

3. INTRODUCTION: L'ÉVOLUTION DES STRATEGIES DE LUTTE ANTI-ÉROSIVE

3.1. Situation au Rwanda

Tout développement d'une nation entraîne la dégradation des couvertures végétales et pédologiques (ROOSE, 1980) mais le Rwanda semble cumuler les risques d'érosion :

- le Rwanda n'a plus beaucoup de réserves de terre arable pour faire face à une très forte pression démographique (densité en milieu rural de 150 à 700 habitants par km² avec un taux de croissance de 3,8%), les villes et les industries sont très peu développées;



Ces pentes dépassent parfois 100% et sont souvent longues de plus d'un km.

- les zones cultivées s'étendent sur des pentes très raides (de 30 à 80%) et souvent très longues alors que les bas-fonds marécageux (régime foncier plus étroitement surveillé par l'administration) sont souvent ensablés et moins intensément cultivés (peu de rizières contrairement aux plateaux malgaches);
- il y a des sols riches autour des volcans, mais la majorité des sols sont très acides (toxicité aluminique) ou pauvres en matières organiques, très carencés (N, P, bases et oligo-éléments) ou présentant en surface une couche arable sensible à une bat-

tance par les pluies (richesse en limons et sable: fins) ou au glissement de terrain (sur schiste gneiss et cendre volcanique peu épaisse).;

- le climat subéquatorial à deux saisons de pluies permet heureusement une couverture végétale verte pendant dix mois. Les averses peuvent être localement très brutales, mais en général leur énergie est moindre dans ces régions d'altitude que dans les plaines d'Afrique occidentale (ROOSE, 1987);
- les exploitations agricoles sont très petites (0,4 à 1,5 ha pour nourrir 5 à 10 personnes) et très dispersées, ce qui réduit les risques de dégâts majeurs par cumul de l'énergie de ruissellement mais cela rend difficile l'organisation de structures anti-érosives efficaces à l'échelle du versant. La fumure minérale est rare, chère et peu efficace sans apport massif de fumier (15 à 30 t/ha/an) lequel ne peut couvrir que 30% de la surface de l'exploitation: le reste est exploité en cultures extensives ou en caféiers paillés (autre forme de transfert de fertilité);
- certains experts plus habitués aux régions semi-arides pensent que dans ces paysages très verts, très bien couverts par le système de cultures associées, l'érosion est négligeable et devrait plutôt être encouragée pour rajeunir ces vieilles couvertures pédologiques épuisées. En réalité, l'érosion en nappe, en griffe et le creeping sont partout actifs là où le couvert végétal est trop réduit (en début des cycles cultureux, jeunes plantations de thé, ou après la coupe de régénération du thé ou des eucalyptus) et sur les pentes raides.



Ce glissement de terrain sans doute ancien est localisé sur des sols granito-gneiss.

Les glissements de terrain anciens, plus ou moins actifs actuellement, sont localisés sur les schistes et sur les couvertures minces de cendres volcaniques ou de sols sur granito-gneiss, et sur les andosols. Ces glissements (en planche ou en cuillère) laissent dans les versants des concavités où le ruissellement linéaire s'organise en petites ravines. Le ravinement profond est rare, très semblable au Lavaka d-

Madagascar et généralement en relation avec le réseau routier (drainage insuffisamment protégé). En tout cas les eaux des petites rivières sont noires ou claires à la sortie des forêts mais brunes ou rouges, riches en matières organiques, limons et sables dans les zones cultivées en fonction des sols des versants: les rivières sont souvent encombrées de bancs de sable et forment des méandres pour trouver leur profil d'équilibre.

Les risques d'érosion au Rwanda sont donc confirmés par des signes évidents d'une dynamique actuelle rapide des versants cultivés.

3.2. Les stratégies traditionnelles

Depuis 700 ans, on observe dans le monde des traces de la lutte menée par l'homme contre l'érosion de ses terrains de culture. Parmi les stratégies anciennes les mieux connues citons :

- a) **la culture itinérante** qui permet de conserver un bon équilibre du milieu au cas où la densité de population est faible (moins de 25 à 40 habitants/km² selon JURION, 1967), où les terres sont assez abondantes pour permettre une longue jachère et dans un contexte économique d'autosubsistance.
- b) **les gradins méditerranéens** ont vu le jour dans des conditions de forte pression démographique, d'un manque de terre et de l'abondance de main d'oeuvre bon marché.
- 3) **l'association agro-sylvo-pastorale** s'est développée en Europe au Moyen Age lorsque sous la pression démographique on a remplacé la jachère longue par des prairies plus ou moins temporaires entourées de haies vives et de bosquets et qu'on a produit du fumier qu'on a incorporé au sol lors du labour.

Ces stratégies sont encore appliquées massivement de nos jours.

3.3. Les stratégies modernes

- a) **La restauration des terres de montagne (R.T.M.)** (Alpes : 1850—1900) a été mise au point par les forestiers français dans les Alpes pour protéger les voies d'accès et les aménagements hydrauliques des plaines. Il s'agit de corriger les ravines et les torrents et de reforester les zones où la couverture végétale a été dégradée par le surpâturage et les défrichements.
- b) **La conservation de l'eau et des sols (C.E.S.)** (USA : 1930—1960) est un service des agronomes aux paysans américains qui cherchent à protéger la productivité de leurs terres (intérêt privé) tout en réduisant les transports solides des rivières (intérêt public).
- c) **La défense et restauration du sol (D.R.S.)** (Algérie : 1940—1980) (contre le surpâturage et les défriche-

ments abusifs) la défense des terres algériennes et la restauration de leur fertilité par la plantation d'arbres (moyen le plus efficace pour restaurer les sols!). Les forestiers sortent donc du système de production une large partie des terres de culture dégradées pour préserver le potentiel du reste du versant.

Ces trois démarches procèdent d'un pouvoir technocratique centralisé qui impose des équipements à une communauté rurale qui en supporte souvent les inconvénients, au bénéfice des utilisateurs de l'eau et de la communauté citadine.

- d) **La gestion conservatoire d'eau et de la fertilité des sols (G.C.E.S.)** (ROOSE : 1980—1987). Une nouvelle stratégie de gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité du sol basée sur une démarche progressive de développement rural en 3 étapes :

- enquête sur les besoins des paysans, leur perception des problèmes d'érosion, leur extension dans l'espace et dans le temps, leurs relations avec les sols, les systèmes de production, les techniques culturales, la topographie et la lithologie, les stratégies paysannes de gestion de l'eau et de la fertilité des sols,
- expérimentation en milieu paysan pour quantifier les risques de ruissellement et d'érosion en fonction des facteurs modifiant l'érosion potentielle,
- expérimentation à l'échelle des versants des structures conservatoires choisies et des systèmes de culture modifiés.



Les bandes enherbées permettent d'augmenter la biomasse qui aide à gérer au mieux les eaux et la fertilité des sols.

Il s'agit avant tout de gérer au mieux les eaux de surface et la fertilité des sols, d'améliorer l'infiltration et d'augmenter la biomasse en alternant les cultures avec des bandes enherbées et des arbres, et en associant les méthodes biologiques aux appuis mécaniques indispensables.

4. LES RESULTATS DE LA RECHERCHE ET DES OBSERVATIONS

Avant de livrer les premières observations sur la dynamique des versants du Rwanda, il nous faut encore expliquer la variété des processus d'érosion, des causes et des facteurs sur lesquels il va falloir jouer pour réduire les risques d'érosion et décrire les limites d'un modèle empirique de prévision des pertes en terre ainsi que les méthodes d'investigation sur l'érosion.

4.1. Les processus d'érosion, leur cause et les facteurs de résistance sont très variés.

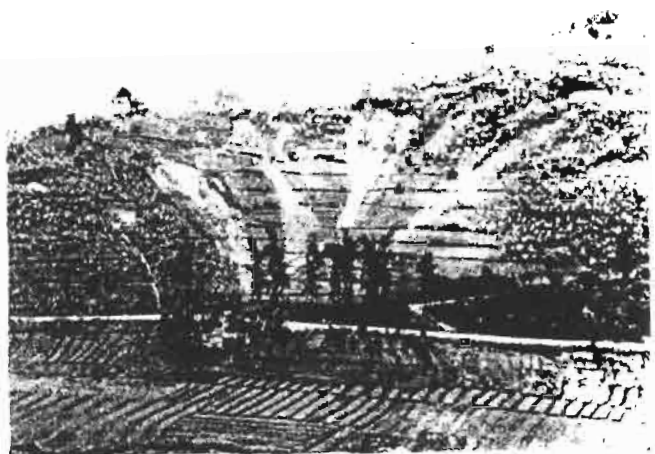
| Processus d'érosion | Causes : sources d'énergie | Facteurs de résistance du milieu |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| En nappe Erosion et dépôts très sélectifs | Battances des gouttes de pluie $\frac{MV^2}{2}$ des pluies | 1- Couvert végétal 2- Pente 3- Sol 4- Structures anti-érosives |
| Linéaire (ravinement) Erosion non sélective mais dépôts triés | Ruissellement $\frac{MV^2}{2}$ du ruissellement | 1- Vitesse du ruissellement : f (pente x rugosité) (structures) 2- Volume du ruissellement f (de la surface B.V., de l'intensité des pluies) 3- Résistance du sol, de la végétation |
| En masse (glissement) Erosion et dépôts non sélectifs | Centre de gravité de la masse manque d'équilibre | 1- Poids de la couverture (sol humide, végétation) 2- Humectation du plan de glissement 3- Pente et drainage du milieu |
| Erosion mécanique (creeping) Erosion et dépôts non sélectifs | Travail du sol | 1- Fréquence et intensité du travail 2- Pente du terrain 3- Cohésion du sol |



Tous ces dépôts très sélectifs (sables fins) proviennent de l'érosion en nappe et linéaire sur les versants.



Tous ces ravins sont une manifestation parlante de l'érosion linéaire.



L'érosion en masse se manifeste souvent à l'occasion de fortes pluies rapprochées

Ces quatre processus d'érosion très fréquents au Rwanda trouvent leurs causes dans des sources d'énergie différentes et leur intensité est modifiable en jouant sur les facteurs de résistance différents du milieu. Avant de définir une stratégie de lutte anti-érosive, il faut donc soigneusement étudier les formes d'érosion, les processus en cause et les facteurs les plus efficaces pour réduire les risques de déclenchement de ces processus combinés. Par exemple pour réduire les risques de ravinements, on peut être amené à augmenter la capacité d'infiltration des sols (supprimer l'énergie de battance des pluies); mais si les sols sont peu épais, sur schiste à pendage raide ou sur les minces couches de cendres volcaniques déposées sur granite, on augmente alors les risques de glissement de terrain.

Au Rwanda les traces de ravinement paraissent plus limitées, en relation soit avec le réseau de drainage des routes, soit avec les concavités de certains versants (anciens glissements de terrain) soit avec des défrichements récents ou des plantations de thé sur très fortes pentes (limites de champs). En effet, tous les sols observés en coupe sont rouges ou bruns; sans tache blanche d'hydromorphie (sauf dans la zone d'altération qui n'est proche de la surface du sol que dans les cas de grands glissements de terrain). Si les profils sont perméables, les processus de ruissellement dépendent donc de l'état de la surface du sol; c'est-à-dire de sa couverture végétale, sa structure, sa rugosité, son humidité et surtout sa tendance à la battance, la facilité avec laquelle les mottes fondent et évoluent en croûtes peu perméables sous l'effet des gouttes de pluie.

Par contre, les processus d'érosion en nappe et de creeping par le travail du sol sont sans doute moins spectaculaires que les ravines et les glissements de terrain, mais ils sont néanmoins très actifs sur les versants cultivés: pour s'en convaincre, il suffit d'observer le mode de travail à la houe, la préparation fine du lit de semence et la rapidité avec laquelle se colmatent les fossés aveugles et se forment les talus sous les barrières d'herbes isohypses. Il va donc falloir regarder de plus près les systèmes de culture.

4.2. Le modèle USLE de Wischmeier peut-il aider à définir une stratégie de conservation des sols au Rwanda?

De quoi s'agit-il?

C'est un modèle empirique, développé à partir de l'analyse statistique de plus de 10.000 résultats annuels de parcelles d'érosion et de petits bassins versants dans 40 stations réparties dans la Grande Plaine Américaine (et confirmé par les résultats de plus de 500 parcelles installées en Afrique de l'Ouest et à Madagascar par l'ORSTOM, le CIRAD et l'IITA). Ce modèle a pour objectif d'apporter aux ingénieurs un outil de décision impartial et commode pour aménager les versants tout

en maintenant l'érosion en dessous d'un seuil critique de tolérance ($E = 1$ à 12 t/ha/an selon le type de sol) (ROOSE, 1976; SARRAILH, 1987 et LAL, 1981). Dans ce modèle, la perte en terre moyenne d'un champ par érosion en nappe et rigole (E) est une fonction multiplicative de l'agressivité des pluies (R) par la résistance du milieu: celle-ci (nommée érodibilité du terrain) est fonction du produit :

- de l'érodibilité du sol (K varie de 0,01 à 0,70)
- de l'interaction entre la couverture végétale et les pratiques culturales (C varie de 1 à 0,001)
- d'un facteur topographique (SL varie de 0,1 à 20)
- d'un facteur d'aménagement anti-érosif (P varie de 1 à 0,1)

Qu'un seul facteur s'annule et les pertes en terre tendent vers zéro. Pour réduire l'érosion d'un versant on va pouvoir jouer sur tous les facteurs et choisir les facteurs les plus efficaces dans un système de production donné.

$$E = R \times (K \cdot C \cdot SL \cdot P)$$

Perte en terre moyenne t/ha/an = f (énergie des pluies) x (érodibilité du terrain)

Seuls les facteurs qui interviennent sont universels, les coefficients doivent être étudiés, en chaque lieu, mais peuvent dans un premier temps s'appuyer sur des résultats connus dans des régions semblables.

Domaine d'application

Il s'agit d'estimer les risques de perte en terre moyenne sur 20 ans par érosion en nappe et rigole à l'échelle du champ ou du versant.

Les pentes sont comprises entre 1 et 20% avec une extrapolation jusqu'à 50% , c'est-à-dire sur des collines et des pénélaines, mais pas en montagnes où dominent l'érosion en ravine et en masse.

Ce modèle ne s'applique pas sur des sols riches en argiles gonflantes en particulier sur les vertisols (argiles noires ravinées) et les andosols (glissements et coulées).

L'indice R d'érosivité des pluies s'appuie sur des relations entre l'intensité des pluies et le diamètre des gouttes: ces relations changent en montagne en régime de pluie orographique.

L'érodibilité du sol varie en relation avec le matières organiques et la texture de l'horizon de surface, avec la structure et la perméabilité du profil

En résumé, ce modèle ne s'applique pas là où dominant les glissements de terrain ou le ravinement car ces processus font appel à d'autres sources d'éner

gie et à d'autres facteurs de résistance. C'est donc un modèle empirique, le seul actuellement disponible et qu'il faut adapter localement pour préserver de l'érosion en nappe débutante des versants cultivés. Les chercheurs lui préféreraient un modèle physique pour prévoir l'érosion à l'échelle de l'averse: ceux-ci sont à l'étude mais sont encore plus complexes: ils ne seront pas disponibles sur le terrain avant 10 à 20 ans et exigent aussi un tarage en chaque région. En attendant, il paraît urgent de préciser pour le Rwanda les coefficients de résistance des sols, des systèmes de culture locaux et des structures anti-érosives vulgarisables. C'est dans ces termes que sont posés les problèmes de méthodologie. Comment mesurer au Rwanda les divers phénomènes d'érosion en relation avec l'aménagement des versants pour la culture intensive?

4.3. Aucune méthode de mesure n'est parfaite.

Il faut choisir des approches complémentaires et bien adaptées à chaque type de problème et de processus.

Au laboratoire : on peut procéder à des tests de stabilité structurale, de battance (capsules Ellison), de résistance au cisaillement et aux glissements (limites d'Atterberg). Cela permet un premier triage des sensibilités, mais n'intègre pas la couverture pédologique et ses interactions tout au long du versant.

Sur le terrain: c'est toujours plus long et plus coûteux mais plus réaliste. Sous les pluies naturelles, il faut un bon échantillonnage des années sèches et humides ainsi que des séquences d'averses de fréquence rare: cela peut durer longtemps — au moins 5 à 10 ans — pour avoir un échantillon représentatif.

La méthode des piquets et des relevés topographiques est peu précise ($1 \text{ mm} = 15 \text{ t/ha}$) et exige des observations minutieuses pendant 10 ans sauf si l'érosion est très rapide (ravinement et glissement).

La méthode des capteurs de Gerlach (boîtes posées dans le paysage) exige de nombreuses répétitions à la fois dans l'espace et le temps: elle n'est donc pas si bon marché qu'on veut le faire croire. C'est une méthode d'application limitée aux zones stables: sur les champs cultivés, elle n'informe guère sur l'intensité du ruissellement, ni sur l'érosion lors des fortes averses (débordements fréquents), ni sur le bassin de réception (la zone d'influence). Elle a été abusivement utilisée au Rwanda pour calibrer l'USLE alors qu'elle ne peut donner que des informations semi-quantitatives à l'échelle des averses moyennes à faibles. C'est une méthode dangereuse parce qu'elle peut induire en erreur les non-spécialistes. Elle peut rendre des services aux géomorphologues pour prouver la stabilité de certains versants mais ne peut en aucun cas donner des valeurs

chiffrées exactes ni du ruissellement ni de l'érosion.



Parcelles d'érosion comparant différents aménagements du sol

La méthode des parcelles d'érosion est lourde et coûteuse en personnel d'observation mais beaucoup plus sensible et précise (jusqu'à $0,01 \text{ t/ha/an}$ à 10% près) si le matériel et le protocole sont correctement définis. Elle permet la comparaison des réactions de différents sols, systèmes culturaux, couverts végétaux pentes à l'agressivité des pluies sur les champs homogènes (quelques centaines de m^2) bien définis. C'est une méthode de démonstration très instructive, mais elle exige cinq années minimum, des répétitions dans l'espace (réseau), la mise en place d'un matériel bien adapté (cuves et partiteurs suffisants), un personnel bien formé, et enfin la standardisation poussée du matériel et des protocoles d'expérimentation. On peut donc y estimer des bilans hydriques et chimiques et les risques relatifs d'érosion en nappe et rigole (éventuellement du creeping mécanique lors du travail du sol) à l'exclusion du ravinement et des glissements du terrain.

Il existe toute une gamme de simulateurs de pluie couvrant de 1 à 200 m^2 avec des intensités variable de 20 à 140 mm/heure. Ils permettent de modéliser la naissance du ruissellement et de sa charge solide en fonction des états de surfaces (et en particulier des techniques culturales lors des averses de fréquence rare). Si les parcelles ont moins de 10 mètres de long et 3 mètres de large, on en tire peu d'information sur les risques d'érosion car l'énergie du ruissellement ne peut s'exprimer à cette échelle. Cette méthode permet à une équipe bien montée d'accélérer considérablement l'analyse des problèmes de ruissellement mais ne permet pas de se passer d'observations, et de mesures à l'échelle du versant ou du bassin versant.

Les mesures sur champs (0,5 à 5 ha) ou versants devraient permettre d'évaluer l'efficacité des structures anti-érosives (trop à l'étroit en parcelles d'érosion de 200 m^2), la méthode comprend la récupération et

bas du versant du ruissellement et de sa charge à l'aide des seuils tarés (flumes), limnigraphes et échantillonneur automatique: c'est lourd et difficile à réaliser parfaitement à cause de la grande dispersion des flux. Moeyersons a développé une méthode astucieuse permettant de piéger la majorité des charges solides (sauf les sédiments fins en suspension dans les eaux débordantes) dans les fossés stabilisés situés en bas des versants. L'information sur les volumes ruisselés et leur intensité pourrait être récupérée en mesurant le niveau des eaux dans les fossés et les débits de débordement (seuils tarés ou partiteurs).

Enfin les mesures de débits liquides et solides sur les bassins versants sont beaucoup plus complexes et coûteuses. Elles intègrent les pertes en terre et des fonds de rivière, les glissements de terrain et quantités de processus plus ou moins bien définis qu'il est difficile d'interpréter en terme d'aménagement des terres mais qu'il est indispensable de connaître pour évaluer les risques de sédimentation dans les barrages et les fonds de vallées.

4.4. Observations sur les parcelles

4.4.1. Les sols sont très perméables

Les profils observés ne présentent pas de traces d'engorgement (sauf dans les sols hydromorphes de bas de pentes et de bas-fond).

Les problèmes du ruissellement sont donc dépendants en majorité des états de surface des sols cultivés: sols finement émiettés, croûtes de battance (observées sur schiste et dans le SE à Karama).

4.4.2. Mesures d'érosion sur parcelles d'érosion

Les pentes testées varient de 29 à 55% sur les sols ferrallitiques très désaturés mais assez résistants à l'agressivité des pluies (Rusa de l'ordre de 300 à 400). Sur schiste la teneur élevée en limon et sable fin augmente les risques d'érosion tandis que les fortes teneurs en matières organiques de certains sols d'altitude les réduisent.

Les résultats rapportés sommairement ici sont empruntés à la mission forestière de la crête du Zaire-Nil à Rushubi (pente 29%) et au projet RRAM pour Gakenke (pente 55%) près de Ruhengeri.

De ces résultats (encore à confirmer), il ressort :

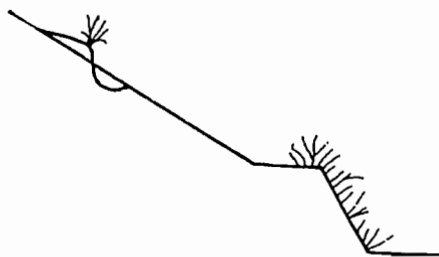
- que les risques de ruissellement et d'érosion en nappe, en rigole + creeping sont très élevés sur les sols nus;
- que les méthodes culturales et les associations traditionnelles les réduisent très sérieusement mais pas assez;

| Couvert végétal | Aménagement | Erosion t/ha/an | K R% coefficient de ruiss. moyen. |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| Sol nu | 0 | 350 à 550 | 10 à 36% |
| Manioc ou maïs/haricot/sorgho | Traditionnel | 87 à 150 (380) | 10 à 37% |
| Idem | + haies vives + barrière d'herbes | 44 à 102 | 10 à 15% |
| | | 26 à 149 | 8 à 43% |
| Idem Manioc ou caféier | + haies vives + billons // + patates + paillis | < 1 | 0,1 |
| | | 1 à 0,4 | 0,1 |
| Idem | + gradins terrasse radicale | 1 à 2,4 | 5 11% |
| Pinus kesiya | | 0,1 à 1 | 0,2 |

- que les barrières d'herbes et surtout les haies vives sont encore insuffisantes;
- que les seuls moyens d'arrêter l'érosion sont :
 - de reforester en Pinus (litière très efficace),
 - de pailler la surface du sol cultivé,
 - d'allier l'agroforesterie (haies + arbres) avec les billons couverts de patates douces (variation du billon Bamileké) tous les 5 m. Les fossés et les terrasses radicales (gradins) ne peuvent être testés valablement sur ces petites parcelles: ils peuvent aussi bien améliorer la situation ou augmenter les risques d'érosion en masse sur les couvertures pédo-logiques sensibles aux glissements de terrain.

4.5. Les structures anti-érosives

4.5.1. Les microbarrages perméables: les haies, barrières d'herbes, alignement de pierres isohypses



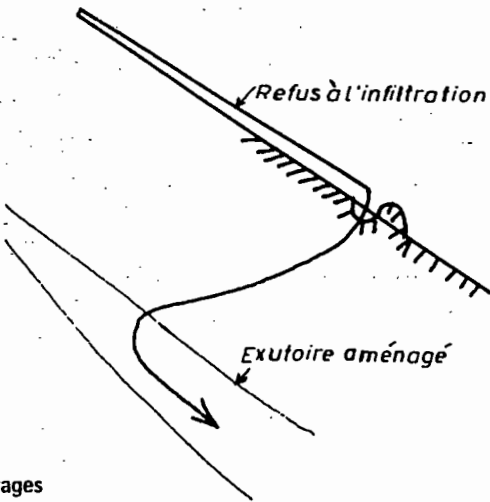
Avantages

- 1— Pas de place perdue mais diversification de la production
- 2— Diminue le ruissellement et l'érosion sans l'arrêter totalement
- 3— Diminue les risques majeurs (glissements et ravines) lors des averses catastrophiques
- 4— Provoque la construction de terrasses progressives et de talus (penchés pour produire de la biomasse).

Inconvénients

Les sols s'appauvrissent en aval du talus si on n'y concentre pas la fumure.

4.5.2. Terrasses ou fossés de diversion



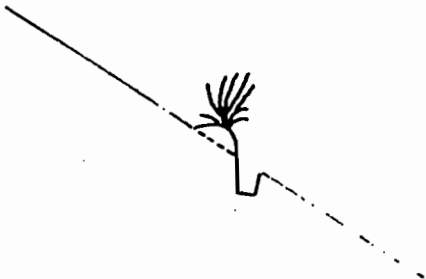
Avantages

Ils évacuent les excès d'eau vers les exutoires aménagés afin d'éviter l'accumulation de l'énergie du ruissellement (donc le ravinement)

Risques

Lorsque les parcelles et les fossés sont mal stabilisés, les fossés débordent en provoquant des ravines. Risque de ravinement aux exutoires lors des averses rares. On transforme une érosion en nappe en ravinement!

4.5.3. Les fossés aveugles + talus enherbés



Avantages

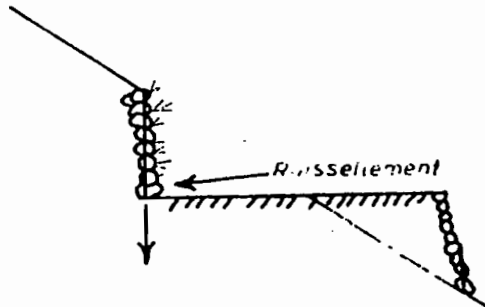
Ils divisent bien les pentes trop longues en provoquant le stockage des sédiments et l'infiltration différée.

Risques

Si les fossés, talus et parcelles sont mal protégés, les fossés se bouchent rapidement, provoquant des ravinements.

Si les sols sont peu profonds, les fossés court-circuitent les sols, favorisent l'infiltration au niveau du plan de glissement et provoquent des glissements de terrain.

4.5.4. Les gradins (ou terrasses radicales)



Il faut d'abord évacuer les horizons humifères avant de terrasser le sous-sol et monter les talus avec des mottes d'herbes.

Avantages

On réduit la pente et l'érosion. On facilite le travail du sol.

Inconvénients

Il faut compter 810 hommes/jour pour aménager un hectare. On augmente l'infiltration localisée près de la roche et donc on favorise les glissements.

Il faut quelques années pour refaire un sol par apport massif de fumier, phosphore (et chaux sur sols acides) et voir les rendements doubler.

On augmente les risques de lixiviation des nutriments solubles en réduisant le ruissellement.

Il doit être clair qu'aucune de ces structures anti-érosives n'augmente significativement les rendements agricoles mais que les "pertes de surfaces cultivées" croissent de 10 à 40% en fonction des méthodes et de la pente. On comprend que les paysans ont du mal à accepter ce travail supplémentaire non immédiatement rentable. Il faut donc le réduire au minimum mais couvrir le sol au maximum par le système de cul-

ture. Il faut cependant se rendre compte que si on veut améliorer le bilan des nutriments des parcelles cultivées, il faut réduire les fuites dont l'érosion est, sur pente, une composante principale. Sans combattre l'érosion, on ne pourra pas valoriser les intrants qui permettraient d'identifier l'agriculture.

4.6. Les systèmes de production: la biomasse et les bilans de nutriments.

Le système de production a pour objectif l'auto-consommation et le dégagement d'un minimum de revenus monétaires. Il s'appuie sur le jardinage de petites parcelles dispersées autour de l'habitat, parcelles travaillées très intensément à la houe, avec une concentration des nutriments sur la bananeraie et la caféière et un recyclage perpétuel de la biomasse produite au cours de 2 saisons des pluies et une petite saison sèche (2 mois) par les cultures associées successives.

4.6.1. Recyclage des adventices et résidus de culture.

La voie longue: le fumier et le compost.

Il s'agit de ramasser les herbages le long des talus, sur les parcelles, les résidus de culture, certains adventices, jeunes plants (+ premières feuilles) de maïs/sorgho démarriés et de les porter au bétail ou directement sur la compostière. On observe une perte de nutriments (%x) et de biomasse (50 à 70%) pour le bilan du sol qui se traduit par une fumure (15 à 30 t/ha/an) limitée à 30-40% de la surface de l'exploitation; les autres terres s'appauvrissent et ne supportent qu'une culture extensive (manioc). L'élevage est très utile pour équilibrer l'alimentation, en particulier des enfants, mais dans le cadre d'une pression démographique croissante, on peut se demander si cette voie n'est pas un luxe qui exige beaucoup de main-d'oeuvre et de transport (manuel sur les fortes pentes). Traditionnellement d'ailleurs les paysans font des petits tas d'adventices et de résidus de culture excédentaires sur les champs éloignés, les recouvrent de terre et y plantent des patates: six mois plus tard le compost froid (donc riche en graines d'adventices) est répandu sur la parcelle.

La voie courte: le paillage

Traditionnellement il est réservé au caféier, au maraîchage et à la bananeraie. Il exige moins de transport et moins de soins que le compost et évite les pertes de biomasse. Il fournit au sol des nutriments à des rythmes progressifs (rapides pour les K, Ca, Mg, plus lents pour N, P, C). En outre, il réduit considérablement les risques de ruissellement et d'érosion et protège les propriétés physiques des sols en interceptant l'énergie des gouttes de pluie et du ruissellement. Il favorise les activités de la mésofaune (vers de

terre, etc.) responsable de la macroporosité et donc améliore la capacité d'infiltration et d'aération du sol. Il présente aussi certains inconvénients pour la maîtrise des adventices, des nématodes, et de certains insectes ou maladies. Mais le point essentiel c'est qu'actuellement il n'est pas disponible en quantité suffisante pour couvrir la portion extensive de l'exploitation. On verra plus loin comment augmenter la biomasse produite.

4.6.2. Le jardinage et les cultures associées.

Le travail du sol étant manuel (2 labours et 2 sarclages à la houe qui avec la machette sont les deux outils du Rwanda), il est possible de semer à la volée, de démarrier progressivement (production de fourrage) et de couvrir très vite le sol en plantant entre les plantes à cycle long (bananier, maïs, manioc, sorgho) des cultures à cycle plus court (haricots, pois, soja) et quelques fois même une culture dérobée d'engrais verts avant la saison sèche (SABATIER J.L., 1986). Le maintien d'un certain taux d'adventice et les associations complexes qu'on pourrait peut-être encore améliorer par l'introduction d'espèces nouvelles sont extrêmement favorables à la protection anti-érosive des sols et à la limitation des risques du paysan qui doit assurer la consommation quotidienne. Seules les patates douces, le manioc et les pommes de terre sont plantés sur les billons.

4.6.3. L'agroforesterie et la place des arbres.

Diverses espèces d'Eucalyptus ont été utilisées astucieusement pour assécher l'assiette des routes ou des zones de glissement et pour produire du bois de feu ou du bois d'oeuvre. Localement, il a été planté trop serré et abandonné à lui-même, il a étouffé tout le sous-étage laissant le sol à nu soumis à une grave érosion. D'autres massifs sont heureusement moins denses et laissent croître l'herbe et divers buissons. Sa place ne semble pas dans les champs paysans pour diverses raisons (concurrence racinaire, toxines dans la litière des certaines espèces).

Le *Grevillea robusta* (chêne argenté) est la seule essence vulgarisée dans l'ensemble du pays à côté d'une quarantaine d'espèces traditionnelles testées en parcelle à Nyabisindu (de croissance moindre). Dans le SO il quitte les bordures pour envahir les champs eux-mêmes: on est loin des 350 tiges/ha (jusqu'à 600) préconisées par le PAP. Le *Cassia spectabilis*, le *Calliandra calothyrsus*, le *Leucaena leucocephala*, le *Sesbania*, le *Cedrella*, le *Maesopsis*, le *Jacaranda*, l'*Erythrina abyssinica* ont encore une place trop timide dans l'éventail des ressources de biomasse des jardins rwandais.

Le système des cultures en allée entre deux haies d'espèces arbustives distantes de 5 à 10 mètres

été testé en plusieurs stations. En moyenne altitude il semble que le Calliandra surpasse le Leucaena > Lesbania (rapide mais fragile) > Morus alba et divers uphorbes. En altitude > 2400 mètres les espèces se développent mal avec la technologie actuelle : on propose de tester *Alnus nepalensis* ou *acuminatus*, le *Cyphomandra betacea* (prunier du Japon) ou l'*Acacia melanoxylon* ou Black wattle (mimosacée qui s'étend rapidement sur les terres pauvres). Une haie de *Leucaena* plantée tous les 10 mètres, coupée 4 fois par an pourrait produire 5 t/ha/an de matière sèche à l'abris du vent. A Karama, il faut une haie tous les 5 mètres pour entretenir la fertilité (assez médiocre) d'un champ de manioc associé à diverses cultures : il faudrait donc se résoudre à extraire la fertilité sur 10% du terrain pour maintenir la productivité sur 10% du terrain. C'est réellement mieux qu'avec le fumier (perte 60% du terrain) mais celui-ci n'est qu'un résidu de la production de lait et viande!

Tant que le terrain est peu pentu, on peut orienter les haies est-ouest pour supprimer la concurrence en lumière. Mais sur les collines, les haies suivent la courbe de la topographie et manifestent une sérieuse concurrence vis-à-vis du maïs, surtout si on ne taille pas la haie plus basse que 70 à 100 cm. De plus les produits sont soit donnés comme fourrage (max. 30% sinon *Leucaena* devient toxique) soit enfouis dans le sol avant la plantation comme engrais vert. Ils sont donc moins efficaces contre l'érosion que s'ils sont laissés sur le sol comme paillage.

L'agroforesterie est certainement une voie d'avenir mais il faut encore développer les recherches dans le domaine d'une meilleure sélection d'espèces adaptées à chaque milieu et d'une meilleure technologie pour planter et mener les haies (taille des branches et des racines superficielles), ainsi que pour l'utilisation optimale de ses produits azotés.

6.4. Le bilan du sol.

Si un sol est carencé en un ou plusieurs éléments, ces cultures le seront aussi, de même que pour les animaux et le fumier produit. Rien ne se crée mais certains systèmes permettent de concentrer les nutriments. Par exemple la parche de café est riche en N_2O_5 . On aura beau recycler la biomasse, on pourra récupérer de l'N atmosphérique mais on devra corriger les carences généralisées en phosphore et quelquefois en potasse, chaux et magnésium. Ceci devrait se faire en même temps qu'une meilleure maîtrise de l'érosion et en tenant compte des risques de lixiviation (des petites doses emballées dans les matières organiques et dehors des périodes de fort drainage).

6.5. Les bas-fonds, lieu d'accumulation... pas assez exploités

Jusqu'il y a peu les sommets des collines et les bas-fonds servaient au pâturage des grands troupeaux.

Actuellement les troupeaux ont été partiellement dispersés (stabulation temporaire à l'étable). Mais les bas-fonds, sous contrôle de l'Etat, attribués chaque année sont loin d'être totalement mis en valeur : pour favoriser les investissements, il faudrait un mode d'emploi plus stable. Cela choque quand on a connu les hauts plateaux de Madagascar où tous les bas-fonds sont aménagés en rizières fertilisées et les collines utilisées plus extensivement.

En saison sèche on y cultive — à la sauvette — des patates douces; très peu de rizières ou de canne à sucre. Quelques étangs où les *Tilapia* résistent mal aux eaux trop chargées en suspension. Du maraîchage près des villes. Il semble que des changements hydrologiques (débit de pointe) entraînent une reprise de l'érosion et des transports de sables importants (ANGER, 1988, communication orale). D'après Colombani, hydrologue ORSTOM, la collecte des galets pavant le fond des rivières (pour les constructions) entraînerait localement une reprise d'érosion sur les fonds. D'après Angers, agrépédologue CIRAD, les augmentations des débits de pointe proviendraient du défrichement des sommets suite à l'extension des cultures sous la pression démographique (Kigali-Nord).

On voit que pour intensifier l'exploitation des grands marécages et de tous les bas-fonds, il faudra maîtriser non seulement l'érosion sur les versants, mais aussi les débits liquides (ruissellement et drainage retardé) dont il faut tendre à prolonger les temps de concentration pour réduire les risques d'érosion des berges par les rivières; les fossés aveugles sont plus efficaces à ce point de vue que les fossés ou terrasses de diversion qui raccourcissent les temps de concentration des eaux de surface.

4.6.6. Le travail du sol

Le ruissellement peut provenir soit d'un engorgement dans un horizon plus ou moins profond du sol, soit d'un refus à l'infiltration en surface (battance, hydrophobie).

Or, tous les profils observés paraissent perméables et bien aérés jusqu'à un mètre de profondeur (couleur ocre-rouge sans tache d'hydromorphie): un sous-solage n'améliorerait donc pas la capacité d'infiltration du sol.

Que se passe-t-il donc en surface? Sur des terres fraîchement préparées et quelques champs en fin de production, on observe un niveau de compactage inversement proportionnel au taux de recouvrement par les adventices ou bien des organisations pelliculaires superficielles (croûtes de battance et de sédimentation) très nettes sur schiste et dans le sud-est (Kamara = zone plus sèche). Le paillage sous caféier et sous le manioc assure une parfaite infiltration des

- d'empierrier seulement les passages des roues surtout aux endroits argileux, mais laisser l'herbe envahir le reste,
- fixer les talus avec des herbes rampantes qui ne graine pas,
- assurer le drainage latéral jusqu'au bas des versants pour éviter le ravinement des champs situés en aval,
- assécher les terrains sujets aux mouvements de masse par la plantation d'eucalyptus exploités à révolution (taillis) courte pour dessécher le versant sans trop l'alourdir,
- localement évacuer en surface toutes les eaux de ruissellement et de drainage pour réduire les risques de glissement de terrain.

5.3. La fixation des ravines

Lorsque les eaux de ruissellement se concentrent sur les versants raides, on observe souvent de petites ravines en ∇ en bordure des parcelles (de thé, par exemple) et plus rarement de grandes ravines profondes du type (LAVAKAS en \cup en relation avec un réseau de drainage routier mal stabilisé.

Leur fixation est moins problématique qu'on le croit généralement à condition de bien respecter les principes suivants:

- a) essayer de diminuer les débits de pointe à évacuer par ces canaux: détourner le ruissellement et améliorer la couverture des terres environnantes, cela suffit quelquefois à stabiliser une ravine,
- b) ralentir la vitesse du ruissellement en créant une série de chutes et de terrains en pente faible. Amortir l'énergie de chute par une bavette empierriée suffisamment large ou par un contre-barrage; empierrier les têtes de ravine,
- c) inutile de reboucher une ravine avant d'avoir supprimé le ruissellement en amont en le forçant à couler au centre de la ravine et à s'éloigner des berges (le seuil doit avoir des ailes qui remontent sur les berges) et du fond (empierrage du fond du canal). Appuyer les seuils sur des rétrécissements des berges des ravines,
- d) le haut du seuil aval doit être à la même hauteur que le bas du seuil amont: il est toléré une pente d'équilibre (quelques %) à observer sur place dans le fond du canal en équilibre (ni sédimentation, ni érosion),
- e) les seuils peuvent être construits en matériaux locaux bon marché (murs en pierres sèches, en troncs, en grillage, en bambou, en sacs plastiques bourrés de terre) mais le déversoir doit être renforcé contre le pouvoir abrasif des sables et des galets chassés par le ruissellement (grosses pierres ou couche de béton renforcée par un fer cornière),
- f) immédiatement après sédimentation, il faut procéder à des plantations mélangées d'herbes

et d'arbres pour fixer les sédiments et les versants (génie biologique).

5.4. Les structures anti-érosives

La méthode des fossés aveugles appliquée systématiquement au Rwanda aboutit après quelques années à la formation d'une terrasse progressive s'appuyant sur un talus vertical protégé par une ligne d'herbes au bas duquel le fossé est soit comblé de sédiments soit réduit par les travaux culturaux à une petite terrasse qui sert souvent de sentier. Ces talus sont presque partout présents: il faut en tenir compte mais les modifier car leur efficacité est réduite à cause des circulations d'eau s'organisant entre les touffes de la ligne unique plus ou moins discontinue d'herbe.



Au fond: les terrasses radicales. Au milieu: les fossés anti-érosifs et les haies vives seules. A l'avant-plan: parcelle non protégée.

- a) Proposition: transformer ces talus en "pâturages inclinés" (40 cm de large pour 1 mètre de dénivelé).

Pour ce faire, il faut recouvrir le bas des talus de terre fertile prélevée en haut de celui-ci :

- planter 5 à 10 lignes de graminées mélangées à des légumineuses diverses,
- faire déborder l'herbe sur la terrasse progressive d'au moins 25 cm,
- limiter la hauteur des talus à 1 mètre sur terrain fragile, à 2 mètres maximum sur terrain stable,
- planter une haie vive de légumineuses (Calliandra, Leucaena etc.) soit en haut soit en bas, soit au milieu des talus (à vérifier),
- planter des arbres (fruitiers ou autres) pour asseoir les talus soit en bas du talus, soit à 1 mètre de distance du bord amont du talus pour éviter que ses racines en grossissant ne bousculent le talus.

b) Certains projets proposent la construction de terrasses radicales. Ça peut être une bonne solution si les paysans sont très motivés, s'ils disposent d'un excès de main-d'oeuvre et de terrains en pentes fortes non sujets aux glissements de terrain.

Il faut cependant bien noter :

- le coût élevé en main d'oeuvre (810 jours x homme/ha),
- l'augmentation des risques de glissements de terrain catastrophiques (sur schistes, sur terrain peu épais, sur gneiss ou granite) par infiltration préférentielle au pied du talus (surtout si la terrasse est en contre-pente),
- l'augmentation des risques de lixiviation des engrais (car si on réduit le ruissellement on augmente le drainage),
- l'augmentation progressive des rendements qui n'est obtenu qu'au bout de quelques années si on apporte suffisamment de fumier, chaux et NPK,
- la nécessité de limiter la hauteur des talus à 1–2 mètres pour réduire les risques en cas d'averses catastrophiques et permettre une récolte aisée des fourrages,
- l'avantage qu'on pourrait tirer de talus inclinés productifs de fourrages variés de bonne qualité (légumineuses, arbustives).

c) Les structures en creux (fossés, banquettes) destinées à évacuer les excès d'eau vers des exutoires naturels ou aménagés ont comme effet de concentrer les eaux sur une pente forte ce qui revient très généralement à créer une ravine là où il n'y avait qu'une érosion en nappe ou en griffe. Suggestion: étaler au maximum les eaux de surface pour ralentir la nappe d'eau et donc limiter sa compétence et sa capacité de transport; les lignes d'herbes, talus enherbés, haies vives ou cordons de pierres (perméables) situés à faible distance (5 à 20 mètres selon la pente) peuvent aider à ralentir les eaux ruisselantes et à les étaler en transformant les pentes en une suite de concavités favorisant le piégeage des sédiments.

5.5. Améliorer le système de production: le point le plus important

On recherche avant tout à couvrir le sol toute l'année, à intensifier l'exploitation des terres profondes (bonne réserve hydrique), à équilibrer les cycles des nutriments (réduire les pertes et augmenter les apports), à étendre la fertilisation à toute la surface cultivée et à couvrir les terres superficielles ou trop pentues de couverts permanents (arbres et prairies).

On suggère donc:

- d'améliorer encore les associations de cultures

(exemple: haricots dans les caféières pour profiter du paillage — au moins tant que le cours mondial est bas),

- introduire des variétés à cycles plus courts, adaptés à l'acidité des sols et aux conditions d'altitude (exemple: haricots d'Espagne grim pant sur maïs ou sorgho),
- d'étendre la pratique du paillage réduit (4 à 6 t/ha) sur les sols nus après plantation ou semis,
- d'augmenter la production de biomasse par les talus enherbés, les haies vives et les arbres (production de fourrage ou de paillage selon les besoins des animaux et des sols),
- de favoriser la production massive de tubercules (production de 10 à 30 t/ha) plutôt que des céréales (potentiel 0,5 à 2 t/ha),
- d'introduire dans la fumure organique un apport modeste d'engrais minéraux (P, K, Ca + Mg et oligo-éléments) pour corriger lentement l'acidité du sol et les principales carences,
- d'introduire systématiquement les billons isohy-pses couverts de patates douces tous les 5 à 10 mètres pour réduire la vitesse du ruissellement,
- d'améliorer la qualité du fumier par accumulation de litière sous stabulation permanente et du compost par ombrage et régulation de l'humidité ambiante (arrosage en saison sèche, protection des tas par des feuilles de bananier en saison trop humide),
- de valoriser les bas-fonds par la riziculture ou le maraîchage intensif.

6. CONCLUSIONS: ROLE DE LA G.C.E.S. DANS LE DEVELOPPEMENT RURAL

Pourquoi consacrer tant d'efforts pour conserver l'eau et la fertilité du sol? Parce que, tant que l'hémorragie en eau, sol et nutriments par l'érosion n'est pas jugulée, les autres intrants ne peuvent fructifier correctement.

Ni l'agroforesterie, ni la gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols ne peut faire des miracles à eux seuls:

- l'extension des cultures est limitée (bas-fonds, sud-est, réserves naturelles),
- l'intensification de la production dépend du coût élevé des engrais et des autres intrants importés,
- la migration vers les villes semble compromise vu la crise mondiale actuelle de l'industrie,
- l'expatriation vers les pays voisins connaît aussi ses limites.

En effet, le Rwanda est acculé à un développement rural accéléré par une pression démographique insoutenable (+ 3,8% d'an).

Un très gros effort d'équipement rural (fossés aveugles, plantations forestières, stabilisation de routes) a été consenti pour protéger le capital-so'

Mais pour que la croissance de la production rejoigne la croissance démographique, il faudra faire appel à une stratégie nouvelle de développement visant l'intensification de la production: par l'amélioration de l'infiltration, on pourrait augmenter la production de biomasse, mieux couvrir le sol et en même temps réduire l'érosion. En parallèle, il faut organiser la gestion de la fertilité du sol en s'appuyant sur l'aménagement des résidus de culture (fumier, compost et paillage) et une complémentarisation par des engrais minéraux (P, K, Ca + Mg et oligo-éléments).

7. BIBLIOGRAPHIE

1. ANGE (A.), 1987. Caractérisation et zonage des ressources naturelles au nord et au centre du Rwanda. CIRAD, Montpellier, 146 p.
2. DURAND (Ph.), 1984. Résultats des expérimentations sur l'érosion des sols dans la région de Mumirwa. Mission forestière Crête Zaïre-Nil, Bujumbura, 12 p.
3. GASANA (J.), 1980. Comportement initial des essences de reboisement utilisées par le Projet Pilote Forestier. Bulletin Agricole du Rwanda; 1980 N° 4: 210 - 222.
4. GOUD (B.), 1987. Rapport annuel 1987. Recherche-Développement Projet Crête Zaïre-Nil. Document travail N° 6, 31 p.
5. HABIMANA (A.), 1987. Rapport des travaux du premier colloque national sur les processus d'érosion au Rwanda. UNR, Campus Ruhengeri, 11-15 mai 1987. 16 p.
6. JURION (F.), et HENRY (J.), 1967. De l'agriculture itinérante à l'agriculture intensifiée. INEAC, Bruxelles, 498 p.
7. KRIEGL (M.), et PREISLER (R.), 1987. Terrassement radical. Projet IPV, Rwanda, 22 p.
8. LAL (R.), 1981. Soil erosion problems on an alfisol in Western Nigeria and their control: VI effect of erosion on experimental plots. Geoderma 25: 215-230.
9. MATHIEU (C.), 1987. Contraintes techniques et sociales en conservation du sol et des eaux en zone à très forte densité de population. Exemple des montagnes du Mumirwa au Burundi. AGCD, Bruxelles Tropicultura 5,4: 137-146.
10. NEUMANN (J.), PIETROWICZ (P.), 1987 Agroforesterie à Nyabisindu. Etudes et expériences N° 9. Projet agropastoral, Nyabisindu, Rwanda: 125 p.
1. NEUMANN (J.), PIETROWICZ (P.), et EGLI (A.), 1987. L'arbre et la haie dans l'exploitation paysanne. Projet PAP. Fiche technique N° 3, 91 p. + annexes
2. NYAMULINDA (V.), 1987. Contribution à l'étude de l'érosion et des techniques de protection des sols d'altitude du Rwanda. Bulletin Agricole du Rwanda 20.3: 229-258.
13. PAP. L'érosion et la lutte contre l'érosion. Fiche technique N° 1 Projet Nyabisindu 47 p.
14. ROOSE (E.), 1976. Use of the universal soil loss equation to predict erosion in West Africa: in "Soil Erosion: prediction and control SCSA, Special publication" N° 21, p.60-74.
15. ROOSE (E.), 1980. Conservation des sols et développement. Journées scientifiques des 3^{èmes} Assises intern.: Environnement, Paris, Min. Environnement, p. 106-128.
16. ROOSE (E.), 1987. Water efficiency and soil fertility conservation on steep slopes of some tropical countries. From the equipment logic to one development approach. Comm. Workshop WASWC, Puerto Rico: 22-27 March, 19 p.
17. SABATIER (J.), 1986. Lutte anti-érosive et développement sur la bordure orientale du plateau central du Rwanda. Comm. Sémin. CIRAD - Montpellier, 23 p + annexes.
18. SARRAILH (J.M.), 1987. Les expérimentations du CTFT sur l'érodibilité des sols à Madagascar, au Burundi et en Guyane. Doc CTFT Kourou 9 p. présenté à la réunion Réseau Erosion de Paris, 17/9/87.
19. SIRVEN (P.), GOTANEGRE (J.F.), PRIOUL (C.), 1974. Géographie du Rwanda. Ed. Rwandaises, Kigali. 175 p.
20. TASSIN (J.), 1987. Agroforesterie au Rwanda. Pour le respect des traditions. Nature et progrès, 4: 15-18.
21. TONDEUR (G.), 1950. Erosion du sol, spécialement au Congo belge. Publ. Min. Colonies, Bruxelles, 3^e édit., 240 p.
22. TOUSSAINT (J.R.), 1987. Etude des méthodes de lutte anti-érosive au Rwanda et de leurs modalités d'application dans la région du Bumbogo. Rapport de stage. MINAGRI, Projet Kigali-Nord, 90 p. + annexes.
23. YAMOAH (Ch.), 1987. The potential of alley cropping for hillside farming in Rwanda. ISAR-FSRP Rwerere, Rwanda 15 p.
24. YAMOAH (Ch.), 1987. Soil conservation practices in parts of Kenya and their possible application to some mountain areas of Rwanda. Farming Systems Research Programs in Rwanda, 16 p.
25. Premier séminaire national sur la fertilisation des sols au Rwanda. Kigali du 17 au 20 juin 1985. MINAGRI, 322 p.
26. Premier colloque national sur les processus d'érosion: Ruhengeri, 11-15 mai 1987, 142 p.



**BULLETIN AGRICOLE
DU RWANDA**

21^e ANNEE

1988

OCTOBRE

200 Fr