

## Restauration de la productivité des sols tropicaux

Eric ROOSE

UR SeqBio, centre IRD, BP 64501 F 34394, Montpellier cedex 5, France.  
Courriel : [Eric.Roose@ird.fr](mailto:Eric.Roose@ird.fr)

### Résumé

Dans les milieux scientifiques, il est coutume de dire que les sols sont une ressource naturelle non renouvelable : d'où des discours pessimistes sur l'avenir de la planète et de nombreux travaux sur la dégradation des sols. Or plusieurs expériences paysannes ou scientifiques montrent qu'en milieu tropical il est possible d'accélérer l'altération de certaines roches et de restaurer la capacité de production de sols dégradés par les cultures ou décapés par l'érosion. L'analyse d'une dizaine de cas montre qu'il faut respecter 5 règles : prévoir une gestion adéquate des eaux de surface, rouvrir la macroporosité et la stabiliser, revitaliser l'horizon de surface par l'apport de matières organiques fermentées, nourrir les plantes et adapter le pH du sol. Cet investissement (travail + fumure organique et minérale) n'est acceptable que si l'amélioration des revenus est sensible et les conditions socio-économiques (pression démographique et marché où écouler la surproduction) durables.

*Mots clés : restauration; productivité des sols tropicaux; réhabilitation des systèmes sol-végétation*

### Introduction

Seuls les systèmes forestiers et les savanes protégées sont des systèmes de production capables de maintenir ou d'améliorer la fertilité des sols tropicaux : leur mise en culture entraîne leur dégradation à court terme. En effet, dès le défrichement et la disparition des litières, on observe une décroissance rapide des matières organiques du sol (MOS) et un début de dégradation chimique, biologique et physique des horizons de surface. Le feu minéralise brutalement les litières, redresse temporairement le pH, mais rejette du CO<sub>2</sub> et des cendres lesquelles sont soufflées par le vent ou lessivées lors des premiers orages. Le labour à son tour introduit de l'oxygène dans le sol, accélère la minéralisation des MOS et mélange les horizons humifères et minéraux sous-jacents : à court terme, le travail du sol réduit les activités de la faune (vers de terre en particulier). Les sols sableux cultivés perdent 50% de leur MOS en 4 ans et les sols argileux en 10-15 ans. Au total, les sols cultivés deviennent à la fois moins productifs et moins résistants à l'énergie des pluies (Roose, Barthès, 2006). On comprend dès lors les efforts de mise au point de systèmes de semis direct dans la litière gardant le sol couvert : après tout, «on n'a jamais labouré les sols sous forêt» : les activités de la faune et de la flore suffisent à maintenir dans les sols forestiers de bonnes conditions pour la croissance des plantes.

Les pédologues enseignent que le sol est une ressource naturelle non renouvelable à échelle humaine. C'est vrai lorsque l'érosion a détruit le mince horizon humifère qui couvre une roche dure, comme les calcaires ou les granites : en effet il faut 200 à 300 000 ans pour altérer un mètre de granite. C'est beaucoup moins vrai pour certaines roches tendres comme les argilites, marnes, grès et schistes tendres, et même pour le basalte qui produisent 0.5 m d'altérite en moins d'un siècle. Aussi des paysans astucieux ont développé divers systèmes de création de sols nouveaux à partir d'altérites ou de cendres volcaniques minérales. Il existe aussi des jachères pour restaurer la productivité des sols dégradés par la culture (Floret et Serpantié, 1991) et des techniques traditionnelles permettant de réhabiliter des sols érodés

comme le paillage, la fumure organique et minérale (cendres) ou encore le zai, technique complexe faisant intervenir le stockage de l'eau dans le sol, la fumure organique (et minérale), les termites et le travail du sol en zone soudano-sahélienne (Roose, 1994).

Pour les écologistes, la « restauration » au sens strict, consiste à interrompre les facteurs de dégradation pour permettre au milieu de retrouver naturellement la flore et la faune primitives et plus tard les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols originaux (Aronson et al., 1993). Ceci fait appel à la résilience du milieu naturel, ce qui peut prendre beaucoup de temps et ne satisfait pas forcément aux conditions optimales de production des cultures : certains sols forestiers sont par exemple trop acides et inaptes à la production intensive de la majorité des cultures tropicales. Dans ce document, nous parlerons de manipulations vigoureuses mais simples permettant de restaurer rapidement la productivité des sols dégradés, leur permettant de remplir correctement leur rôle majeur, à savoir l'alimentation des populations rurales (= réhabilitation des écologistes) (Roose, 1993).

### **Création de nouveaux sols productifs sur roches pourries**

*En Haïti*, les sols argileux sur basaltes cultivés sur pentes sont souvent sujets à un fort ruissellement et à une érosion linéaire intense : en quelques années, le labour remonte des cailloux et le sol est abandonné (Smolikowski, 1993). Mais certains paysans plus débrouillards rachètent ces « terres mortes », y creusent tous les 2 à 4 m. en quinconce à la barre à mine des trous (100 litres) qu'ils remplissent d'un mélange de terre fine et de fumier : ils y plantent un arbre (fruitier) et des légumineuses rampantes. Des petits sillons y concentrent les eaux de ruissellement. Par ailleurs, ils élèvent un animal (chèvre ou cochon) dans une fosse voisine où s'accumulent leurs déjections qui, mélangées à la litière, vont produire le fumier indispensable pour redonner vie aux altérites. En une dizaine d'années, la parcelle traitée « en pots de fleurs » où sont concentrées les eaux de ruissellement, les déjections animales, les résidus végétaux et les terres érodées, reconstitue un milieu productif.

*Au Mali*, les *Dogons*, forcés de vivre dans les falaises gréseuses pour échapper aux envahisseurs musulmans des plaines, reconstituent des sols sur des bancs subhorizontaux de grès en y construisant des cordons de pierres «en nids d'abeille» (hexagonaux) et en y coulant du sable prélevé dans la plaine voisine et du fumier. Chaque logette couvrant 1 m<sup>2</sup> est plantée en oignons doux appréciés à 100 km alentour et irriguée à l'aide d'une calebasse remplie dans un micro barrage collinaire voisin.

*Au Nord Cameroun*, dans les monts Mandara, les *Mofu* dans des situations semblables mais au milieu de chaos granitiques, accélèrent la formation de petites parcelles cultivées en terrasses grâce à des murets de pierres, des apports de fumier et de sables, à l'action simultanée de plantes choisies pour leur enracinement s'infiltrant dans les fissures des roches (sorgho, mil, *Cynodon dactylon*, divers fougères et plantes fourragères), introduisant du fumier et des boutures de *Ficus* ou d'*Acacia polyacantha* dans les fissures et du feu à la base des boules de granite qui éclatent et se désagrègent en particules sableuses (Seignobos, 1998).

*Au Mexique*, Quantin, Prat, Zebrowski (1993) et en Equateur De Noni, Viennot (1993) REF ?, ont restauré des cendres volcaniques indurées (tepetate) par rotoation (fractionnement mécanique), terrassement et fertilisation d'une rotation alternant céréales (blé, maïs) et légumineuses (vesces, fèves, haricots) : dès la troisième année, les rendements sont normaux.

*Au Salvador*, Collinet et Mazariego (1993) ont restauré la structure et la productivité d'un sol sur cendres volcaniques brutes en y introduisant du fumier de poule et des feuilles de *Gliricidia sepium*.

En Martinique, des études expérimentales ont tenté de restaurer la végétation naturelle et réduire l'érosion d'un versant décapé qui menace la vie des coraux dans la baie voisine de la réserve naturelle de la Caravelle. Une première tentative en 1995, a échoué qui a opposé des planches de *Mahogany* au ruissellement, a capté quelque 34 t/ha de sédiments, lesquels ont détourné le ruissellement en nappe et relancé l'érosion linéaire concentrée. Très peu de plants forestiers ont survécu dans ces poches de sédiments sableux très acides et pauvres en azote, SOM et phosphore assimilable. Suite à une convention entre le PNRM et l'IRD (Roose et al., 2005), cinq ravineaux (Surface= 67 à 130 m<sup>2</sup>) ont été isolés sur un versant de lave acide décapée jusqu'à l'altérite (ocre, blanche et rouge). Une fosse de 1m<sup>2</sup> a permis de capter les terres de fond érodées, une partie du ruissellement et de sa charge en suspension fine, en vue d'estimer le potentiel d'érosion de ces terres nues (120t/ha/an selon le modèle USLE) et l'efficacité d'une technique écologique de restauration (épandage d'une litière de bagasse de canne à sucre (2 à 3cm). Durant 3 années peu pluvieuses (1500 à 750 mm), le paillage a réduit l'érosion à néant (au lieu de 25 à 39t/ha/an) et le ruissellement de 50% (Cram de 11 à 32% et CRmax de 20 à 40% sur sol nu) sur ces pentes raides (45 à 60%). Cependant la troisième année, le paillis étant en grande partie minéralisé, l'érosion a réapparu progressivement (4 à 20 t/ha en fonction du couvert végétal développé par les herbes naturelles et les arbustes plantés). Pour prendre le relai du paillis, quatre espèces locales d'arbustes ont été plantées dans des cuvettes (40x40 cm). Tous ont souffert de la sécheresse exceptionnelle de ces trois étés mais surtout les *Courbaril* (...) et les *Poiriers* (*Tabebuia heterophylla*). Les *Zicaques* (*Chrysobalanus icaco*) ont relativement bien résisté, de même que les *Acacia farnesiana*, touffes basses poussées naturellement. Les boutures de *Gliricidia sepium* qui ont trouvé une fissure et un peu de terre ont bien poussé, mais le couvert des arbustes au bout de 3 ans n'excédait pas dix %. Un tiers des potets n'a reçu que des roches pourries et le paillis : tous les plants sont morts (milieu trop pauvre et trop acide). Le deuxième tiers a reçu dix litres de compost et les plants ont mieux résisté à la sécheresse. Enfin les plants ont mieux poussé dans le 3<sup>ème</sup> tiers qui a reçu dix litres de compost + NPK. Plus de 50% des plants sont morts, soit qu'ils ont reçu beaucoup trop de paillis, beaucoup d'eau, soit que les sols étaient très érodés : de plus les *Cassythes*, parasites couvrant la canopée, ont encore affaibli les jeunes plants. Bien que la bagasse ait été offerte gracieusement par l'usine la plus proche, le transport de 50t/ha de bagasse humide sur 10km et surtout sa répartition sur ces pentes abruptes a coûté 7000 €/ha. Il faudrait donc envisager de réduire le volume de litière en l'épandant en ligne sous les plantations, de mécaniser l'épandage et de sélectionner des espèces végétales mieux adaptées à ce milieu très pauvre : mais la restauration du couvert végétal est possible par ce système de gestion intégrée de l'eau et des sols.

En conclusion, si les pressions socio-économiques sont fortes et durables, les populations rurales développent des techniques complexes capables d'accélérer l'altération des roches et la construction de nappes pédologiques en conjuguant diverses actions biologiques aux apports minéraux et organiques permettant aux cultures de se développer.

## **Méthodes traditionnelles de réhabilitation de sols dégradés**

### ***La jachère***

La méthode la plus courante pour restaurer la fertilité des champs devenus improductifs est la jachère longue où les graminées restaurent la structure du sol grâce au chevelu racinaire qui emballé chaque agrégat et aux racines profondes des arbres/arbustes qui ramènent en surface (litière) les nutriments emportés par les eaux de drainage (Floret et Serpantié, 1991). Pour faire face à la pression démographique, les paysans ont développé des jachères fourragères courtes dont une partie de la production de biomasse est exportée mais les racines et les

souches restent sur place. Une étape supplémentaire a été franchie quand on a choisi des légumineuses et autres plantes qui fixent l'azote de l'air et protègent efficacement la surface du sol contre les pluies et le soleil (Roose, 1991).

*Au sud du Bénin sur les terres de barre*, dans une zone à forte population, la rotation entre le maïs en première saison des pluies et une jachère courte (8 mois) à *Mucuna pruriens*, replantée en maïs dès l'année suivante, a permis de réduire le ruissellement et l'érosion, de relever le taux de SOM et les rendements de 0.2 à 2.8t/ha/an de maïs-grain (Azontonde, 1993). Selon l'aridité du milieu, la richesse minérale des roches et l'état de dégradation, la réhabilitation de la productivité du sol par la jachère prend 10 à 50 ans, mais en la protégeant on peut réduire ce temps à moins de 2 ans.

#### ***La restauration des sols ferrallitiques acides par le paillage des bananeraies***

*Au Burundi central (Station de Mashitsi)*, suite à trois années de mesure de l'érosion en parcelles (300 m<sup>2</sup>), on a testé l'arrière effet de l'érosion cumulée de 0,1 t/ha/3 ans après paillage complet, 17 à 54 t/ha après bananeraies denses à lâches, et 154 t/ha/3ans sur sol nu sans paillage. La 4<sup>ème</sup> année, on a subdivisé en quatre chaque parcelle et semé du maïs uniformément. Le bloc témoin n'a reçu aucun nutriment : on n'a pas récolté de grain après sol nu, 600 kg/ha sous bananeraie et 1500 kg/ha de grain après paillage complet (comme après défrichement de la forêt primitive). L'érosion a donc des arrière effets sur le potentiel de production du sol les années suivantes. Sur les trois autres blocs, on a testé trois techniques de restauration de ces sols acides dégradés par divers niveaux d'érosion sélective en nappe : R1 = 20t/ha de fumier frais, comme font les paysans, R2 = 10t de fumier + NPK complémentaires et R3 = idem + 200 kg/ha de chaux pour réduire l'acidité et la toxicité aluminique du sol. Sur la parcelle la plus dégradée, le rendement maximal fut 500 kg/ha de maïs. Sur la parcelle la mieux protégée, on a récolté 3000 kg/ha de grain après fumier et 4000kg/ha après fumier + NPK complémentaire. Sous bananeraie à paillage intermédiaire, les rendements furent aussi intermédiaires. Curieusement sur ces sols très pauvres, l'apport de chaux a eu un effet dépressif sur les rendements et sur le phosphore assimilable. L'érosion en nappe a donc un effet durable sur la productivité des sols (Rishirumuhirwa, 1993). L'apport de MO et d'une fumure minérale complémentaire adaptée à la plante cultivée permet de multiplier par 8 le rendement en grain de maïs. Voir figure 1.

Au Rwanda (stations de Rubona et de Butare), sur le même type de sol et des pentes de >25%, des haies vives d'arbustes légumineuses (*Calliandra et Leucaena*) ont réduit le ruissellement (Cram<2%) et l'érosion (E<2t/ha/an) et apporté 100 kg/ha de N, dix kg/ha de P, et environ 40 kg/ha de Ca+Mg+K. Mais, malgré la bonne conservation de l'eau et des sols, le rendement des cultures (maïs et haricots) n'a progressé qu'à partir du moment où on a rajouté du fumier de ferme ou du NPK minéral. On constate donc que certaines cultures bien soignées peuvent réduire l'érosion sans pour autant donner plus de grains (Roose, Ndayizigiyé et Sekayangé, 1993 ; König, 2005).

#### ***Restauration des sols ferrugineux sableux en zone soudano-sahélienne***

*Au Nord Cameroun sur sol ferrugineux sableux*, la gestion des résidus enfouis par le labour n'a guère amélioré l'infiltration, ni les pertes en terre : en 4 ans, l'érosion cumulée sur un sol de 2% de pente atteint 160t/ha (10 mm) sur parcelle nue, 90 t/ha/4ans (6mm) sur rotation maïs-coton après labour annuel, et 30 t/ha/4ans (2mm) sous les mêmes cultures maïs sans labour. La 5<sup>ème</sup> année, on a semé partout du maïs et observé ici aussi l'arrière effet de l'érosion en nappe sélective : pour une différence d'érosion en nappe de 4 mm, les rendements ont baissé de 40% par rapport au système de semis direct sur litière. On atteint la même différence sur des parcelles voisines où l'on avait décapé (non sélectivement) 4 cm :

l'érosion en nappe sélective est donc dix fois plus efficace qu'un simple décapage non sélectif (l'érosion en rigole ou en masse).

Par ailleurs, l'apport de 3t/ha/an de fumier de chèvre et du complément minéral indispensable a permis de produire 1.8 t/ha de coton grain et 4 t/ha/an de maïs sur des sols sableux dégradés par 30 années de culture avec labour. Des rendements semblables ont été obtenus après jachère de légumineuse (*Mucuna pruriens*), complément de fertilisation minérale et travail du sol limité à la ligne de plantation. La restauration de la productivité de ces parcelles sableuses abandonnées est remarquable.

#### ***La restauration des sols en zone soudano-sahélienne par le Zaï***

Après 10 à 15 ans de culture extensive et labour, le sol nu épuisé est abandonné. Il se couvre alors d'une épaisse croûte d'érosion quasi imperméable qui empêche la régénération de la végétation par la jachère: plus de 20% des terres cultivables sont ainsi désertifiées en pleine zone soudano-sahélienne : plus rien n'y pousse malgré 400 à 800 mm de pluie en 4 à 6 mois. Ce sont ces «zipellés» qui sont récupérés lorsqu'on manque de terre. En pleine saison sèche, les sans terres y creusent de 8 à 12 000 petites cuvettes de 20 cm de profondeur, 40 cm de diamètre dont la terre est disposée en demi-lune en aval. Le paysan y enfouit 1 à 3 t/ha de fumier (en général des poudrettes de caprins) ou à défaut de résidus organiques et sème en sec 10 à 15 graines de sorgho ou de mil (assez pour soulever la croûte qui va se produire au fond de la cuvette). Aux premières pluies, les cuvettes vont capter le ruissellement et sa charge en nutriments et stocker une grande poche d'eau dans le sol permettant aux plantes de tenir trois semaines sans pluie. Dès la première année, le champ produit autant que la moyenne régionale (600 kg/ha), mais avec un complément de N60+P30, on peut atteindre 1500 kg soit 8 fois la production sans Zaï (Roose et al., 1993).

## **Conclusions**

### ***Les 5 règles pour restaurer rapidement la productivité d'un champ***

Il est possible de restaurer rapidement la capacité de production des sols en respectant certaines règles :

1. capter le ruissellement par un dispositif adapté : haies, cordons de pierres, paillis, Zaï, etc. ;
2. recréer la macroporosité et la structure du sol par un travail profond enfouissant des MO ;
3. revivifier l'horizon de surface par du compost, fumier, litière, légumineuses rampantes ;
4. corriger le pH du sol jusqu'à 5 pour supprimer la toxicité aluminique (cendres, résidus) ;
5. nourrir les plantes cultivées en rendant le stock de nutriments assimilable (MO, purin, feu, litières) et compléter les besoins de la plante par des apports minéraux raisonnés.

L'investissement indispensable pour restaurer le sol (travail, fumure organique et minérale) ne sera accepté que si les bénéfices le justifient et sous la pression socio-économique, sans quoi les paysans reviennent à aux jachères traditionnelles et aux cultures extensives.

Il est temps de réorienter les recherches vers les solutions à la dégradation des sols et à les adapter localement aux milieux et aux besoins des paysans.

Nous invitons nos collègues d'Asie et des régions tropicales à revisiter les techniques traditionnelles, à tester leur amélioration en intégrant nos connaissances modernes sur la fertilisation, la gestion de la flore, faune et microflore, les ressources génétiques et la diversité biologique plutôt que de s'éterniser sur les techniques mécaniques pour lutter contre l'érosion et le ruissellement.

## Bibliographie

- Aronson J., Floret C., Le Floc'H E., Ovalle C., Pontanier R., 1993. Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. I. A view from the South. *Restoration Ecology*, 1, 1 : 8-17.
- Azontonde A., 1993. Dégradation et restauration des terres de barre (sols ferrallitiques faiblement désaturés argilo-sableux) au Bénin. *Cahier ORSTOM Pédol.*, 28, 2 : 217-226.
- Boli Z. et Roose E., 1996. Dégradation & restauration of a sandy alfisol under cotton/maize intensive rotation in the sudano savannah of northern Cameroun. In "Towards sustainable land use: furthering cooperation between people and institutions" 9<sup>th</sup> ISCO Conference, Bonn, Germany, 281-282.
- Collinet J., Mazariego M., 1993. Réhabilitation de sols volcaniques dégradés à l'aide d'amendements organiques au Salvador (Amérique Centrale). *Cahier ORSTOM Pédol.*, 28, 2 : 187-202.
- DeNoni G., Janeau, Viennot M., et al ...
- Koenig D., 2005. Agroforesterie au Rwanda : efficacité et limites. In «Erosion et GCES ». Journées Scientifiques AUF, Antananarivo : 37-40.
- Floret C et Serpantié G. 1991. La jachère en Afrique de l'Ouest. Edition ORSTOM, série colloques et séminaires , Montpellier, 494 p.
- Quantin P., Prat C. Zebrowski, 1993. Erosion et restauration des sols volcaniques indurés « Tepetates » de la région de Mexico et de Tlaxcala, Mexique. *Cahier ORSTOM Pédol.* 28, 2 : 175-186.
- Rishirumuhirwa Th., Roose E., 1998. Arrière effets de l'érosion et des fumures organiques et minérales sur la réhabilitation des sols acides (Burundi). *Bull. Réseau Erosion* 18 :315-322.
- Roose E., 1991. Capacité des jachères à restaurer la fertilité des sols pauvres en zone soudano-sahélienne. In »La jachère en Afrique de l'Ouest » C. Floret et G. Serpantié, édit. scient. , Edition ORSTOM, série colloques , Montpellier, 494 p.
- Roose E., 1993. Innovations dans la conservation et la restauration des sols. *Cahier ORSTOM Pédol.*, 28, 2 : 147-156.
- Roose E., Kabore V., Guénat C., 1993. Le Zaï: fonctionnement, limites et améliorations d'une pratique africaine de réhabilitation de la végétation et de la productivité des terres dégradées en région soudano-sahélienne (Burkina Faso). *Cah.ORSTOM Pédol.*, 28, 2 : 159-173.
- Roose E., Ndayizigiye F., Sekayange L., 1993. L'agroforesterie et la GCES au Rwanda. Comment restaurer la productivité des terres acides dans une région tropicale de montagne à forte densité de population. *Cah.ORSTOM Pédol.*, 28, 2 : 327-350.
- Roose E., 1994. Introduction à la GCES. *Bulletin FAO des Sols*, Rome, n°70, 420 p.
- Roose E., Ndayizigiye F., 1996. Agroforestry & GCES in Rwanda. *Soil Technology*, 11, 1 :109-119.
- Roose E., Sabir M., De Noni G., 2002. Les techniques traditionnelles de GCES en milieu méditerranéen. *Bull. Réseau Erosion* 21 : 524 p.
- Roose E., Barreteau D., 2003. Erosion et environnement à la réserve naturelle de la Caravelle, Martinique. *Antilla*, 1030 :18-19.
- Roose E., Vernière N., Laune P., 2004. Lutte antiérosive et revégétalisation assistée d'un versant décapé de la Réserve Naturelle de la Caravelle (Martinique). C.R final de la convention PNRM-IRD, exposé de 30 diapositives.
- Roose E., Barthès B., 2006. Soil carbon erosion and its selectivity at the plot scale in Tropical and Mediterranean regions. In "Soil erosion and carbon dynamics", Roose E., Lal R., Feller C., Barthès, B Stewart eds., *Advances in Soil Sciences?* CRC Press, Boca Raton, Floride, pp 55-72.
- Seignobos C., 1998. Pratiques antiérosives traditionnelles : l'élaboration des terrasses des monts Mandara et la récupération des terres hardé (Nord Cameroun). *Bull. Réseau Erosion* 18 : 300-305.
- Smolikowski B., 1993. La GCES, une nouvelle stratégie de lutte antiérosive en Haiti. *Cahier ORSTOM Pédol.* 28 : 229-253.