosion à des proportions acceptables.

Les fossés aveugles et les terrasses radicales ne peuvent être testés valablement sur ces petites parcelles : ces méthodes peuvent supprimer les risques d'érosion en nappe mais augmenter les risques de glissement de terrains sur les couvertures pédologiques peu épaisses. Ce ne sont pas les structures antiérosives mais les systèmes de production, qui jouent le rôle principal dans la stabilisation des versants.

## 5 - LA GESTION DE L'EAU

Le défrichement, les techniques culturales et les structures antiérosives modifient considérablement le fonctionnement hydrique des versants et des rivières. Dans ce chapitre nous analyserons : l'évolution du bilan hydrique en fonction de l'augmentation du ruissellement, les causes du ruissellement et les modes de gestion des eaux superficielles en fonction des conditions écologiques avant de discuter des structures antiérosives et des techniques proposées par le Rwanda.

### 5.1 - Le bilan de l'eau ou l'impact du ruissellement sur le drainage et la production végétale.

A la fig. 2, sont représentés deux bilans hydriques en cas de végétation pérenne à ruissellement faible ( $KR = 1-5 \%$ ) et en cas de culture à fort ruissellement ( $KR = 20-40 \%$ ).

La courbe 1 représente la hauteur annuelle des pluies qui augmente de 800 mm en zone semi-aride à plus de 2000 mm en zone humide (la Crête Zaïre Nil par ex.).

Les courbes 2 et 3 indiquent que le ruissellement est une perte d'eau pour la parcelle et les plantes, si bien que l'eau utile est plus ou moins largement inférieure à la pluie mesurée au-dessus du couvert végétal.

La courbe 4 délimite vers le bas une lame d'eau évapotranspirée par les plantes ( $ETR =$  pluies utiles en saisons sèches + dessèchement du profil, et  $ETR = ETP$  en pleine saison des pluies) et vers le haut, un espace correspondant au drainage résiduel au-delà des racines, qui alimente les nappes profondes et le débit de base des rivières.

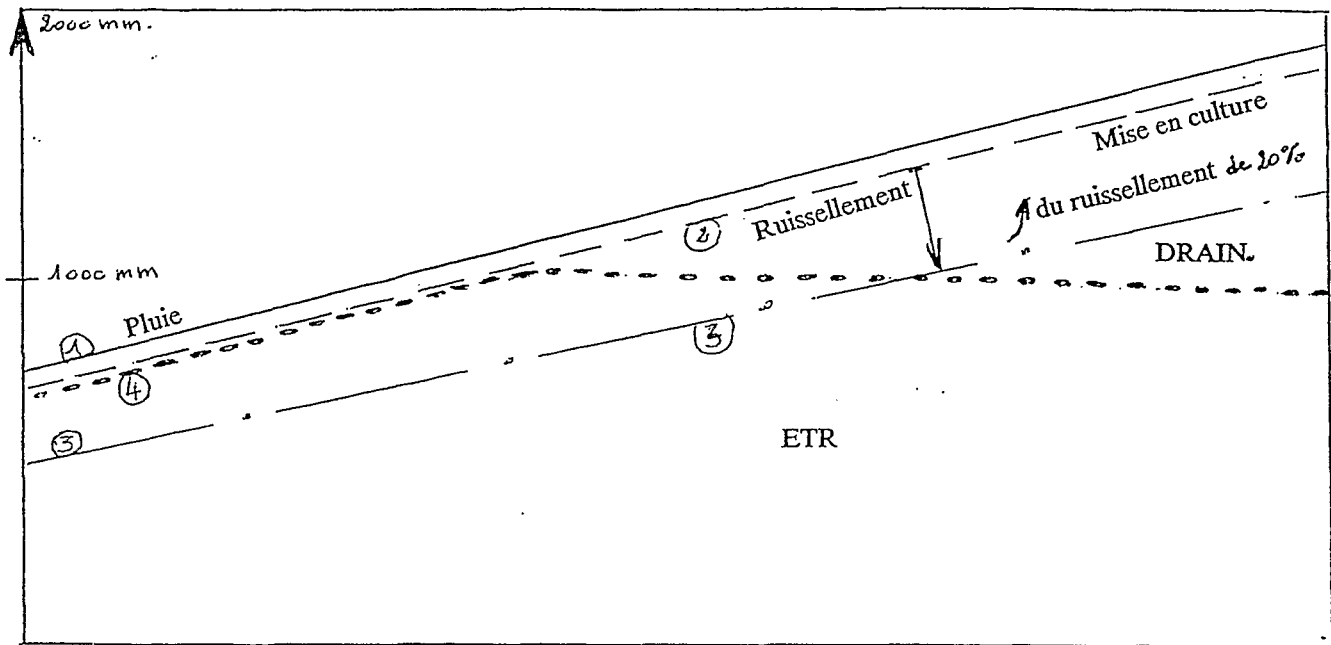
On observe qu'en région humide, l'augmentation du ruissellement réduit beaucoup le drainage... donc le débit d'étiage des sources et des nappes, mais augmente les débits de pointe des rivières et les risques d'érosion des berges.

Par contre, en zone semi-aride, le drainage potentiel est réduit si bien que l'augmentation du ruissellement, suite à la mise en culture, réduit notablement l'ETR, donc le potentiel de production de biomasse.

Par conséquent, l'impact de la lutte contre le ruissellement (et l'érosion) sur les rendements des cultures peut-être considérable en zone semi-aride, mais négligeable en zone humide. C'est là une des causes du manque d'effet de la LAE sur la production des collines humides du Rwanda, l'autre étant la pauvreté chimique et l'acidité des sols.

On peut aussi en conclure que la réduction du ruissellement (ou son captage) dans les savanes sèches de l'Est promet une nette influence sur les rendements des cultures qui y souffrent autant de carences hydriques que minérales.

FIGURE 2 : Bilan de l'eau : Pluie - Ruissellement = ETR + DRAIN ± Stock du sol.



### Zone semi-aride

Si Ruiss. ↑

DV → 0  
 ETR ↓  
 Biomasse ↓

### Zone humide

DR ↓    ETIAGE ↓  
 ETR →  
 Débits de pointe }  
 débits solides    } des rivières ↑

1 = Pluie qui augmente de 800 à + de 2000 mm

2 = Pluie - Ruissellement sous végétation naturelle

3 = Pluie - Ruissellement sous culture (augmente de 200 à 400 mm)

4 = Evapotranspiration réelle qui ne diminue que s'il y a du ruissellement en zone semi-aride.

Conclusion : en région très humide, la réduction du ruissellement n'augmente pas beaucoup les rendements, mais bien le drainage et les écoulements de base (source).

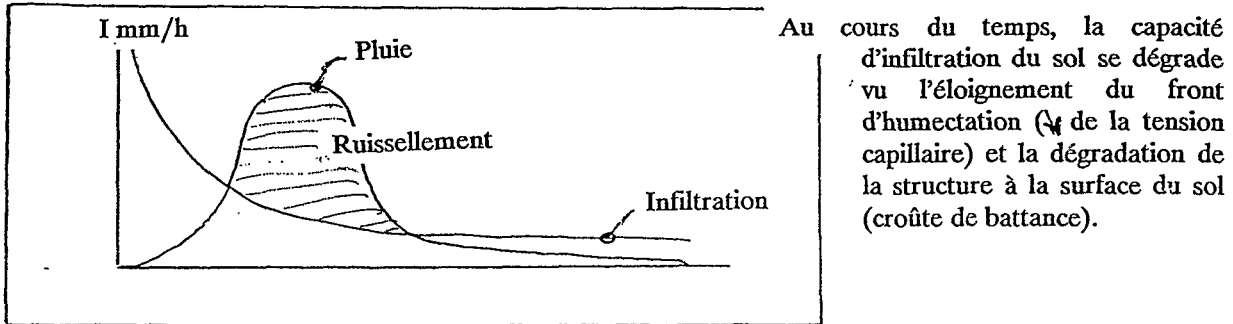


## 5.2 - La naissance du ruissellement.

Trois hypothèses de travail permettent d'expliquer comment le ruissellement prend naissance :

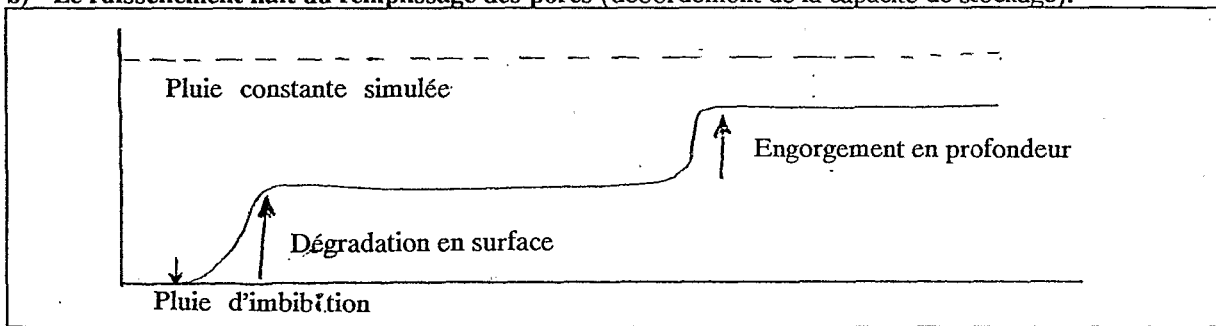
### a) - Ruissellement est fonction de l'intensité pluie-infiltration (HORTON)

Le ruissellement se développe lorsque l'intensité de la pluie dépasse celle de la capacité d'infiltration du sol.



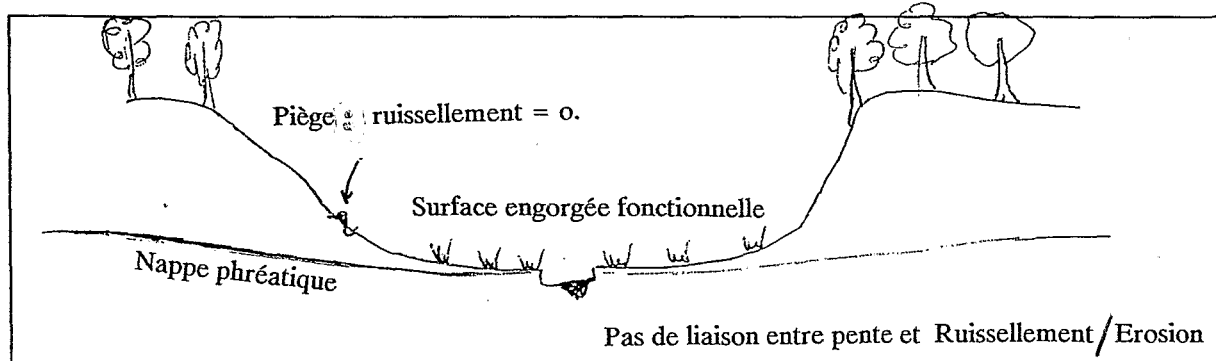
En réalité ce type de fonctionnement ne s'observe que si l'infiltration dépend d'une pellicule de battance à la surface d'un profil parfaitement perméable. Ce cas existe probablement sur les sols battants de la région de Karama (Bugesera) riches en limons et sables fins, pauvres en matières organiques.

### b) - Le ruissellement naît du remplissage des pores (débordement de la capacité de stockage).



Le sol est capable de stocker une lame d'eau à sa surface (rugosité) et dans ses pores. Lorsque le sol est tassé, caillouteux ou limité par un horizon très peu perméable, lorsque la pluie a rempli l'espace poral, quelque soit son intensité, elle déborde et ruisselle à la surface du sol.

### c) - Participation des aires partielles d'un bassin versant.



Dans un bassin versant, il n'y a que certaines parties qui ruissellent :

- 1 - la rivière en toute saison... d'où des débits faibles mais temps de réaction court,
- 2 - la rivière plus le marécage à nappe affleurante en saison des pluies,

- 3 - l'ensemble du bassin nourrit la nappe dès que le sol a dépassé la capacité au champs, mais le versant ne ruisselle toujours pas en fin de saison humide,  
 4 - l'ensemble du bassin ne ruisselle que si la surface du sol est dégradée : croûte de battance ou horizon tassé par le labour et le pâturage.

Avant de définir la LAE, il faut donc faire le diagnostic du mode de naissance du ruissellement : où démarre-t-il, à quelle saison, lié à quel type d'averse et de système de culture ?

**5.3 - Quatre modes de gestion de l'eau en fonction des climats.**

Si on trace une transversale à travers l'Afrique de l'Ouest depuis le Sahara jusqu'à la zone subéquatoriale, on peut définir quatre modes de gestion des eaux en fonction des conditions climatiques et de la perméabilité des sols. A chacun de ces modes correspondent des structures antiérosives et des techniques culturales particulières.

**TABLEAU 3 - 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.

Au Rwanda, il va falloir choisir le mode de gestion de l'eau :

- En tenant compte des besoins en eau pendant la saison sèche (Impluvium et citernes pour une irrigation d'appoint).
- En tenant compte des risques d'engorgement du sol à certaines périodes (diversion dangereuse sur les pentes fortes, dissipation de l'énergie par les microbarrages perméables des talus).
- En tenant compte de l'épaisseur du sol et de sa capacité d'infiltration sans risque de glissements de terrain (fossés aveugles, terrasses radicales).

#### 5.4 - Discussion sur les structures de gestion de l'eau adaptées au Rwanda.

Il nous semble important de montrer le rôle des structures "antiérosives" sur la gestion de l'eau, leur coût, leur intérêt, leurs limites et les variantes.

##### a) - Les citernes

Encore peu répandues au Rwanda, elles ont fait leur preuve dans des pays semblables comme Haïti, pour démarrer des pôles d'intensification de l'agriculture. Elles sont de deux types :

- les citernes d'eau potable collectant 10 à 50 m<sup>3</sup> d'eau propre issue des toits de tôle ou d'impluviums domestiques. Elles réduisent les corvées eau et le déplacement du bétail, améliorent le niveau d'hygiène et la production du jardin autour des habitations,
- les citernes d'eau de ruissellement collectée sur les pistes, les versants rocheux ou sur les pâtures. Elles permettent l'abreuvement du bétail et l'irrigation d'appoint de cultures potagères et de jardins fruitiers de contre saison.

b) - Les fossés d'absorption totale ont pour objectif d'intercepter les eaux de ruissellement sur les versants perméables de moins de 20 % de pente pour améliorer l'alimentation des nappes et l'humidité disponible dans les couvertures pédologiques. Ils demandent beaucoup de travail à l'installation (350 hommes x jours) et à l'entretien (50 à 100 hommes x jour), mais n'augmentent pas beaucoup les rendements des cultures.

Ils ne réduisent pas la dégradation du sol par battance (érosion en nappe), mais participent à la formation de talus et de terrasses progressives.

Au bout de 5 à 10 ans, on peut les transformer en 2 terrasses radicales. Leur intérêt est de modifier progressivement le paysage et les besoins en fertilisants. Le risque est de transformer une érosion en rigole en une ravine (par débordement si les fossés ne sont pas curés régulièrement) ou en glissement de terrain (si la pente dépasse 35 %, si le sol est peu profond ou posé sur un plan de glissement : schistes, gneiss, lit micassé, dôme granitique recouvert de cendres volcaniques).

c) - Les microbarrages perméables : cordons d'herbes, haies vives, cordons de pierres ont pour objectif de ralentir les eaux de ruissellement, de dissiper leur énergie et de les étaler. Ils demandent moins de travail (50 hommes x jour plus 10 pour l'entretien), mais n'arrêtent pas le ruissellement et ne protègent pas complètement les terres labourées à l'aval. Ils ralentissent beaucoup l'érosion hydrique et bloquent l'érosion mécanique sèche. Ils aboutissent rapidement (20 à 30 cm par an) à un talus (de 1,5 à 2 mètres maximum) où s'accumule la terre fertile et un glacis décapé peu fertile qu'il faut restaurer. Au bout de 5 à 10 ans, on peut alors intervenir pour en faire deux terrasses radicales : l'une fertile à couvrir de plantes exigeantes et l'autre à restaurer pour produire des cultures moins exigeantes.

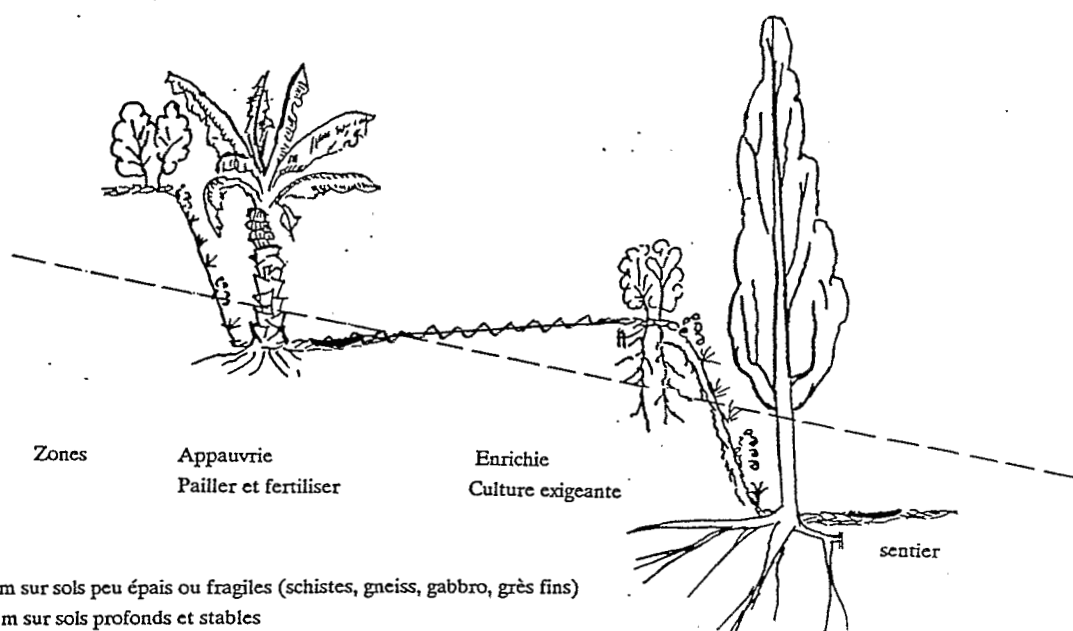
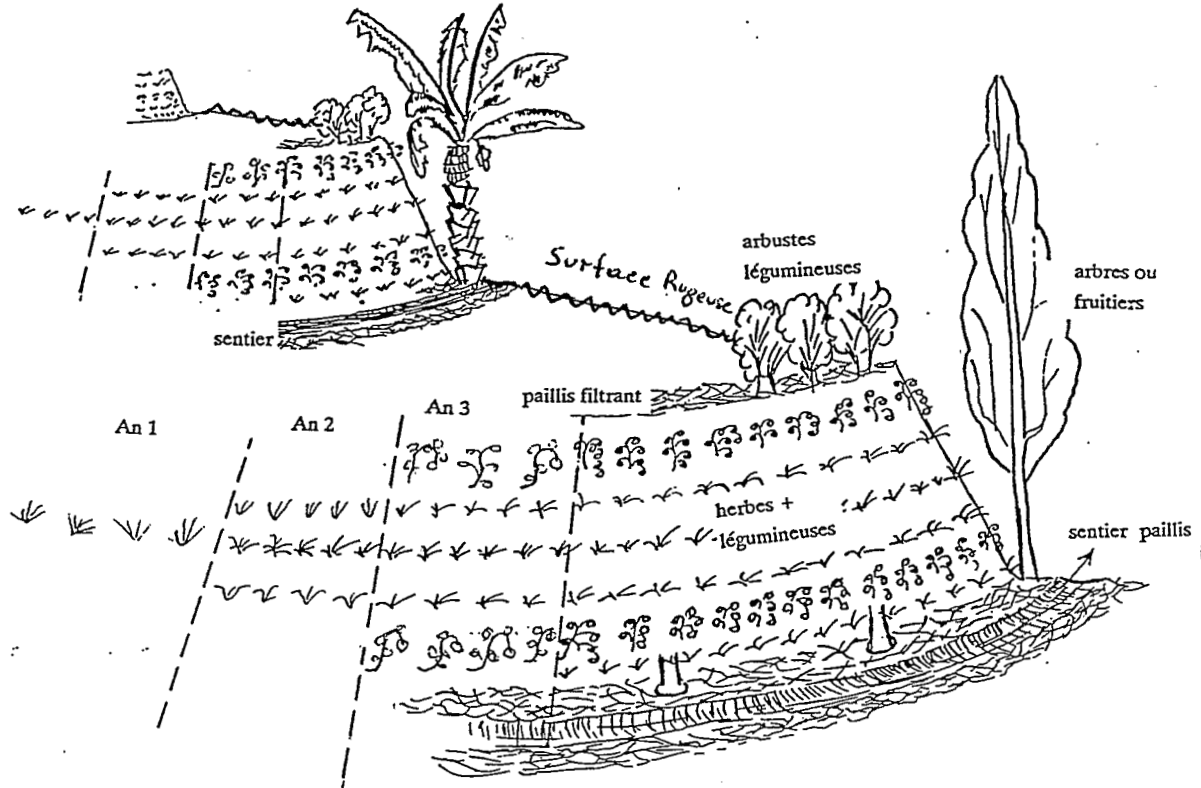
La figure 3 montre un schéma d'aménagement progressif d'un talus planté en herbes fourragères (mélange de graminées et de légumineuses), une haie vive de thé, de fruitiers, voir d'arbustes fourragers par dessus et une ligne d'arbres en aval pour restaurer le sol, stabiliser et dessécher la base du talus (anti-glissement). Une autre solution consiste à planter d'abord une ligne d'arbres fruitiers et ensuite de couvrir d'herbes le talus qui évolue par érosion mécanique sèche. Les différentes solutions vont dépendre de la profondeur du sol et de la nature du sous sol (perméable, pierreux, fissuré, riche en nutriments ou stérile).

d) - Les terrasses radicales ou gradins subhorizontaux ont pour objectif d'absorber toutes les eaux de pluie (plus le ruissellement si elles sont discontinues) et de capitaliser la fertilité qu'on y accumule. De légères modifications permettent de les irriguer (comme les rizières de Bali) ou de les drainer vers un exutoire aménagé (risque de ravinement). La largeur des terrasses cultivables dépend de la pente, de la profondeur du sol et du type de culture.

Les microterrasses en escalier (dH à peu près 50 cm, l = 50 à 100 cm) sont utilisées sur très fortes pentes (> 40 %) ou des sols superficiels pour des cultures de thé ou diverses associations des cultures alimentaires : elles exigent beaucoup moins de travail de terrassement et stabilisent bien les versants raides en cas de culture manuelle. Le terrassement classique exige 700 à 1200 hommes par jour à l'hectare en fonction de la largeur des bandes cultivées et de la pente.

Il est raisonnable de maintenir la hauteur des talus inférieure à 1,5 à 2 mètres sur les sols les plus stables pour assurer leur stabilité et la facilité de leur exploitation. Comme ces talus représentent 20 à 50 % de la surface des terres aménagées, il est indispensable d'intensifier leur production de

Figure 3 : Le modèle évolutif de structure antiérosive.



- Hauteur de talus limitée { à 1 m sur sols peu épais ou fragiles (schistes, gneiss, gabbro, grès fins)  
à 2 m sur sols profonds et stables
- Distance entre talus : 5 à 20 mètres selon la pente et l'épaisseur du sol
- Talus incliné de  $\approx$  0,4 m par mètre de hauteur, totalement planté en herbes fourragères 20 x 20 cm, enrichi en légumineuses rampantes dans les vides
- Exploitation de 2 à 4 coupes par an
- En amont :
  - . haie vive de légumineuses : Calliandra, Leucaena, etc...
  - . taille à 30 cm du sol 2 à 3 fois/an (biomasse 3 à 5 t/ha/an)
  - . pose au ras du sol d'une couche de paille filtrante
- En aval, à 1 mètre de la 1ère ligne d'herbe fixatrice, planter dans 1 trou > 70 cm des arbres tous les 4 m (Grevillea, Cedrella, Maesopsis, Casuarina, Bananiers, Avocats, Pêchers, Pruniers)
- Le sentier doit passer au pied du talus impérativement
- La biomasse produite peut servir :
  - . à l'affouragement du bétail
  - . au paillage léger du lit de semence en début de chaque saison = période la + dangereuse

fouillage par introduction de légumineuses (*Desmonium* rampant) et fertilisation sans quoi leur production baisse au bout de 3 ans et ne persistent que des adventices sans grand intérêt fourrager : ces talus fourragers vont permettre le maintien d'un élevage intensif en stabulation. Si on maintient la hauteur des talus inférieure à 2 mètres, la largeur des bandes cultivées est réduite lorsque la pente augmente. Les terrasses larges et la motorisation ne sont pas conseillées sur les pentes de plus de 30 % : les risques de glissement de terrains sont trop graves.

L'un des objectifs des terrasses radicales est de capitaliser la fertilité sans risque de voir le fumier et les engrais emportés par les eaux de ruissellement. Il faut toutefois savoir que si le ruissellement diminue, le drainage et le risque de lixiviation des engrais solubles N-K-Ca-Mg augmente, d'où la nécessité d'augmenter l'évapotranspiration (ETR) et d'intensifier la culture (cultures associées, succession rapide ou même tuiée de plantes à cycles courts), d'introduire des arbres capables de récupérer les solutions en profondeur et de gérer avec soin la fertilisation (voir plus loin fertilisation minérale associée au fumier et localisée sous les plantes).

Il devrait être clair que la terrasse radicale exige beaucoup de travail (mais finalement, pas plus que les fossés et leur entretien pendant 10 ans) et un investissement important pour restaurer la fertilité du sol (10 t de fumier, 3 t de chaux et N60 P60 K60) et l'entretenir. Par conséquent il faut prévoir la production d'un surplus et sa valorisation (routes praticables, organisation d'un marché et d'une commercialisation rémunératrice pour les paysans).

Enfin, on ne pourra aménager toutes les collines en terrasses radicales : les limites connues concernent l'épaisseur du sol (plus de 1,5 m), la pente (< à 60 %), la lithologie (schiste, gneiss et lits de micas, cendres volcaniques sur dôme granitique), la disponibilité en fumier, en chaux et en NPK, le financement et la formation des équipes de terrassiers. Il ne faudrait pas en faire le modèle unique, la panacée universelle sans quoi on court vers de nouvelles désillusions : d'autres modèles d'aménagement des collines existent qui sont plus progressifs, moins exigeants en travail et moins risqués, comme les microterrasses en escalier, les talus fourragers alliés à l'agroforesterie et au paillage, les vergers fruitiers avec couverture de légumineuses mieux adaptés à certaines circonstances fréquentes (paysans pauvres, sans bétail, donc sans fumier, très fortes pentes, sols trop superficiels ou trop caillouteux).

## 5.5 - Importance des techniques culturales

Les techniques culturales qui modifient l'état de la surface du sol, sa rugosité, sa couverture, le stockage et la concentration des eaux, sont souvent aussi efficaces sinon plus que les structures antiérosives pour réduire le volume du ruissellement et dissiper son énergie.

Si on peut conseiller d'adopter des structures simples, évolutives pour stabiliser les versants, il faut par contre tendre vers des systèmes de production complexes, des cultures associées, des jardins multiétagés où se multiplient les interactions positives entre l'amélioration de la production de la biomasse, la litière, les adventices, la couverture végétale et la protection des agrégats, l'activité de la mésofaune et la capacité d'infiltration du sol.

**Le labour à plat en mottes grossières** est indispensable si le sol est trop tassé : il augmente temporairement l'infiltration et dissipe l'énergie du ruissellement. Il améliore le stockage de l'eau du sol et la pluie d'imbibition, il aide à enfouir les résidus et à lutter contre les adventices. Malheureusement, il réduit la cohésion du matériau et augmente son érodibilité par les eaux de ruissellement, surtout s'il réduit trop finement les mottes.

**Les buttes coniques** accumulent localement de la bonne terre pour développer de gros tubercules, mais elles sont dangereuses car elles réduisent la cohésion du sol, augmentent la pente du sol soumis à la battance et concentrent les eaux en filets (érosion en rigole qui peut dégager les sables et les graviers).

**Le billonnage parallèle à la pente** a le même effet, il augmente le drainage et provoque des rigoles dès que les pluies ont encroûté les flancs des billons. Cependant, sur fortes pentes (> à 30 %), il réduit les risques d'érosion hydrique et de glissement lors des plus fortes averses.

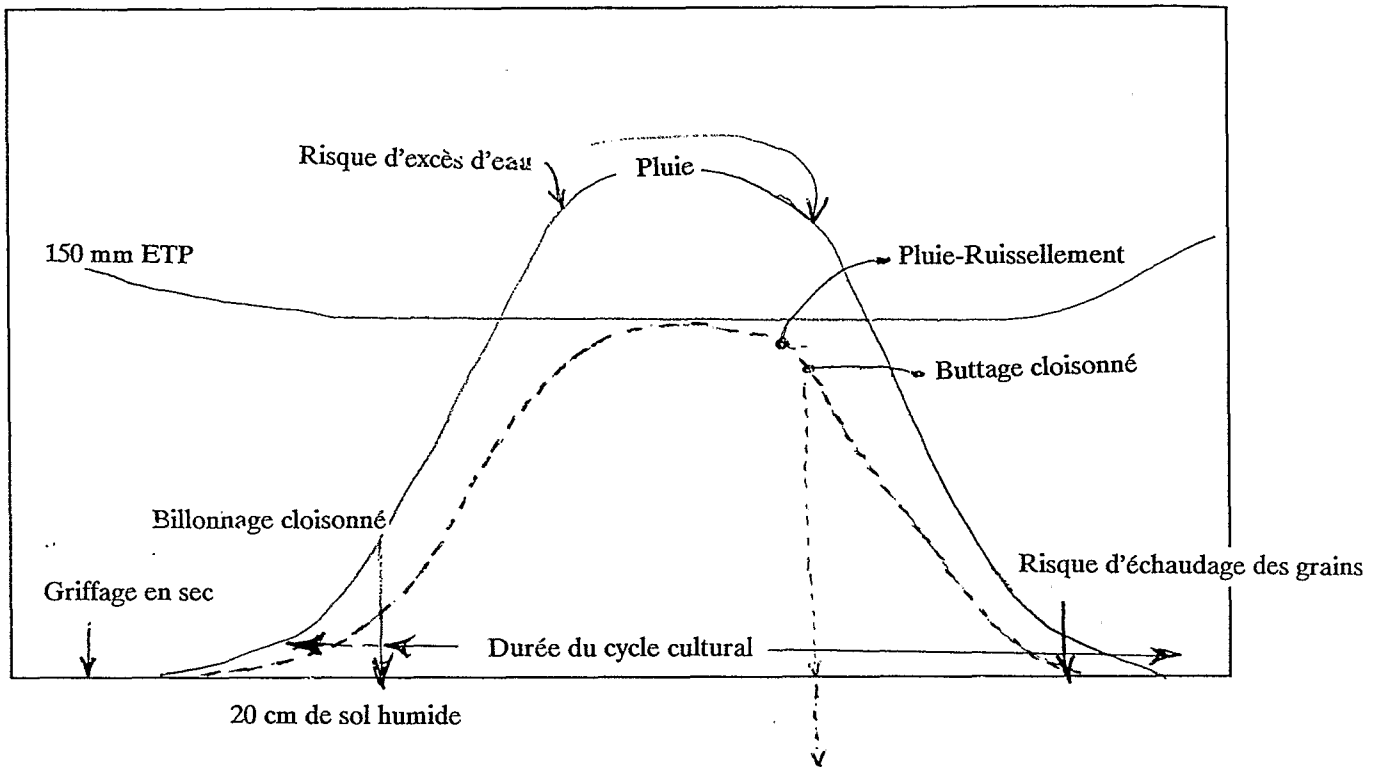
**Le billonnage perpendiculaire à la pente** améliore le stockage de l'eau lors des petites et moyennes averses, mais il peut donner lieu à du ravinement et des glissements lors des plus fortes averses si les eaux débordent la crête d'un billon mal couvert. Pour éviter ces inconvénients, il faut créer de gros billons (H = L = 40 cm) complètement protégés par une végétalisation rampante toute l'année (ex : patates douces) à

moins de 5 mètres d'écartement pour casser l'énergie du ruissellement sur les versants. Cette technique peut être associée aux haies vives tous les 10 mètres et aboutir à un petit talus intermédiaire sur les sols peu profonds.

Le billonnage légèrement incliné et cloisonné peut être un bon compromis pour stocker une certaine lame d'eau (60 à 30 mm selon la pente, 1 à 30 %) et drainer les eaux excédentaires sans autre érosion que celle des particules fines en suspension.

Cette technique du billonnage ou du buttage cloisonné est très efficace sur les faibles pentes des paysages de savane soudano-sahéliennes.

Il est possible de raisonner le choix des techniques culturales en fonction des risques d'excès ou de manque d'eau dans le sol. (fig. 4).



Labour grossier et billonnage cloisonné

si l'on veut allonger le cycle  
et produire le maximum de biomasse.

Buttage cloisonné après  
2 sarclages si on veut  
augmenter le stock  
d'eau dans le sol pour  
remplir les grains :  
stabilité de la  
production.

- Si la durée de l'hivernage est trop brève, on peut déjà sous-soler le sol en sec ( $h > 12$  cm) pour améliorer l'infiltration sur les lignes de plantation et semer très tôt dans la raie: d'où allongement du cycle.

- 1 mois plus tard, on peut labourer et construire des billons cloisonnés pour stocker le maximum d'eau et produire beaucoup de biomasse... qui risque d'être échaudée si la saison des pluies s'arrête trop vite.

- Mais si on craint des excès d'eau pendant quelques semaines, après labour et 2 sarclages, on peut faire un buttage cloisonné qui va permettre de stocker l'eau dans le profil en fin de saison et éviter l'échaudage des grains.

## **6 . La gestion de la fertilité**

En dehors de la zone volcanique où les cendres donnent des horizons poreux mais peu acides, la majorité des sols ferrallitiques du Rwanda sont très acides avec parfois développement d'une toxicité aluminique, ce qui augure d'un fort drainage et de risques élevés de lixiviation, risque encore augmenté si l'on supprime le ruissellement. Il ne suffit donc pas de "conserver le sol" ni même de supprimer le ruissellement, il faut en plus restaurer et améliorer la fertilité de ces sols.

La CES n'est plus acceptée par les paysans car elle ne valorise pas leur travail. Pourquoi protéger le sol en creusant des fossés si malgré le travail supplémentaire, la récolte n'est pas significativement meilleure ?

### **6.1. Restauration de la fertilité des sols**

La restauration d'un sol dégradé comprend six étapes complémentaires pour arriver rapidement (un à deux ans) à une production intéressante. Si l'on laisse faire la nature (jachère) ou si on néglige l'une des composantes, le temps nécessaire à la restauration se prolonge. Cette restauration peut prendre des siècles si le sol est décapé jusqu'à la roche.

Un sol dégradé est généralement décapé, tassé, instable, stérile, acide et/ou carencé et sujet à un ruissellement intense. Il va donc falloir remédier à chacun de ces défauts dans l'ordre suivant :

- 1 Maîtrise du ruissellement et de l'érosion : mise au point d'un système de production durable couvrant bien le sol avec si nécessaire des structures antiérosives simples ;
- 2 Travail profond du sol pour recréer un bon drainage;
- 3 Stabilisation de la macroporosité et de la structure par enfouissement des résidus organiques (ou de gypse) et par une culture produisant beaucoup de biomasse racinaire (engrais verts, légumineuses, sorgho) ;
- 4 Revitalisation du sol par apport de 10 à 20 t/ha de fumier ou compost à mélanger à la couche superficielle du nouveau sol ;
- 5 Chaulage (1 à 5 t/ha) pour remonter le pH à plus de 4,8 - 5 où la toxicité Al + Mn disparaît ;
- 6 Correction progressive des carences en alimentant les plantes cultivées à leur rythme et en "emballant" le complément minéral dans la fumure organique pour éviter sa lixiviation ou son insolubilisation par le fer ou l'aluminium libres.

### **6.2. Entretien de la fertilité du sol en milieu filtrant acide**

- Une fois l'érosion maîtrisée et la fertilité physique, biologique, chimique restaurée, il reste à nourrir les plantes cultivées (localisation de la fumure) à leurs rythmes (doses fractionnées) en fonction des objectifs de production (N 40 à 160 kg/ha ; P 30 à 100 ; K 20 à 100) et des risques de lixiviation périodiques (chauler après les périodes les plus pluvieuses).

En pratique, il faut gérer au mieux les résidus organiques et ajouter les compléments minéraux nécessaires pour équilibrer le bilan des pertes (exportation des récoltes, lixiviation, érosion, dénitrification ou insolubilisation).

- RUTUNGA (1991) constate que sur les terres pauvres le chaulage doit être renouvelé tous les trois ans et la fumure organique (10 t de fumier) tous les trois cycles culturaux. Sur les terres moyennement riches, le chaulage n'est guère utile mais bien la fumure organique et minérale. Sur les terres volcaniques riches, de faibles doses de NPK n'entraînent jusqu'ici que de faibles différences de rendement.

- En outre, chaque plante présente ses exigences propres :

	N	P	K	
Haricot	34	25 - 50	34	en fonction des maladies cryptogamiques
Soja	20 - 40	40 - 50	30 - 50	+ inoculum + chaux si pH < 5
Pois	34	34	34	+ inoculum + chaux + fumier
Arachide	30	30	0	
Sorgho	60	60	17	en altitude + fumier (+chaux)
Maïs	78	42	42	
Blé	88	42	42	
Riz irrigué	60	30	30	pour 2 tonnes de paddy
	100	60	60	pour 6 tonnes de paddy
Pommes de terre	51	151	260	+ chaux + fumier si en altitude
Manioc	100	50	100	
Maraîchage	30 - 50	30 - 70	100 - 200	ou 35 tonnes de fumier

### 6.3. Gestion de la biomasse

Au Rwanda, les paysans sont généralement trop pauvres pour acquérir les engrais minéraux nécessaires à l'intensification de leur production. Ils ne disposent que de la gestion de la biomasse produite (adventices, résidus de culture, herbes broutées le long des chemins et sur les terres communales, feuilles d'arbres composant la litière des bêtes, cendre et déchets familiaux). Avant leur recyclage dans le sol, cette biomasse et les minéraux contenus vont subir une série plus ou moins longue de valorisation et transformations qui vont influencer fortement sur les restitutions au sol.

a) **Valorisation par l'élevage** : filière longue (3 à 6 mois avant la maturité du fumier) permettant la production de lait, de viande, de peaux et de fumier. Le rendement de restitution en biomasse et nutriment est faible (30 à 40 %) mais la matière organique est de meilleure qualité (C/N = 20 pour le fumier, 60 pour la paille et 10 pour l'humus du sol).

- Le fumier apporte aussi la microflore indispensable pour mobiliser le stock minéral du sol et le rendre assimilable par la plante.

- Les apports à la tonne de fumier (25 % d'eau) sont variables : par exemple 4 kg de N, 15 kg de P, 12 kg de K, 19 kg de Mg et 25 kg de Ca (Rutunga, 1991). Avec 20 tonnes de fumier de ce type on arrive à améliorer le statut organique du sol mais aussi à nourrir la plupart des cultures. On remarque le très mauvais rendement en azote, car il s'agit en fait de poudrettes exposées au soleil plutôt que d'un vrai fumier fermenté avec une litière suffisante pour fixer l'azote des déjections liquides.

- Le fumier suffit à peine pour entretenir le tiers de la surface de l'exploitation s'il n'y a pas de terres communales ou de compléments industriels. Le reste des terres continue à s'appauvrir en portant de maigres cultures de manioc et de patates douces tolérantes à l'acidité des sols pauvres.

- Il apparaît donc nécessaire d'augmenter le volume de fumier produit et sa qualité par l'amélioration de l'élevage (semi stabulation sur une litière plus abondante).

- Avec la pression démographique et la réduction de la surface moyenne des exploitations (0,4 ha par famille en l'an 2000 !), le gros bétail va se retirer vers les hautes montagnes et les savanes. Il ne restera plus que les chèvres, le petit bétail et les porcs susceptibles de continuer à fournir un fumier de bonne qualité à partir de l'ensemble des résidus.

b) **Compostage** : C'est une filière encore plus longue (6 à 18 mois) dont les rendements sont aussi faibles que pour le fumier mais qui ne produit pas de viande. C'est pourtant une pratique valable pour ceux qui ne possèdent pas d'élevage (paysans pauvres) ou qui disposent de grandes quantités de déchets industriels (parche de café, gadoues de ville, drèches de brasserie etc). Mais l'obstacle majeur est le travail nécessaire. On a essayé de creuser les compostières aux champs pour éviter le transport : mais



elles restent vides. Les seules fosses efficaces sont les compostières - fumières - poubelles où sont tassés tous les résidus disponibles, en même temps que les cendres. Pour que le mélange fermente avec moins de perte, on préconise des fosses petites (4 x 2 m) plantées d'arbres qui fournissent l'ombrage, une ambiance fraîche et humide, de la biomasse riche en minéraux et dont les racines récupèrent les solutions lessivées du tas par les eaux de drainage. Comme on ne peut en produire que 5 t/an par famille (soit 0,2 à 0,5 ha par exploitation), il faut encore trouver des solutions complémentaires pour fumer l'ensemble de l'exploitation, mais c'est une bonne base pour démarrer des cultures maraîchères lesquelles permettent le décollage du développement rural (voir Haïti).

**c) L'enfouissement des résidus et des adventices :**

On ignore souvent la masse de résidus de culture, de racines et surtout des adventices que les paysans enfouissent lors des labours et sarclages. c'est pourtant une filière courte (1-3 mois) qui permet un turn over rapide des nutriments contenus dans la biomasse.

Il existe d'ailleurs diverses méthodes traditionnelles où l'on rassemble en tas les adventices pour les faire sécher, puis on les recouvre d'une butte de terre que l'on plante aussitôt de boutures de patates douces. A la récolte de celles-ci, la terre riche en matières organiques est répandue alentours. Ces enfouissements répétés dans l'année de matières organiques fraîches permettent de maintenir un certain niveau de carbone organique dans le sol mais leur action sur la fertilité du sol et sur sa résistance à l'érosion est très limitée.

D'une part le paysan exploite de plus en plus cette biomasse pour l'élevage des animaux puisque les jachères disparaissent et d'autre part l'élévation de 1 % du taux de matière organique du sol ne réduit que de 5 % l'érodibilité du sol (d'après le Nomographe de Wischmeier, Johnson et Cross, 1972). Or il faut des apports considérables de matière organique évoluée pour augmenter de 1 % le taux de carbone de 10 cm de sol (1 % de 1500 tonnes de terre). L'enfouissement brutal de 15 tonnes de paille peu évoluée entraîne une faim d'azote fixée par la masse microbienne.

**d) Le paillage épais (7 - 10 cm = 20 à 25 t/ha) est une méthode très efficace pour réduire l'évaporation, la croissance des adventices, maintenir l'humidité du sol en saison sèche et arrêter l'érosion.**

C'est aussi une filière courte pour restituer la totalité de la biomasse et les nutriments qui la constituent (K, Ca, Mg, C d'abord par lessivage, N et P à mesure de la minéralisation et de l'humification à travers la méso et microfaune). La disparition de la litière est 30 % plus lente posée en surface, qu'enfouie par le labour, mais les risques de "faim d'azote" sont moins graves. Sous forêt, où les sols sont souvent les meilleurs, la litière n'est jamais enfouie par labour... mais par les vers, et souvent les termites et autre mésofaune : les sols non dégradés sont tout à fait capables d'ingérer les matières organiques déposées à leur surface.

Sous caféiers et bananiers, le paillage a fait ses preuves ce sont les parcelles les moins érodées et les moins dégradées des collines cultivées depuis longtemps. Malheureusement, on ne dispose pas de masse suffisantes de résidus végétaux pour couvrir totalement les terres cultivées. Mais un **paillage léger (2 à 6 t/ha) répandu en début de saison des pluies** dissipe l'énergie des gouttes de pluie et celle du ruissellement et maintient plus longtemps une bonne infiltration en même temps qu'une forte activité de la mésofaune. Même s'il ne couvre que 50 % de la surface du sol, il réduit de 80 % les risques d'érosion. Sur sol encroûté, il réduit bien l'érosion mais moins le ruissellement. Mais de toute façon il apporte des éléments nutritifs ainsi que des matières organiques fraîches à la surface du sol qui améliorent sa structure, là où le sol est attaqué par les pluies.

Aucune de ces méthodes de recyclage n'est parfaite ; elles doivent être combinées pour profiter de toutes les opportunités.

Aussi avons nous tenté de modéliser une exploitation type de un hectare pour comprendre les interactions souhaitables entre l'agriculture, l'élevage et l'introduction d'arbres et d'arbustes pour réaliser une sorte de bocage.

**6.4. Essai de modélisation d'une exploitation d'un hectare**

Cet exercice nous permettra de voir le rôle joué par chaque parcelle dans l'équilibre nutritionnel de l'exploitation type.

		fourrage tonne	paillis tonne
soit	30 ares de bananier* (3,3 t/ha de stipes + 2,6 t feuilles)	+1	+0,8
	10 ares de café** exigeant 20 t/ha/an de paillis	0	-2
	10 ares de manioc continu produit des tiges	0	+1
	20 ares de haricots purs	0,4	0
	/ sorgho en seconde saison (5 t/ha de tiges)		1
	10 ares de maïs/soja ou arachide en seconde saison	+0,5	+0,1
	10 ares de haies vives tous les 10 mètres (5 kg x 1000 m)	5	0
	10 ares de talus enherbé	0	1
	Production totale en matière sèche /ha/an	6,9	3,9-2

\* Selon MARCHAL J. et GODEFROY J. du Cirad-IRFA, un bananier donne 6 à 8 kg de matière sèche (56 % de stipes et 44 % de feuilles) ou 80 à 100 kg de matières fraîches (81 % de stipes et 19 % de feuilles). Si la densité de bananiers est de 1111 pieds/ha, et la durée du cycle à Rubono (1500 m d'altitude) de 16 mois, une bananeraie produit 3,3 t/ha de stipes et 2,6 t/ha de feuilles sèches (communication orale).

\*\* Selon JARDIN de l'IFCC 20 t/ha/an de Pennisetum ou encore selon GAIE & FLEMALLE (1988) une épaisseur de 10 cm.

- Une vache a besoin de 0,4 ha de Pennisetum soit environ 8 tonnes de fourrages  
donne  $8 \times 0,3 = 2,4$  tonnes/ha de fumier soit de quoi entretenir 10 à 20 ares.  
la biomasse disponible pour le paillage est de  $3,9-2 = 1,9$  t soit un paillage léger par an.

D'où l'intérêt de l'agroforesterie pour stabiliser l'exploitation : sur 50 ares x 200 arbres/ha = 100 arbres x 50 kg de paillis = 5 tonnes de paillis ou haies vives tous les 5 mètres x 4 kg / mètre linéaire sur 0,5 ha = 4 tonnes de paillis ou de fourrage. Ce qui permet deux paillages légers par an, en particulier lors de la seconde saison des pluies (la plus dangereuse pour l'érosion car le sol est déjà humide) et un volant de fourrage de réserve pour le bétail en particulier en saison sèche.

Noter également la forte consommation de paillis par les caféiers qui pourrait être remplacé par des haies de *Leucaena diversifolia* taillées avant la saison sèche pour pailler les caféiers.

## 6.5. Conclusions partielles

Pour conclure ce chapitre sur la gestion de la fertilité il semble important de souligner

- 1 Le besoin de recherche sur la gestion des nutriments à travers la gestion de la biomasse et l'accélération de turn over par le paillage ;
- 2 La nécessité d'intensifier l'agroforesterie, y compris là où l'on opte pour les aménagements en terrasses radicales ;
- 3 Ces sols acides nécessitent des apports minéraux : le chaulage et les phosphates qu'on ne peut trouver dans la biomasse végétale. On devrait mieux exploiter la biomasse animale (poudre d'os, de sang) ;
- 4 K et Mg ne viennent à manquer que si l'on intensifie la production et pour les plantes à tubercules (en particulier la pomme de terre) mais on peut les trouver dans les cendres ménagères et le fumier composté ;
- 5 Une bonne partie de l'azote pourrait provenir de cultures dérobées de légumineuses durant 6 mois.... à condition qu'elles trouvent assez de phosphore et un pH > 5,2 pour qu'elles soient capables de fixer l'azote de l'air. Il est donc urgent d'organiser un marché des engrais ;
- 6 Il est impossible de supprimer l'élevage car il valorise les biomasses dispersées sur les chemins et les talus et maintient la santé des populations. Cependant le bétail ne peut circuler sur les zones aménagées en terrasse. Il faut donc favoriser la stabulation pendant la majorité de la journée et toute la nuit....ce qui permettrait d'améliorer la fixation de l'azote, la quantité et la qualité de fumier.

## 7. Quelques aspects économiques de l'érosion

- Une analyse même succincte des problèmes économiques posés par l'érosion permet d'avoir une meilleure compréhension de l'importance de la stratégie à mettre en oeuvre si on veut réduire les transports solides et les incidences de l'érosion à l'aval ou si on veut réduire la dégradation du sol sur les champs des paysans.

### 7.1. Le coût à l'aval ou sur le site d'érosion

Il faut d'abord bien distinguer

. **Le coût de l'érosion à l'aval** : pollution des eaux, ensablement des barrages, boues colmatant les fossés, les routes, les villes, inondations, glissements de terrain, augmentation des débits de crues emportant les ponts et dégradant les berges, dépôts de sables stériles dans les vallées où on tente la valorisation des marécages. Le coût est énorme et attire généralement l'attention des pouvoirs publics nationaux et internationaux.

**Le coût de l'érosion sur le site où il se développe** :

- perte d'eau (assèchement de la terre) ;
- perte de nutriments (dégradation du sol)
- perte de surface cultivable (si ravinement) et enfin à plus long terme,
- perte du potentiel de production : décapage de l'horizon humifère, stérilisation, perte du stockage de l'eau et des nutriments dans le sol.

On a beaucoup moins de données sur l'importance de l'érosion sur la production où il ne s'agit que d'impacts moyens à l'échelle d'une région, qui peuvent être corrigés facilement par l'augmentation d'intrants.

- La C.E.S. est justement une stratégie qui visait d'abord la conservation de la qualité des eaux (surtout utilisée par l'industrie et les citadins) et par la même occasion la conservation du potentiel de production des sols. Or l'impact de l'érosion sur ce potentiel de production du sol dépend beaucoup du type de sol, de son épaisseur, de la succession de ses horizons, de la présence cailloux (roches réduisant son aptitude à l'exploitation motorisée, de la concentration de sa fertilité en surface, comme les sols forestiers tropicaux). voir fig. 5

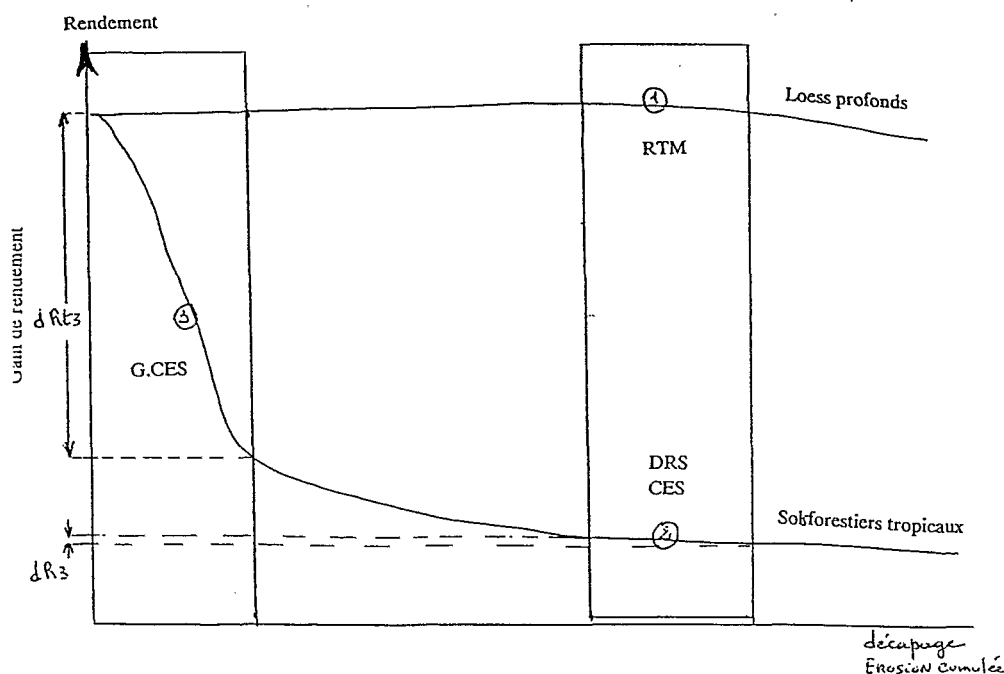


Fig. 5 - Effet de l'érosion cumulée ou du décapage du sol sur leur potentiel de production. Intérêt des stratégies d'équipement rural (RTM - DRS - CES) et de développement rural (G.CES) face aux situations pédologiques.

Ainsi on peut voir fig. 5 courbe 1 que l'érosion cumulée sur un sol brun sur loess profond ne change guère sa productivité. Avec les engrais, la motorisation, les herbicides et les graines sélectionnées, la production n'a pas baissé mais augmenté depuis un siècle, que ce soit en France ou aux USA. Il existe aussi des sols peu fertiles qu'ils soient soumis à l'érosion ou pas car ils sont déjà dégradés depuis longtemps (courbe 2). Par contre, certains sols tropicaux, en particulier les sols forestiers où la fertilité est concentrée dans les horizons superficiels, ou qui ont un horizon latéritique en profondeur, perdent très vite leur productivité en même temps que l'horizon humifère (voir courbe 3).

## 7.2. Impact des différentes stratégies

Si donc on dispose d'un paquet limité de dollars, où vaut-il mieux les investir ?

En 1, cet investissement n'améliore pas les rendements, n'intéresse pas les paysans mais seulement les gens de l'AVAL qui ont besoin d'eau propre.

En 2, le cas est semblable

Il s'agit donc de stratégies d'équipement (RTM-DRS) qui s'intéressent d'avantage à l'amélioration de la qualité des eaux qu'au potentiel de production des terres. Les chantiers s'installent sur les terres dégradées et investissent généralement de grosses sommes sur de petites surfaces d'où proviennent beaucoup de sédiments.

En 3 par contre, il s'agit de terres en production qui se dégradent rapidement mais peuvent se restaurer presque aussi rapidement. L'investissement (fertilisation, travail du sol et structures légères, agroforesterie) est étalé sur les terres cultivées pleines d'avenir et permettent le développement d'une agriculture intensive. Ce projet de type G.CES intéresse d'avantage les paysans qui constatent l'augmentation rapide des rendements et la valorisation de leur travail, mais relativement moins l'aval car cet investissement réduit peu les sédiments et les chantiers sont trop dispersés (et pas assez spectaculaires pour les bailleurs de fonds).

Il serait très utile de lancer un projet de recherche sur l'effet du décapage des sols par l'érosion ou par terrassement sur les potentialités de production des sols des collines rwandaises et sur la possibilité et le coût des intrants nécessaires pour restaurer leur fertilité.

## 7.3. Le coût de la lutte antiérosive

Un autre élément de choix entre les différentes techniques antiérosives est son coût.

Les temps de travaux à l'installation des structures (50 à 1200 hommes x jour/ha) et à l'entretien (5 à 350 hommes x jour/ha) varient énormément.

Certains paysans préfèrent étaler les travaux d'aménagement sur 10 ans (terrasses progressives) et d'autres voudront les réaliser rapidement pour en profiter pleinement de suite (terrasses radicales). Certains (des commerçants) pourront investir énormément en une fois en terrassant et en fertilisant (une terrasse radicale représente environ 1000 hommes x jour + 10 t de fumier + 3 t de chaux + 300 kg NPK + semences de pommes de terre + pesticides). Tandis que les paysans pauvres ramassent toute l'année du paillage (350 hommes x jour chaque année) pour protéger et fertiliser leurs terres. Les petits paysans jouent à la fois sur l'élevage de quelques bêtes permettant la fertilisation de quelques ares et l'aménagement de lignes d'herbes évoluant en talus fourragers et en terrasses progressives.

Qui va payer le coût du terrassement et celui des fertilisants ?

Les groupements paysans peuvent investir leur travail mais disposent-ils d'argent pour acheter les engrais nécessaires, les graines sélectionnées, les pesticides et les herbicides ? L'Etat et les projets doivent financer le démarrage de l'intensification de l'agriculture ainsi que l'organisation des marchés : ensuite les groupements paysans devraient pouvoir s'autofinancer... à condition que les aménagement (LAE + restauration de la fertilité) entraîne réellement une augmentation de la productivité.

En conclusion, il faudrait éclairer les paysans sur les conséquences de l'érosion et le laisser choisir parmi une palette de solutions adaptées aux conditions écologiques et socio-économiques qui lui conviennent.

La difficulté viendra du passage de l'aménagement des parcelles dispersées à l'aménagement d'un versant ou d'un bassin versant valorisés par une communauté paysanne peu homogène.

## 8. Conclusions générales

8.1. La lutte contre le ruissellement et l'érosion est plus complexe que prévue. D'une part les processus de dégradation des sols sont nombreux et le référentiel technique est bien loin d'être adapté à la diversité écologique du Rwanda. D'autre part les implications sociologiques et économiques sont nombreuses : les problèmes fonciers, objectifs et priorités des paysans, disponibilité en terre, travail, élevage et intrants divers, possibilités de valoriser les produits et d'améliorer le niveau de vie...

8.2. La conservation des sols ne peut satisfaire les paysans car elle ne valorise pas immédiatement leur travail. La majorité des terres sont déjà si pauvres que même si on maîtrise correctement les pertes par érosion, la productivité des terres et du travail reste médiocre. Or la population double tous les quinze ans ! Le défi à relever est de doubler la production en 10 ans pour rattraper la progression géométrique de la population. La conservation des sols ne suffit pas, il faut en restaurer la fertilité pour valoriser de suite le travail investi. La G.CES vise d'abord l'augmentation nette des rendements tout en stabilisant le milieu.

8.3. C'est pourquoi la G.CES passe par la gestion de l'eau et par la fertilisation pour créer des points d'intensification et de développement du milieu rural par l'élevage (car le fumier est l'une des clés sur ces sols ferrallitiques passives) et par l'agroforesterie. La G.CES vise d'abord l'augmentation significative des rendements ce qui exige la stabilisation du milieu : la LAE n'est plus le drapeau autour duquel on tente de rallier l'opinion publique...Ce n'est qu'un passage obligé.

8.4. On peut distinguer différents niveaux de recommandations :

- C'est aux groupements paysans qu'il revient de devoir maintenir et si possible améliorer l'environnement rural en gérant l'eau (stockage, irrigation d'appoint durant la troisième saison culturale) et la fertilité de son terroir bien à l'abri sous une épaisse biomasse (jardin multiétagé).

- Mais la vulgarisation des nouvelles techniques, la lutte contre le ravinement et les glissements de terrains provenant des rivières torrentielles ou du réseau routier revient aux Services Régionaux.

- Quant à l'Etat, il est responsable de la stratégie adoptée et de la formation, de la sensibilisation depuis l'école primaire jusqu'à l'université.

8.5. La recherche doit encore préciser certains processus (érosion mécanique sèche, glissements) les techniques de LAE à mettre en oeuvre en fonction du diagnostic de l'origine du ruissellement, le bilan des pertes par érosion, le suivi des aménagements et le coût économique de la lutte antiérosive.

8.6. Un Réseau Erosion Régional est en voie de création dont le but est de promouvoir la recherche et l'information concernant la lutte antiérosive dans les pays des Grands Lacs. L'IRAZ se chargerait de l'organisation d'une réunion annuelle, d'un bulletin d'information et d'une base documentaire.

## Liste bibliographique

- Duchaufour (H.), 1991. Bilan de dix ans de recherches en parcelles et bassin versant au Burundi. Bull. Réseau Erosion, 11 : 36-37
- König (D.), 1991. Contribution des méthodes agroforestières dans le LAE au Rwanda. Bull. Réseau Erosion, 11 : 185-191
- Ndayizigiye (F.), 1991. Aménagement des collines sur le plateau central du Rwanda. Bull. Réseau Erosion, 11 : 173-184
- Roose (E.), Ndayizigiye (F.), Nyamulinda (V.) et Byiringiro (E.), 1988. La G.CES : une nouvelle stratégie de lutte antiérosive pour le Rwanda. Bull. Agric. Rwanda, 21,4 264-277
- Rutunga (V.), 1992. Synthèse des connaissances sur la fertilité des terres et la fertilisation des cultures au Rwanda (1960-1990). Minagri, Projet Pnud FAO, Kigali, 122 p.