

La G C E S

Proposition d'une nouvelle approche de la lutte antiérosive pour Madagascar

par
Eric ROOSE,

Directeur de recherche en Pédologie au LCSC du Centre ORSTOM de Montpellier,
BP.5045, F34032 Montpellier, France

Conférence organisée le 12-5-1995 au CITE par le Département des Forêts de l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, , BP. 3044, Antananarivo, Madagascar.

RESUME

Madagascar connaît depuis plus d'un siècle des phénomènes d'érosion très actifs en relation avec une croissance démographique très rapide. La culture itinérante fait régresser la forêt et les feux de brousse, nécessaires pour valoriser les pâturages sur sols acides, empêchent la restauration de la végétation arborée (y compris l'agroforesterie). Les sommets des collines sont décapés jusqu'à la roche et donnent naissance à des ruissellements destructeurs. Les "lavaka", ravines complexes, déchirent les collines et déversent des masses de sable dans les rizières. Les cyclones (300 à 600 mm en 3 jours) provoquent régulièrement de nombreux glissements de terrain et l'inondation des rizières.

Ces processus ont fait l'objet de nombreuses études depuis 40 ans à Madagascar, mais les méthodes de lutte antiérosive préconisées sont rarement appliquées par les paysans/éleveurs. L'auteur en conclut qu'il faut trouver une nouvelle approche qui tient mieux compte des problèmes du monde paysan. De l'analyse historique des stratégies de LAE, l'auteur tire un certain nombre de leçons et propose une nouvelle orientation.

Les stratégies traditionnelles de gestion de l'eau et de la fertilité des sols perdent leur efficacité dans la mesure où l'on a changé les conditions socio-économiques. Les stratégies modernes d'équipement rural (RTM, DRS, CES) développées par le Pouvoir Central en réponse à des situations de crise coûtent cher et n'améliorent guère la productivité des terres si bien que les paysans ne les entretiennent pas, ni ne les diffusent .

Devant leur échec, l'auteur propose une approche participative (logique paysanne) visant la valorisation des terres et du travail et l'amélioration de l'environnement rural, en s'appuyant à la fois sur la gestion des eaux superficielles, de la biomasse et des nutriments du sol. L'échelle d'intervention évolue de la parcelle au versant exploité par un groupe de paysans, du terroir à la région ou au bassin versant. La gestion de l'eau s'appuie sur des structures antiérosives et des techniques culturales en accord avec le bilan hydrique. La matière organique du sol étant une des clés de sa fertilité, une réflexion doit être faite pour améliorer la gestion de la biomasse à l'échelle du terroir. L'agroforesterie peut aider à réduire les pertes en nutriments des agrosystèmes, mais elle ne suffit pas à améliorer la productivité des terres. Des compléments minéraux sont indispensables si on veut relever le défi du siècle : nourrir la population qui double en 20 ans, tout en stabilisant l'environnement.

Mots clés : stratégies de lutte antiérosive, stratégies traditionnelles, logique aval d'équipement rural (RTM, DRS, CES), logique amont/participation paysanne, GCES, Madagascar.

1 - INTRODUCTION

- Le mot "érosion" vient du latin "erodere" qui signifie griffer, ronger : on pense tout de suite à une maladie qui ronge la chair de la terre pour ne laisser qu'un squelette. En réalité, l'érosion comprend 3 processus : l'arrachement de particules relativement petites, leur transport et leur sédimentation. La dégradation des sols est antérieure à l'érosion et se fait sur place : ses causes sont multiples (déséquilibre du bilan organique ou minéral, salinisation, surpâturage, tassement par la motorisation). L'érosion n'est pas la cause de la dégradation mais un signe d'un profond déséquilibre entre le milieu et son mode de gestion : cependant une fois déclenchée, l'érosion accélère la dégradation du sol soumis à l'énergie cumulée des gouttes de pluie, du ruissellement et de la gravité.

- L'érosion n'est pas un problème nouveau. Il y a plus de 7000 ans que l'homme a laissé des traces de sa lutte contre l'érosion : la plupart des civilisations ont développé des stratégies qui leur sont propres pour réduire les inconvénients liés à l'érosion et à la pression démographique. On pourrait donc croire qu'il n'y a plus rien de neuf à découvrir dans le domaine de l'érosion. Au tableau 1, sont rapportées la diversité des phénomènes d'érosion et la discontinuité des processus dans l'espace et dans le temps. Dans la réalité du terrain, il est difficile de répéter expérimentalement ces ruptures d'équilibre qui entraînent des transports considérables de matières à des intervalles de temps difficile à prévoir. Non seulement on constate aujourd'hui notre incapacité de convaincre les paysans de l'intérêt d'investir dans la conservation des sols conventionnelle, mais on doute de leur efficacité et on découvre encore de nouveaux processus (par exemple le transport de terre par les outils de travail du sol) et l'extrême complexité des transports solides dans un champ cultivé.

- A Madagascar, tous les processus d'érosion sont très actifs :

- * le feu fait régresser la forêt et dévore la savane,
- * le sommet des collines est rongé jusqu'à la roche, les sols sont épuisés,
- * les "lavaka" (ravines complexes) ouvrent des plaies béantes dans leurs flancs et répandent des masses de sable dans les rizières,
- * les cyclones provoquent des inondations catastrophiques : le dernier en date (Hutelle, 1 à 3/03/93) a provoqué 2496 glissements de terrain dans la zone de Beforana sur 50 km² (Projet Terre-Tany, 1993),
- * les rizières sont rouges, comme si la force vive de la Grande Ile s'échappait inexorablement vers la mer.

- Tout ceci n'est pas nouveau : la recherche a décrit et mesuré ces processus depuis 40 ans. Elle a montré que les sols sont relativement résistants mais que les pluies sont très agressives. La destruction du couvert végétal et des matières organiques entraînent la dégradation de la structure et de la vitalité des sols et par conséquent, augmente les risques de ruissellement et d'érosion. Avec la formidable pression démographique actuelle (plus de 3,5 % de croissance par an) les risques augmentent, l'érosion s'étend et s'accélère.

- Peut-on inverser cette tendance ? Mes collègues du FOFIFA et du CIRAD sont mieux placés que moi pour faire la synthèse des résultats de 40 années de recherche à Madagascar.

En ce qui nous concerne, nous allons présenter les nouvelles orientations des recherches sur la lutte antiérosive dans le monde. Il sera question :

- * de l'évolution historique des stratégies de LAE,
- * des méthodes de gestion des eaux de surface,
- * de la gestion de la biomasse disponible,
- * et de la gestion simultanée de la fertilité des sols.

Table. 1 DISCONTINUITÉ DES PROBLÈMES D'ÉROSION DANS LE TEMPS

L'érosion trouve son origine dans deux types de problèmes :

- DES PROBLÈMES GÉOLOGIQUES

Lutte entre :

- Altération des couches superficielles des roches par l'eau et la biosphère

PEDOGENESE

- Érosion qui cisèle la surface de la terre

MORPHOGENESE

- *ÉROSION GÉOLOGIQUE NORMALE* = 0.1 t/ha/an
Ruissellement = + 1 %

- DES PROBLÈMES SOCIO-ECONOMIQUES

croissance de la population et des besoins

EXTENSION des surfaces défrichées,
pâturées,
cultivées

DIMINUTION de la durée des jachères

- *ÉROSION ACCÉLÉRÉE* = 10 à 700 t/ha/an
Ruissellement = 20 à 80 %

DECAPER 1 mètre de terre prend 100.000 ans

100 ans

- *ÉROSION CATASTROPHIQUE* : 1 mètre en quelques heures !

- RAVINEMENT : 100 à 300 t/ha/JOUR

- GLISSEMENT EN MASSE : 1000 à 10.000 t/ha/HEURE

Exemple : Nîmes, l'orage du 3/10/1988

a donné 420 mm de pluie en 6 heures
a causé 4 milliards de dégâts
la mort de 11 personnes

CONCLUSIONS :

Les manifestations de l'érosion sont très discontinues dans le temps.

La Presse et le Pouvoir ne s'intéressent qu'aux catastrophes.

La GCES est d'avantage concernée par l'érosion accélérée, durant la phase initiale :

l'érosion en nappe et rigoles, qui dégrade les bonnes terres des paysans

la restauration de la productivité des sols profonds

la gestion de la fertilité des terres d'avenir

la valorisation des ravines aménagées et des eaux de surface.

Nous concluons sur la nécessité d'un changement radical des mentalités et des techniques si on veut restituer au monde rural sa capacité d'adaptation aux conditions socio-économiques et sa responsabilité face à l'avenir de l'environnement rural.

2 - EVOLUTION HISTORIQUE DES STRATEGIES DE LUTTE ANTIEROSIVE

2.1. Problématique : l'érosion, un problème de société en croissance

- Face à la pression démographique locale, les sociétés ont réagi de façon bien connue :
 - * émigration des populations des villages vers les agglomérations,
 - * extension du réseau routier et des villes, milieux imperméables,
 - * extension des surfaces cultivées dans les campagnes à des milieux de + en + fragiles,
 - * intensification des cultures autour des villes (couronnes de terres dégradées).

- Pour faire face à l'augmentation des risques de ruissellement, d'érosion, et de pollution, les hommes ont développé au cours des siècles diverses stratégies de gestion de l'eau et de la fertilité des sols.

2.2. Les stratégies traditionnelles : leur efficacité est liée au milieu socio-économique

- Il est intéressant de noter que l'on retrouve sur tous les continents (et dans La Grande Ile) toute une série de stratégies de lutte antiérosive (LAE) adaptées aux conditions socio-économiques des sociétés rurales.

- Ainsi, la **culture sur brûlis** peut être une approche équilibrée de la gestion de la biomasse et des nutriments au cas où la population est très dispersée (moins de 20 à 40 habitants/Km²), la pluie et les terres sont abondantes (il faut 10 à 20 fois plus de terre que celle qu'on cultive) et où la société vit dans le cadre d'une économie d'autosubsistance.

- A l'opposé lorsqu'on dispose de peu de terres planes, d'une abondante main d'oeuvre peu coûteuse et d'un marché pour valoriser la production, on voit apparaître diverses formes de **terrasses en gradins** plus ou moins équipées de systèmes d'irrigation. Ces méthodes exigeantes en main d'oeuvre (500 à 1200 hommes. jours pour aménager un hectare) sont très efficaces pour lutter contre l'érosion, mais elles sont finalement abandonnées si le travail (nécessaire à l'entretien des gradins) est mieux rémunéré en ville (ex. Bassin Méditerranéen).

- Un dernier exemple nous permet d'espérer trouver des solutions intermédiaires. Il s'agit des **bocages**, paysages développés à partir de systèmes agro-sylvo-pastoraux intensifs associant des bosquets dans les zones fragiles (risques de glissement), des haies vives entourant les champs et les pâturage ± artificiels.

Dans l'Ouest du Cameroun, le "bocage bamileke" permet une densité de population de plus de 250 hab/km² en milieu granitique et de plus de 500 hab/km² en milieu basaltique où les sols plus riches.

- A Madagascar, milieu très contrasté (Pluie = 400 à 2000 mm), il existe de nombreuses stratégies traditionnelles de gestion de l'eau, du feu, de la fertilité et de la terre.

Trois exemples. Le brûlis des collines herbeuses entraîne l'augmentation du ruissellement lors des premiers orages et la migration de la fertilité (cendres) qui alimente précocement les rizières des vallées. Mais à la longue, ces feux répétés pour régénérer l'herbe pour les troupeaux, dégradent la végétation arborée et les sols acides des collines.

Autre exemple. Les paysans malgaches excellent dans la transformation des petits bas-fonds en rizières irriguées, à l'aide de murettes en mottes d'herbes. Mais pour étendre au

maximum leur surface, ils mordent sur les zones colluviales et provoquent parfois la formation de ravines remontantes qu'ils maîtrisent mal. Enfin, là où la pression démographique se fait sentir (près des villes), les rizières ne suffisent plus à nourrir la population.

Les paysans plantent alors le bas des versants (zone un peu moins pauvre) de diverses cultures pluviales bien adaptées aux sols acides (manioc, ananas, patates douces, parfois riz pluvial après amélioration) : à chaque labour des "tanetty" les talus se creusent et le champ évolue en terrasse progressive.

Certains paysages sont ainsi profondément modifiés, mais actuellement en l'absence d'engrais minéral, avec l'augmentation de la population pauvre et l'insécurité, on peut constater une forte immigration autour des villes et la dégradation des paysages.

Les cultures pluviales montent à l'assaut des collines en ordre dispersé, le bétail manque pour tirer la charrue, les vieux arbres sont ébranchés ou dessouchés : les besoins en nourriture et en bois sont prioritaires et l'on manque de moyens pour assurer l'avenir.

2.3. Des stratégies modernes d'équipement rural en réponse à des situations de crise

- Devant l'inefficacité des stratégies traditionnelles à faire face aux problèmes d'environnement en temps de crise, le pouvoir central et ses ingénieurs ont développé des méthodes modernes de LAE basées essentiellement sur le terrassement des pentes et la canalisation des eaux de ruissellement hors des surfaces fragilisées par la culture vers des exutoires aménagés. Nous en citerons trois pour bien comprendre la philosophie qui se cache derrière des termes bien connus, mais souvent mal utilisés.

1850 : la RTM : Restauration des Terrains de Montagne en France

A cette époque, les populations pauvres des montagnes ne survivaient que grâce au pâturage des terres communales. Il s'en est suivi une dégradation des alpages, une augmentation des pointes de ruissellement et de gros dégâts aux voies de communication et aux aménagements des vallées. Pour le bien public, l'Etat s'est approprié les terres dégradées et ses forestiers ont replanté les hautes vallées et corrigé les torrents et grosses ravines (Lilin, 1986). Ces interventions très efficaces coûtent cher à la mise en place (environ 500 FF/m³ de gabion dans les Alpes) et à l'entretien (actuellement 150 millions FF/an en France) et n'ont résolu les problèmes de surpopulation que grâce à une forte demande de main d'oeuvre par l'industrie naissante.

1930 : la CES : la Conservation de l'Eau et des Sols aux USA

Une grande crise économique aux USA coïncide avec une forte crise d'environnement. la culture mécanisée des grandes prairies semi-arides a déclenché une énorme érosion éolienne : les nuages étaient si chargés de limons et d'humus qu'on n'y voyait plus en plein midi (dust bowl). L'Etat a chargé un corps d'agronomes de distribuer aux paysans volontaires de chaque canton une aide technique et financière pour conserver la productivité des sols et la qualité des eaux. Bennet a développé le système des terrasses de diversion et des exutoires aménagés.

1940 : la DRS : Défense et Restauration des Sols autour de la Méditerranée

Suite à diverses pressions (colonisations, migrations, croissance démographique) les cultivateurs et les éleveurs ont été repoussés dans les montagnes, milieu fragile dès lors qu'il est dénudé. Pour lutter contre la dégradation des terres, l'augmentation du ruissellement, des inondations et l'envasement des barrages, on a marié la RTM sur les hautes vallées et la CES, banquettes de diversion sur les versants cultivés.

La deuxième guerre mondiale n'a guère donné l'occasion de vérifier l'efficacité de l'application en zone tropicale des techniques mises au point par BENNET sur les sols limoneux de la Grande Plaine Américaine.

En 1980, l'échec des techniques d'équipement rural est reconnu par les chercheurs :

- > elles n'arrêtent pas l'érosion en nappe et la dégradation des terres,
- > elles n'ont pas ralenti l'envasement des barrages,
- > elles n'ont jamais été acceptées par les paysans.

Aux USA malgré 50 ans de CES, 25 % des terres cultivables perdent encore plus que l'érosion tolérable (max. 15 t/ha/an). En Afrique, les paysans refusent d'entretenir les aménagements réalisés par l'Etat et à plus forte raison d'étendre ces aménagements. "Pourquoi investir beaucoup de travail dans l'aménagement de ces terres dégradées si c'est pour conserver des rendements de misère ?". Pire, la plantation d'arbres par l'Etat fait craindre aux paysans une tentative d'appropriation de leurs terres (ex. : en Tunisie).

En 1987, le Séminaire de Puerto Rico a permis à une centaine de chercheurs et développeurs d'analyser les causes des échecs des projets et les caractéristiques des rares réussites (Moldenhauer et Hudson, 1988).

2.4. Des stratégies participatives visant le développement rural : ex. GCES.

- Il est maintenant évident que l'échec des programmes de conservation des sols provient soit d'erreurs techniques (transplantation sans vérification de méthodes d'un milieu physique ou sociologique à un autre), soit de financements mal adaptés (trop rigide, trop court, mal ciblé), soit surtout de l'absence d'adoption par les principaux intéressés, les paysans et les éleveurs (non entretien, ni diffusion des aménagements).

- Pour obtenir la participation paysanne dès la définition du programme, il est nécessaire de répondre d'abord à leurs problèmes immédiats (comment survivre quand la population double tous les 20 ans) et de s'adapter à la mentalité paysanne pour laquelle tout effort doit être payé tout de suite, soit par une augmentation substantielle des rendements, soit par l'augmentation de la sécurité (marché diversifié, résistance à la sécheresse) soit par une réduction du travail ou des autres intrants.

- **L'objectif majeur n'est donc plus la conservation de la masse du sol, mais la valorisation de la terre et du travail, tout en améliorant l'environnement rural (développement durable).**

- **Les moyens sont nouveaux.** Il s'agit de gérer à la fois les eaux de surface, les matières organiques et les nutriments : augmenter la production de biomasse pour mieux couvrir les sols et réduire les risques de fuite et les déséquilibres du bilan des nutriments organiques et minéraux.

- Ce programme exige du temps et un changement profond des mentalités : il peut se réaliser en quatre étapes.

1. Phase de sensibilisation de la communauté paysanne aux problèmes d'érosion à l'occasion de 2 enquêtes l'une sur les risques observés et leur perception par les paysans et l'autre sur les facteurs et les circonstances entraînant leurs manifestations.

2. Phase d'expérimentation, de démonstration sur les terres des paysans pour quantifier les risques et tester l'efficacité des méthodes de lutte préconisées.

3. Phase d'évaluation par les paysans et par les experts de la faisabilité, de l'efficacité et de la rentabilité des différentes méthodes proposées.

4. Phase de généralisation : de la parcelle au versant, du terroir à la région ou au grand bassin versant.

En conclusion, la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et des éléments nutritifs du sol est une approche participative récente (ROOSE, 1987, 1994), testée en France, au Burkina, en Algérie, au Rwanda et au Cap-Vert. Elle a donné des résultats encourageants à l'échelle du terroir, mais n'a pas encore eu l'occasion de faire ses preuves à l'échelle régionale.

- Elle est basée sur le diagnostic et l'**expérimentation en milieu paysan.**

- Elle exige du temps (5 à 10 ans), un financement souple et entraîne un profond changement des mentalités des techniciens et des paysans, auxquels on restitue la capacité d'innovation.

- Cette approche **modifie l'ordre de priorité des chantiers.**

L'approche conventionnelle cherche à définir les zones les plus dégradées d'où provient la majorité des sédiments dans les rivières : c'est là qu'on commence les travaux et qu'on concentre les chantiers (ex. reboisement des badlands et correction torrentielle).

Par contre, les paysans choisissent d'investir d'abord dans les bonnes terres avant qu'elles ne soient trop épuisées plutôt que dans les terres ravинées, totalement dégradées.

2.5. Deux logiques pour la LAE

- Ces deux logiques peuvent se comprendre si on analyse les effets de l'érosion cumulée (t/ha) au fil des années sur la capacité de production des sols (fig. 1).

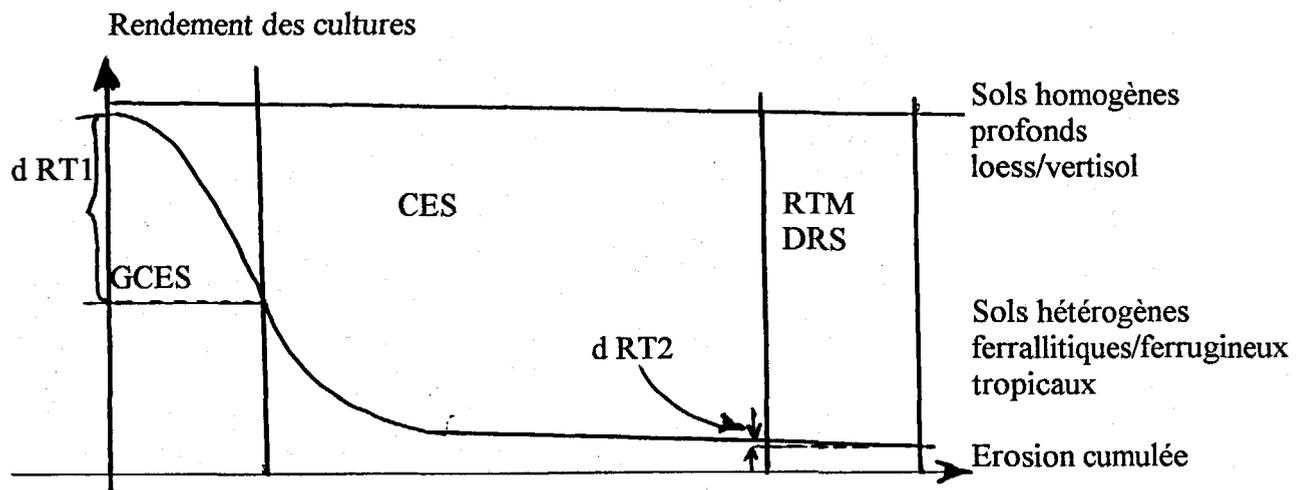


Fig. 1. Effet de l'érosion cumulée sur la capacité de production de sols homogènes profonds et de sols à fertilité réduite à l'horizon humifère superficiel.

- On peut observer en figure 1 que sur des sols homogènes fertiles et profonds l'érosion d'une dizaine de centimètres (1300 t/ha) n'a guère d'influence sur leur productivité : ceci a été vérifié sur les sols bruns sur loess profonds des USA.

- Par contre sur les vieux sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux, l'essentiel de la fertilité est concentré dans l'horizon humifère superficiel (5 à 15 cm de profondeur). Au Cameroun, Boli et al. (1994) ont observé expérimentalement sur un sol ferrugineux que le décapage des 15 premiers centimètres entraîne une perte de 50 % des rendements (malgré

l'apport des engrais nécessaires). Ensuite, la productivité est faible mais stable jusqu'à l'approche de la cuirasse ou d'un horizon graveleux.

- On peut alors investir dans la LAE selon deux logiques :

a) la **logique aval** applique les stratégies de DRS ou RTM qui consistent à concentrer les chantiers sur les sols dégradés d'où partent la majorité des transports solides des rivières. Les obstacles mécaniques dans ces zones réduisent fortement les transports solides et améliorent la qualité des eaux (MES ↓) des rivières, ce qui intéresse l'Etat, les industries et les citoyens, gros consommateurs d'eau ;

b) la **logique amont** (logique paysanne) conformément à la GCES tente de rééquilibrer les bilans organiques et minéraux des terres productives en voie de dégradation. En restaurant la productivité de la terre, on augmente la couverture végétale et la production de biomasse et on valorise le travail des paysans.

2.6. La restauration des sols

- A partir du moment où l'on défriche pour cultiver des terres, on réduit l'apport de litière à la terre tandis que la vitesse de minéralisation de l'humus du sol n'est guère réduite. On aboutit donc tôt ou tard à la dégradation des sols d'autant plus rapide en milieu tropical que le pédoclimat est chaud et humide, favorable à l'activité de la microflore du sol.

- Une fois les réserves minérales facilement assimilables épuisées et les réserves organiques bien entamées, les adventices et les nuisibles prennent généralement possession du terrain que l'agriculteur abandonne alors à la jachère. Il lui faut 10 à 15 ans en milieu forestier humide, 30 à 50 ans sous savane semi-humide et plus encore en zone sahélienne pour récupérer à la fois des propriétés physiques et le niveau de fertilité chimique initial. C'est la restauration écologique du milieu.

- Avec la pression démographique, il n'est plus possible de geler tant de terre pour restaurer leur fertilité ; la réduction de la durée de la jachère aboutit alors à l'accélération de la dégradation des couvertures végétales et pédologiques.

- Il est cependant possible de restaurer en quelques années la productivité des sols en **respectant les 6 règles suivantes** :

1. maîtrise du ruissellement, de l'érosion et de la lixiviation pour réduire les fuites de nutriments du système sol/plante ;
2. régénérer la macroporosité et l'enracinement par un travail profond ;
3. stabiliser la structure du sol par l'enfouissement de résidus de culture ou de chaux ou par une culture à fort enracinement ;
4. revitaliser le sol par apport de fumier composté ;
5. corriger l'acidité jusqu'au seuil $\text{pH} > 5$ pour supprimer la toxicité aluminique ;
6. corriger les carences du sol ou plus exactement nourrir la plante cultivée aux moments où elle en a le plus besoin (montaison, floraison, épiaison).

Tous les sols ne sont donc pas des ressources naturelles non renouvelables. La restauration des sols profonds et même leur **bonification** est possible, mais elle a un coût pour rétablir les équilibres organiques et minéraux. La stratégie GCES applique la règle selon laquelle " mieux vaut prévenir que guérir ". Comment donc définir les choix de gestion de l'eau, de la biomasse et des nutriments à Madagascar ?

3 - LA GESTION DE L'EAU PAR DES STRUCTURES ET DES TECHNIQUES CULTURALES APPROPRIÉES

En fonction du bilan hydrique régional, il existe 4 modes de gestion des eaux auxquels correspondent des structures antiérosives et des techniques culturales adaptées (voir tableau 2).

4 modes de gestion des eaux	des structures	des techniques culturales
Capture des eaux de surface	impluvium + citerne ou + cultures localisées	labour grossier, billons, cultures en cuvette/sillons
Absorption totale	terrasse en gradins, fossé d'absorption totale	billonnage cloisonné, paillage
Diversion des eaux en excès	bourrelets, fossés, diguettes, terrasses de diversion	billons obliques, planches, grosses buttes
Dissipation de l'énergie des eaux de ruissellement	microbarrages perméables, haies vives, cordons de pierres, lignes de paille / d'herbe / cailloux	labour grossier à plat, paillage, semis direct dans la litière

3.1. Quelles structures antiérosives pour Madagascar ?

Le choix régional doit se faire en tenant compte du bilan hydrique des versants, de la capacité d'infiltration des terres, des risques de glissement en masse et de lixiviation des nutriments si on infiltre toute l'eau, mais aussi de la disponibilité en main d'oeuvre et en compétence.

1. Dans les zones semi-arides (ou tropicales avec une saison sèche), on peut chercher à capter les eaux de ruissellement sur les toit, le long des pentes et des pistes, au pied des versants rocheux ou tassés par le surpâturage.

Ces eaux plus ou moins enrichies en nutriments, en particules fines ou en sable peuvent être collectées dans de petites citernes creusées près des maisons (carrière à briques), dans des mares en amont des bonnes terres pour créer de petits jardins fruitiers/potagers où on concentre l'eau et les éléments fertiles dont on dispose.

2. Dans les zones semi-arides ou à sol très perméable, on peut tenter de tout absorber :
 - dans des gradins avec des terrasses d'absorption totale ou,
 - dans des fossés cloisonnés en courbe de niveau (à proscrire s'il y a des risques de glissement sur les pentes > 30 %).

3. Dans les zones humides, on peut drainer les excès hors des champs vers des exutoires aménagés.

Il s'agit de fossés, diguettes ou banquettes de diversion mis au point par BENNET (1939) pour les sols argilo-limoneux des régions tempérées des USA, ou encore des terrasses en gradin avec déversoir latéral dans les zones tropicales humides montagneuses indonésiennes.

4. Dans la méthode de dissipation de l'énergie du ruissellement, décrite récemment (Roose, 1994), il s'agit d'étaler les eaux en nappe sur la rugosité du sol et les structures

antiérosives perméables (ex cordons de pierres, bandes enherbées...) pour éviter qu'elles deviennent agressives et dépassent le seuil de 25 cm/sec, vitesse au-delà de laquelle les eaux seraient capables de creuser des rigoles et ravines (fig. 2 Hjulström). Cette approche aboutit à la formation de terrasses progressives : le simple travail du sol en courbe de niveau surélève le talus vers l'amont et creuse à l'aval de celui-ci, de telle sorte qu'il atteint facilement 1 mètre en 5 ans. Il faut alors restaurer la fertilité des sols à l'aval des talus.

3.2. Quelles techniques culturales pour Madagascar ?

Chaque technique a ses avantages et ses inconvénients de telle sorte que le choix des paysans doit être raisonné en fonction de la pente (qui réduit l'effet de la rugosité du sol sur le stockage de l'eau), du bilan hydrique et de la répartition des pluies, de la culture et de la disponibilité en travail et en intrants (matériel, traction animale, herbicides).

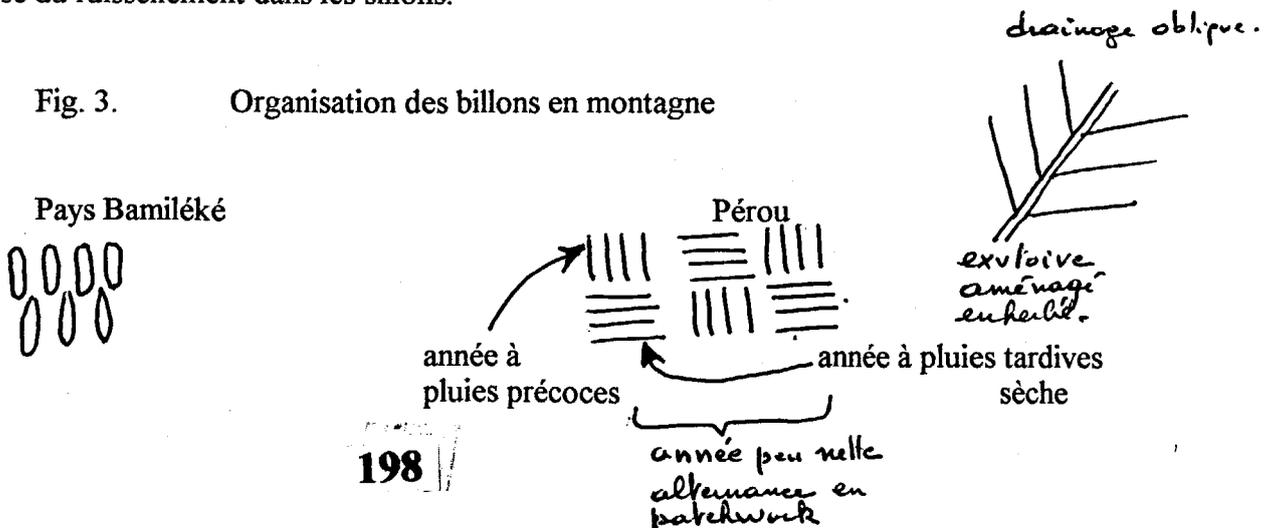
Le labour est utile pour décompacter le sol, favoriser l'enracinement, maîtriser les adventices et augmenter temporairement l'infiltration (de 40 à 260 premiers millimètres de pluie en fonction de la stabilité de la structure du sol). Effectué en courbe de niveau, il peut réduire les pertes en terre de 50 % sur les pentes moyennes (8 %) mais n'a plus guère d'effet au-delà de 25 % de pente. Dans les sols à bonne réserve hydrique, le labour peut augmenter les rendements de 30 à 50 % en zone semi-aride (Charreau et Nicou, 1971 ; Nicou et al., 1987).

Le labour a aussi des inconvénients. En augmentant l'aération du sol, il augmente la vitesse de minéralisation des matières organiques et accélère la dégradation de la structure. En réduisant la cohésion du matériau, il augmente son érodibilité et cause un réel danger de décapage sur fortes pentes. En retournant le sol, le labour expose aux pluies des horizons moins humifères, donc plus sensibles à l'érosion. Enfin, la charrue et les disques poussent le sol vers le bas de la pente, créant ainsi une lente érosion mécanique en masse (de l'ordre de 10 t/ha/labour) longtemps confondue avec l'érosion en nappe.

Le travail aux dents (chisel) soulève le sol et le fragmente sans le retourner. Moins efficace pour la maîtrise des adventices, il permet de conserver en surface la mince couche humifère et une litière de résidus de culture qui réduisent les risques d'érosion en nappe et d'érosion mécanique en masse.

Le billonnage en courbe de niveau accumule de la terre humifère bien drainée pour les cultures de plantes à racines et réduit les risques d'érosion de moitié par rapport au labour pour des pentes <8 %. Sur forte pente les avis sont partagés.

Le billonnage isohypse est certainement plus favorable lors des pluies faibles et moyennes. Mais dans les zones à cyclones (pluie de 300 à 600 mm en 3 jours) ou lors des gros orages de fréquence rare, les billons isohypses vont forcément déborder, créant un risque majeur de ravinement ou de glissement de terrain que le paysan ne peut maîtriser. Il est alors préférable de créer comme en pays Bamiléké ou au Pérou, une série de gros billons courts dans le sens de la pente, bien couverts par des cultures associées et organisées de façon à casser la vitesse du ruissellement dans les sillons.



Le travail du sol réduit à la ligne de plantation. En montagne où les risques sont trop graves et là où la macroporosité du sol est correcte, il vaut mieux réduire le travail du sol, mais alors il est nécessaire de trouver un autre moyen pour gérer les adventices qui risquent d'étouffer les jeunes plants cultivés. Cela peut comporter la mise en place d'un paillis épais, l'utilisation d'herbicides ou l'implantation de légumineuses couvrantes lors du premier sarclage du maïs (méthode brésilienne au Calopogonium).

Le travail du sol et la fertilisation peuvent être réduits à la ligne de plantation laissant entre les lignes les résidus de culture et les adventices mortes en guise de litière : on réduit alors considérablement les risques de ruissellement et d'érosion (voir au Cameroun les travaux de Vallée, 1994, BOLI, ROOSE et al., 1994). Pour maintenir le niveau de production, il faut alors réviser la technique de fumure (risque de lixiviation des nutriments et d'engorgement temporaire).

4 - GERER LA BIOMASSE ET LES MATIERES ORGANIQUES DU SOL

4.1. La matière organique : l'une des clés de la santé des sols

- Sous forêt, les arbres puisent les nutriments en profondeur et déposent 8 à 15 t/ha/an de litière à la surface du sol. La mésofaune (vers, termites, etc...) intervient alors pour creuser des galeries, recycler et redistribuer les matières organiques et minérales.

- Si on brûle la forêt et qu'on cultive la terre, on supprime la litière et comme la minéralisation des MO du sol continue, on observe une baisse rapide (50 % en 4 ans) des matières humifiées du sol.

Il s'en suit une réduction de l'activité de la mésofaune et de l'infiltration et par la suite une augmentation des risques de ruissellement et d'érosion. Si la végétation et les sols se dégradent vite sous les tropiques, c'est parce que, sans matière organique, les sols à kaolinite sont incapables de stocker l'eau et les nutriments en quantité suffisante sous forme assimilable par les cultures.

- Pourtant chaque champ produit une grande quantité de biomasse.

* 8 à 15 t/ha/an de litière sous forêt,

* 2 à 10 t/ha/an d'herbes sous savane mais le feu ne laisse que les racines (1 à 2 t/ha/an),

* 2 à 7 t/ha/an sous céréales... mais tous les résidus sont pâturés, exportés ou brûlés avant le labour !

* 0,5 à 3 t/ha/an sous arachide, coton, tabac mais tout est exporté.

En définitive, sans apport de MO, les sols cultivés se dégradent avant même que se déclenche l'érosion : mais celle-ci accélère sérieusement la dégradation.

4.2. Comment gérer au mieux cette biomasse ?

a) **L'élevage** est la voie la plus classique et probablement la plus rentable de la valorisation des résidus de culture. L'élevage produit de la viande et du fumier... mais le rendement fumier produit/biomasse ingérée ne dépasse guère 30-50 % de restitution pour le sol. Un gros effort reste à faire pour améliorer la quantité et la qualité du fumier en particulier des boeufs d'attelage (boeufs élevés dans une fosse fumière).

b) **Le compost est le "fumier du pauvre"**. Il donne un rendement aussi faible (35 %) mais pas de viande. Il exige beaucoup de travail, le fractionnement de la biomasse, un double transport des résidus, l'arrosage en saison sèche, le retournement, la protection contre le soleil et les pluies directes. L'expérience montre l'intérêt d'une "fosse compostière-fumière-poubelle" à l'ombre des arbres, où l'on accumule tous les déchets disponibles dans l'exploitation et dans l'habitation en veillant à accélérer le recyclage des nutriments (Turnover).

c) **L'enfouissement des résidus des cultures**. Il exige l'énergie d'un tracteur et un apport complémentaire d'azote pour éviter "la faim d'azote", immobilisation de l'azote disponible pour la digestion du carbone par les microbes du sol à la reprise des pluies.

Dans la nature, les paysans nettoient leurs champs et brûlent tous les résidus avant de préparer le lit de semence "par peur des maladies et des insectes cachés dans les résidus". A long terme, cette pratique est probablement déplorable mais à court terme, le paysan ne peut prendre aucun risque qui mettrait en péril sa maigre récolte annuelle.

d) **Le paillage léger** est une technique très efficace contre l'érosion, même si la surface n'est que partiellement couverte : un paillage couvrant 30 % du sol réduit de 50 % les risques d'érosion.

Mais les risques phytosanitaires sont réels (pourriture, limaces et sautériaux cachés sous les débris végétaux difficile à atteindre avec les produits phytosanitaires).

Le problème majeur est de trouver le volume de biomasse nécessaire (4 à 6 t/ha/an).

e) **Les légumineuses de couverture**. On s'oriente actuellement vers le semis retardé de légumineuses de couverture (ex Calopogonium) sous le maïs lors du premier sarclage (Klein, 1993) ou vers la constitution d'un couvert d'adventices que l'on grille aux herbicides au bout d'un mois lorsqu'il a atteint 20 cm de haut (Boli et al, 1994).

f) **La gestion des adventices** à la surface du sol doit aussi faire l'objet d'une réflexion : les griller aux herbicides ou les arracher et les étaler en surface réduit significativement les risques de perte en terre (Boli, Roose, Bep et al., 1994). Tolérer 10 % de couvert dû aux adventices en période très humide peut aussi réduire les risques de lixiviation des nutriments solubles dans les eaux de drainage.

4.3. L'agroforesterie

- Il s'agit de cultiver des arbres à objectifs multiples dans les meilleures terres cultivées. L'enracinement puissant des arbres les rend capables de prélever dans les horizons profonds du sol les nutriments entraînés par les eaux de drainage au-delà des racines des cultures ou les cations issus de l'altération des roches.

- La productivité (en bois, feuilles, fourrages) étant bien meilleure que sur les terres pauvres d'ordinaire réservées aux forêts et la terre étant sarclée pour les cultures, on peut maintenir une faible densité d'arbres (200 à 300 tiges/ha de tous âges) : tout l'art consiste à doser l'association "arbres-cultures" et de gérer la taille des branches et des racines superficielles.

- Pour une fois, ceux qui cultivent la terre, ceux qui plantent les arbres et ceux qui les exploitent sont les mêmes paysans, ce qui améliore leur sentiment de possession de la terre. Mais sur les terres louées ou s'il existe des droits de parcours du bétail, il peut être très difficile d'introduire l'agroforesterie sans soulever de graves problèmes fonciers.(Tassin, 1992)

- L'agroforesterie pourrait modifier les paysages malgaches (au moins des hautes terres) en bocages qui permettent de nourrir 250 à 500 habitants par km² sur les collines granitiques et jusqu'à 700 hab/km² sur les terres basaltiques (voir Cameroun et Rwanda).

Au Rwanda, KONIG (1993) et NDAYIZIGIYE (1994) ont montré qu'un réseau de haies vives de Calliandra ou Leucaena (2 légumineuses arbustives), plantées tous les 8 à 10 mètres, produit 4 à 10 t/ha/an de fourrage riche en protéines et 2 à 3 t/ha/an de bois de feu ; les remontées biologiques atteignent 100 kg/ha/an d'azote, 10 kg de phosphore et 40 kg de K + Ca + Mg sur des sols ferrallitiques très acides (pH \cong 4).

Toute cette biomasse forestière mérite un meilleur sort que le feu. Elle peut servir de fourrage en saison sèche et d'engrais vert/paillage pour protéger temporairement le lit de semence. Mais cela exige de changer les habitudes séculaires des éleveurs (TASSIN, 1992).

- La culture en couloir entre les haies (5 à 10 mètres de distance) permet de réduire l'érosion, de maîtriser le ruissellement et d'arrêter la dégradation des sols. Mais ce système de production ne suffit pas lorsque la population double tous les 20 ans. Pour relever le terrible défi, il faut combiner la gestion de l'eau, de la biomasse et des compléments minéraux indispensables.

5 - LA GESTION DES NUTRIMENTS

5.1. Le défi : doubler la production tous les 20 ans

- Conserver la masse du sol ne suffit pas pour augmenter leur productivité, surtout que la plupart d'entre eux sont déjà pauvres, acides, lessivés. " Pourquoi investir dans le travail de terrassement et entretenir les structures antiérosives si la production ne s'améliore guère ? "

- Dans " l'approche GCES ", on vise l'augmentation de la production de biomasse : or celle-ci ne se nourrit pas de MO, ni de sol mais des solutions nutritives NPK, Ca, Mg et divers oligo-éléments. Même si la plupart de ces nutriments sont présents en abondance dans le sol, ils sont souvent peu mobiles (P) ou peu assimilables par les plantes.

- Pour valoriser la terre et le travail, il faut donc apporter, **outre les MO, un complément minéral.**

- Mais les sols tropicaux stockent mal les nutriments. Le phosphore est vite rétrogradé par le fer libre, les éléments solubles sont emportés par le ruissellement et le drainage tandis que l'abus d'engrais composés d'acides forts acidifient les horizons superficiels. Ce n'est donc pas facile d'entretenir ou de restaurer la fertilité des sols à argile kaolinitique !

5.2. Corriger les carences du sol ou nourrir la plante cultivée ?

- Dès le congrès de Tananarive de 1967, il était clair que sous les tropiques humides, les risques de lixiviation des nutriments par le drainage sont si importants qu'il n'est pas rentable de corriger les carences du sol. (Roose, Godefroy, 1967)

- Il faut donc nourrir les cultures par petites doses, tout près de la plante, à mesure qu'elles en ont besoin lorsqu'elles atteignent certains stades physiologiques (montaison, floraison, épiaison).

- Dans les sols ferrallitiques, les compléments minéraux sont indispensables :

* pour relever le pH au dessus de 5 et éviter la toxicité aluminique,

* pour apporter le phosphore qui manque depuis la roche et les plantes jusqu'aux animaux,

* l'azote peut être apporté par des légumineuses, si on a levé la carence en phosphore.

Ces minéraux délicats à apporter (P, Ca, K, Mg, oligo-éléments), il faut les cacher dans les apports organiques (fumier/compost) : leur interaction avec les acides humiques augmente leur efficacité.

- Sans subvention des engrais minéraux, les paysans de la brousse ne pourront jamais valoriser leur travail ! Les rendements resteront minables même en absence d'érosion.

6 - CONCLUSION

6.1. Depuis 20 ans, la recherche a fait d'énormes progrès

- La DRS n'intervenait qu'une fois les sols dégradés. Le forestier "gendarme" chassait l'agriculteur/éleveur fautif pour planter des arbres "restaurateurs des sols".

- La CES s'intéresse déjà à conserver la productivité des terres et la pureté des eaux de surface.

- La GCES allie la gestion de l'eau, des MO et des nutriments pour améliorer durablement la productivité des terres et valoriser le travail des paysans.

Cette approche participative intéresse plus les paysans car elle s'applique à résoudre leurs problèmes d'intensification de la production, en même temps que de l'amélioration de leur environnement.

6.2. Cette approche participative est encore récente (1987)

- Formulée à divers congrès depuis 1987, cette approche s'enracine dans des sites expérimentaux en divers milieux paysans : France, Algérie, Cap-Vert, Burkina, Cameroun, Rwanda et bien d'autres pays anglophones (British Association for Better Land Husbandry du Kenya).

- Reste à définir ses limites : comme il s'agit de changer des mentalités et de faire évoluer des systèmes de production, cela prend du temps et contrarie la programmation des bailleurs de fond. L'une des conséquences les plus positives de cette approche c'est de restituer aux paysans leur rôle de chercheurs des solutions les mieux adaptées à leur condition de vie.

6.3. Une ère nouvelle et passionnante s'ouvre à la conservation des sols. Il s'agit d'inventer de nouveaux systèmes de production mieux adaptés à la diversité des milieux tropicaux fragiles. L'état de crise de la société est propice aux changements. Mais sans un effort sérieux pour maîtriser la croissance de la population, on n'arrivera pas à relever le défi car la population continuera à s'appauvrir et la révolte sociale à gronder !

L'exemple du Rwanda est un terrible avertissement.

BIBLIOGRAPHIE

BOLI (Z.), BEP (B.), ROOSE (E.), 1994 - Erosion impact on crop productivity on sandy soils of Northern Cameroon. Comm. ISCO 8 , Delhi, India, 4 - 8/12/1994, 13 p.

BOLI (Z.), ROOSE (E.), BEP (B.), SANON (K.), WAECHTER (O.), 1994.-Effets des techniques culturales sur le ruissellement, l'érosion et les rendements d'une culture intensive coton/maïs, sur un sol ferrugineux tropical sableux du Nord Cameroun. (Mbissiri, 1991 - 1992) Cah. ORSTOM Pédol., 28, 2 : sous presse.

BRAND (J.), RABEVOHITRA (H.), RAJAONARIVO (S.), CLOUTIER (B.), 1993.-Terroirs et ressources. Projet TERRE-TANY, 72 p.

CHARREAU (CL.), NICOU (R.), 1971.-L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux de la zone tropicale sèche africaine et les incidences agronomiques. Agron. Tropicale 26 , 9 : 903-978 et 26 , 11 : 1183-1247;

KLEIN (H.D.), 1994.-Introduction de légumineuses dans un système coton/céréales au Nord-Cameroun. Cirad-EMVT. Maison Alfort, Bull. Réseau Erosion, 14 : 393-398.

KONIG (D.), 1992 - L'agriculture écologique agro-forestière : une stratégie intégrée de conservation des sols au Rwanda. Bull. Réseau Erosion n° 12 : 130-139.

LILIN (Ch.), 1986 - Histoire de la restauration des terrains en montagne au 19ème siècle. Cah. ORSTOM Pédol., 22, 2 : 139 - 147.

MOLDENHAUER (W.C.), HUDSON (N. W.), 1988.-Conservation farming on steep lands. Soil and water conservation Society, World Association of Soil and Water Conservation, Ankeny, Iowa, USA, 289 p.

NDAYIZIGIYE (Fr.), 1994 - Effets des haies arbustives sur l'érosion et la productivité des terres sur les fortes pentes des montagnes tropicales du Rwanda. Bull. Réseau Erosion n° 14 : 243-248.

NICOU (R.), OUATTARA (B.), SOME (L.), 1987.-Effets des techniques d'économie de l'eau à la parcelle sur les cultures céréalières du Burkina-Faso. INERA OUAGADOUGOU, 77 p.

ROOSE (E.), GODEFROY (J.), 1967.-lessivage des éléments fertilisants sous bananeraie en Basse Côte d'Ivoire. Comm. Colloque International sur la fertilisation des sols tropicaux, Antananarivo, Madagascar : communication n° 114 : 1405 - 1409.

ROOSE (E.), 1987 - La GCES dans les paysages soudano-sahéliens d'Afrique occidentale. Séminaire ICRISAT/INRAN, Niamey (Niger) in " Soil, crop, water management systems for rainfed agriculture in the soudano-sahelian zone ". Proceedings ICRISAT PATANCHERU, India : 55-72.

ROOSE (E.), 1994 - Introduction à la GCES. Bull. Pédol. FAO n° 70 : Rome, 420 p.

TASSIN (J.), 1992 - Agroforesterie, conservation des sols et réalités paysannes. Bull. Réseau Erosion 12 : 191-193.

VALLEE (G.), ESSANG (T.), 1990.-Projet d'expérimentation sur la gestion de la fertilité des sols dans les systèmes de production en milieu paysan : zone Nord Est Bénoué, Cameroun. Garoua, doc. IRA, 11p.

**RESEAU
EROSION**



Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION

Pour citer cet article / How to cite this article

Roose, E. - La GCES : proposition d'une nouvelle approche de la lutte antiérosive pour Madagascar, pp. 189-203, Bulletin du RESEAU EROSION n° 15, 1995.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : beep@ird.fr