

Evolution historique des stratégies de lutte antiérosive.

Vers la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols :

(GCES)

par

Eric ROOSE

Directeur de recherche en Pédologie au Centre IRD, B.P. 5045, F 34032 Montpellier, France.

Fax : (33).467.41.62.94 : Email : roose@mpl.ird.fr

Résumé

Toutes les sociétés rencontrent des problèmes de dégradation du milieu par divers types d'érosion et ont tenté d'y porter remède par des stratégies traditionnelles adaptées aux pressions foncières en aménageant les eaux de surface pour améliorer la productivité des sols et stabiliser les versants. Leur abandon ne signifie pas leur manque d'efficacité antiérosive, mais l'évolution des conditions socio-économiques du milieu.

Depuis l'ère industrielle, les états centralisés ont dépêché leurs ingénieurs en milieu rural pour tenter de réduire les nuisances de l'érosion sur la qualité des eaux de surface et la protection des équipements industriels ou urbains. A l'occasion de crises économiques et environnementales, ont été créés des stratégies d'équipement en hydraulique agricole : la RTM en 1850 dans les Alpes et Pyrénées, la CES en 1930 dans la Grande Plaine américaine, puis la DRS (1940-80) dans les montagnes qui entourent la Méditerranée.

Au séminaire de Porto Rico (1987) furent étudiées les multiples causes des échecs des projets comportant un important volet de LAE : les causes essentielles de l'abandon des structures mécaniques fut l'absence de participation des bénéficiaires et leur inefficacité sur la productivité des terres. Une nouvelle stratégie (Land husbandry ou GCES) fut donc proposée qui tente de mieux prendre en compte les préoccupations immédiates des paysans : assurer leur survie, en valorisant la terre et le travail. C'est une véritable révolution pour les conservationnistes qui entraîne la modification des priorités. 1. D'abord améliorer la gestion des bonnes terres qui réagissent le mieux aux investissements avant de s'occuper « des terres mortes » qui exigent un très gros effort pour les régénérer. 2. Engager un dialogue entre les techniciens et les paysans dès le début des projets sur la perception par les paysans des problèmes et des solutions. 3. Rechercher de nouveaux systèmes de production en vue d'une gestion durable de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols. 4. Confier à une équipe spécialisée de l'Etat le traitement délicat de l'érosion catastrophique (ravines, mouvements de masse, inondations et aménagement des rivières), mais responsabiliser les paysans sur l'amélioration de l'environnement rural.

L'auteur présente enfin l'évolution des techniques de LAE en Afrique depuis la colonisation et rapporte les tendances actuelles dégagées lors du colloque de Yaoundé sur « l'homme et l'érosion ». D'une part l'influence de l'érosion est très néfaste sur la productivité des terres, mais d'autre part, la recherche développe des méthodes de lutte antiérosive simples et efficaces et propose des techniques pour restaurer la capacité de production des sols dégradés suffisamment épais. Sur le terrain on a tendance aujourd'hui à éviter les banquettes et autres interventions mécaniques, à structurer le paysage par de simples lignes de défense perméables orientant les travaux sans bloquer les eaux de surface et à développer des systèmes de culture à travail réduit du sol sous litière ou couverture pérenne de légumineuses. Pour avancer des solutions adaptées aux multiples problèmes posés par le développement durable il est recommandé à la recherche de coopérer étroitement avec les projets de gestion de terroirs.

Mots-clés : Stratégies de lutte antiérosive, RTM, CES, DRS, GCES, évolution historique.

1. Introduction : diversité des causes physiques et humaines de l'érosion

Au commencement du monde, la terre et l'eau étaient intimement unis : de cette union est née toute vie. C'était il y a 4,5 milliards d'années. Mais leur histoire allait connaître deux séries de crises, l'une géologique et l'autre, beaucoup plus tardive, d'ordre démographique.

* D'une part, quand la terre a commencé à migrer en plaque, elle a provoqué la création de montagnes et des cycles d'érosion active (phase de rhexistasie de la théorie d'Erhart, 1955) suivis de périodes " d'érosion normale " ($E = 0.1 \text{ t/ha/an}$) où le décapage moyen ne dépasse pas 1 mètre en 100 000 ans, sous un couvert naturel. De ces alternances entre morphogenèse et pédogenèse nous avons hérité les paysages et les sols que nous rencontrons aujourd'hui.

* D'autre part, ce n'est que beaucoup plus tard que les hommes et les animaux se sont multipliés au point de couvrir la majorité des terres arables. Le squelette de " Lucie " ne date que de 15 millions d'années et les grandes agglomérations de quelques millénaires. Ce n'est qu'au 20^{ème} siècle que l'Afrique a connu une croissance démographique formidable : la population a doublé tous les 25 ans, ce qui a entraîné des problèmes socio-économiques et environnementaux sans précédent. L'augmentation des besoins vitaux et sociaux a entraîné l'extension des défrichements pour les cultures et l'intensification du pâturage, qui à leur tour ont déclenché " l'érosion accélérée " ($E = 10 \text{ à } 700 \text{ t/ha/an}$) et le ruissellement exacerbé (il passe de 1% sous végétation naturelle, à 25 % sous cultures sarclées et peut dépasser 75 % lors des plus fortes averses). En une génération (25 ans) l'érosion peut décaper l'horizon humifère et causer l'abandon de la terre. Mais il arrive que l'érosion se développe encore plus vite. On parle " d'une érosion catastrophique " quand l'homme développe ses activités sur des terres particulièrement fragiles. Les paysages méditerranéens peuvent rester stables pendant des années jusqu'à ce qu'une averse rare sature le sol et provoque des ravinements (100 à 300 t/ha/jour) ou pire, des glissements de terrain (plusieurs milliers de m³ de boue en une heure) et des inondations brutales. Cet hiver dans l'Aude, département du sud de la France, il est tombé près de 600 mm en 3 jours inondant tout un département (35 morts et des milliards de dégâts) : toute l'économie a été désorganisée par une seule averse tombant dans une zone méditerranéenne, montagneuse, viticole et peu couverte.

En définitive, l'érosion reste encore mal connue et surtout mal maîtrisée car elle est discontinue dans le temps et dans l'espace. Les processus, les causes et les facteurs déterminant l'érosion étant très variables, il n'y a pas de recette généralisable de lutte antiérosive. Il ne s'agit pas seulement d'un simple problème technique, c'est aussi le signe de dégradation d'une société en mutation. La presse et les politiciens se mobilisent lors des catastrophes, mais négligent le travail de sappe des éléments qui, pluie après pluie, préparent les drames (Vogt, 1979). Dans cette synthèse seront présentés une analyse historique de l'évolution des stratégies de lutte contre l'érosion accélérée par les activités humaines dans le monde, un exemple de recherche en Algérie sur la nouvelle approche (GCES), puis l'évolution des techniques antiérosives en Afrique et enfin le bilan des nouvelles tendances telles qu'elles ont été exprimées au colloque international de Yaoundé en décembre 1999.

2. La mondialisation, une époque favorable aux remises en cause

2.1. L'érosion accélérée et la pression démographique

En agglomérant les peuples dans les villes, chaque civilisation a créé des conditions favorables au développement du ruissellement, à l'accélération de l'érosion et de la dégradation de la fertilité des sols. Les villes et les routes sont des milieux peu perméables qui accumulent les volumes ruisselés, accélèrent le ravinement, provoquent des inondations et des dépôts de boues. La demande urbaine en vivres entraîne l'extension des cultures sur des terres plus

fragiles, l'intensification des techniques culturales et l'augmentation des risques de dégradation des sols.

L'opinion générale pense qu'il y a des liens étroits entre la dégradation du milieu et la densité démographique (Projet Glasod). Cependant, on a observé qu'une diminution de la population suite à l'émigration ne réduit pas forcément l'érosion : le manque de main-d'œuvre pose des problèmes d'entretien des paysages et des dispositifs de gestion des eaux.

Certains pensent au contraire que plus la main-d'œuvre est abondante, plus les terres sont soignées et les risques d'érosion sont réduits ("more people, less erosion"). C'est le cas dans le pays bamileke au Cameroun (Fotsing, 1993), à Madagascar (Boissau, Locatelli & Weber, 1999), mais aussi au Kenya (Tiften et al., 1998), ou dans le midi de la France où les terrasses ne sont plus entretenues car le travail est mieux rémunéré en ville.

Le schéma de la figure 1 montre que la relation entre la densité de la population et l'érosion n'est pas linéaire. En Afrique Roose (1994) a observé des états de crise environnementale pendant laquelle la vie est si dure que la population est obligée de choisir entre l'émigration vers des lieux plus cléments, ou la modification du système de production légué par les ancêtres. Il s'en suit une succession de périodes de crise et de périodes plus stables, où se succèdent des systèmes de production adaptés à chaque situation foncière. A chaque stade correspondent un mode de gestion des ressources en eau, en bois, en énergie, en nutriments, en bétail, en cultures. On part d'un milieu naturel riche en diverses ressources qu'on exploite et épuise progressivement, avant de réintroduire des ressources artificielles.

2.2. Face aux crises d'érosion, deux logiques

Pour surmonter ces crises, les sociétés ont développé des stratégies de lutte antiérosive en fonction de deux logiques :

- **une logique amont partagée par les paysans** dont l'objectif est d'améliorer la productivité de la terre et du travail, en adaptant les systèmes de production et en développant des stratégies traditionnelles de gestion de l'eau sur le versant, en concentrant la biomasse et la fertilité sur les terres cultivées et en protégeant les sols contre divers types d'érosion.
- **une logique aval, partagée par les consommateurs d'eau**, les citadins et les industriels.

Leur objectif est de protéger la qualité des eaux et les aménagements. Pour le bien public, le pouvoir central envoie ses ingénieurs pour imposer dans les campagnes des équipements hydrauliques (barrages, terrasses, banquettes, drains) dont l'objectif principal est de réduire les transports solides et de protéger la qualité des eaux et les équipements (aménagements des vallées, le réseau routier, les ouvrages d'art et les villes).

2.3. Actuellement, le monde est en pleine mutation économique

La mondialisation qui provoque actuellement la restructuration de l'économie, entraîne à sa suite une crise sociale et environnementale : c'est une époque de remise en cause favorable à l'évolution des mentalités et à la réflexion sur la gestion des ressources au niveau du terroir, des régions et ensembles de régions.

3. Evolution des stratégies antiérosives dans le monde

Toutes les civilisations ont rencontré des problèmes de dégradation des terres : devant ces crises, les hommes ont réagi selon les conditions socio-économiques de l'époque.

3.1. Les stratégies traditionnelles liées aux conditions climatiques et économiques.

Depuis 7000 ans, l'homme a accumulé des vestiges de sa lutte pour maîtriser les différentes formes d'érosion et améliorer la gestion de l'eau sur les versants et la fertilité des

sols (Lowdermilk, 1953). L'analyse de la répartition spatiale des systèmes de lutte et des causes de leur disparition montre que l'efficacité des méthodes traditionnelles est strictement liée aux conditions économiques des sociétés où elles se sont développées.

Deux exemples illustreront cette hypothèse :

- **La culture itinérante sur brûlis** est probablement la plus ancienne stratégie utilisée sur tous les continents pour maintenir la productivité de la terre et du travail (Jurion et Henry, 1967 ; FAO, 1973 ; Levang, 1984 et 1997). Pour que ce système reste équilibré (brève culture sur brûlis de la biomasse, suivie d'une longue jachère), il faut une réserve de terre considérable (10 à 20 fois la surface cultivée) et une économie d'autosubsistance. Cette stratégie ne s'applique que sur des terres peu peuplées (moins de 20 à 40 habitants au kilomètre carré selon la productivité régionale), suffisamment profondes et arrosées. Dès que les besoins vitaux et la pression foncière augmentent, la durée de la jachère diminue et le système commence à se dégrader. (voir au Sahel et dans le Rif).
- A l'opposé se sont développées les **terrasses en gradins** irrigués (2000 ans avant J.C. en Asie) et les terrasses méditerranéennes sur murettes en pierres (1000 après J.C. en Crète) là où la population est dense, les terres cultivables rares et le travail bon marché. Comme ces aménagements exigent un gros effort pour la construction des terrasses (700 à 1200 hommes. jours /ha), pour l'entretien des talus et la restauration de la fertilité des sols remués, il faut que la production soit rentable ou vitale. Ces améliorations foncières ne sont acceptées que là où les paysans n'ont plus d'autre choix pour subsister (pressions foncières, militaires, religieuses ou économiques) ou pour produire des cultures particulièrement rentables (fleurs à Nice ou cannabis dans le Rif).

Mais actuellement, la mécanisation de l'agriculture, les salaires dans l'industrie, la crise économique, le coût de la main-d'œuvre, l'émigration et la désintégration des sociétés traditionnelles entraînent l'abandon de la plupart de ces techniques anciennes, décrites par les ethnologues, mais méprisées par les technocrates (Critchley et al., 1992). Ce n'est pas parce qu'elles sont inefficaces que ces techniques sont abandonnées, mais à cause du changement des conditions socio-économiques ou démographiques. En un siècle, la population a quintuplé, malgré les guerres, et les besoins sociaux ont augmenté plus vite encore.

3.2. Les stratégies modernes d'équipement des montagnes : la logique de l'Etat.

A l'occasion de graves crises sociales se sont développées des stratégies modernes d'équipement hydraulique des montagnes. Il s'agit essentiellement de reforestation des hautes vallées, d'améliorations foncières, de correction des torrents et ravins et de terrassement des terres cultivées sur fortes pentes. La priorité a été donnée à la réalisation de gros chantiers de terrassement et de reforestation.

1/ La Restauration des terrains en montagne (RTM) a été développée en France vers les années 1850, pour faire face à la crise d'érosion due aux montagnards qui ne pouvaient survivre sans mener leurs troupeaux sur les terres communales déjà surpâturées. La dégradation des couvertures végétales et le tassement des sols par le bétail ont entraîné le développement catastrophique des torrents. Pour protéger les vallées aménagées et les voies de communication des masses de terre mobilisées par ceux-ci, l'Office National des Forêts a racheté les terres dégradées, reconstitué la couverture végétale et corrigé les torrents (Lilin, 1986).

2/ Aux Etats Unis d'Amérique, le Service de conservation de l'eau et des sols (CES) a été créé lors de la terrible crise de 1930, pour conseiller les fermiers volontaires qui demandaient aux agronomes un appui technique et financier pour lutter contre l'érosion. En effet, l'extension rapide des cultures industrielles peu couvrantes (coton, arachide, maïs) dans la Grande Prairie a déclenché une érosion éolienne catastrophique.

Des nuages de poussières obscurcirent le ciel en plein jour ("dust bowl") : 20 % des terres cultivables furent dégradées à cette époque. Sous la pression de l'opinion publique, l'Etat a dû réagir et mettre en place simultanément un programme de recherche et un service de conservation de l'eau et des sols (SWC Service) au niveau de chaque comté.

Deux écoles s'affrontent encore de nos jours sur l'approche des problèmes de LAE :

- l'une, sous l'impulsion de Bennet (1939) organise la LAE autour des moyens mécaniques de **réduction de la vitesse et de l'énergie du ruissellement** pour réduire le ravinement (invention des terrasses de diversion du ruissellement vers des exutoires enherbés, technique validée uniquement sur les sols argilo-limoneux) ;
- l'autre, à la suite des travaux de Ellison (1944) sur la **battance des gouttes de pluie** et des équipes de Wischmeier et Smith (1960), organise la LAE en modifiant les systèmes de culture pour **absorber l'énergie des pluies** sur les champs en améliorant le couvert végétal (Stallings, 1953) et la rugosité de la surface du sol. Pour réduire le ruissellement dès son origine, la réflexion intéresse cette fois le développement de la couverture végétale, la gestion des résidus de culture et les techniques culturales conservatrices.

3/ La Défense et Restauration des Sols (DRS) a été développée par les forestiers dans les années 1940-80 autour du bassin méditerranéen pour faire face à de graves pénuries d'eau, à l'envasement rapide des barrages (en 30 à 50 ans) et à la dégradation des équipements et des terres. La DRS est née d'un mariage de raison entre la RTM des forestiers (reforestation des hautes vallées, correction torrentielle) et la CES des agronomes (banquettes plantées d'arbres fruitiers). Pour les forestiers, il s'agissait avant tout de mise en défens des terres dégradées par la culture et le surpâturage, de reforester les hautes vallées pour restaurer par les arbres la capacité d'infiltration des sols dégradés. "Tous les problèmes ne naissent-ils pas du surpâturage et du défrichement abusif" ? (Putod, 1958, Plantié, 1961, Monjauze, 1962, Gréco, 1978).

Cependant, depuis les années 1975, de nombreuses critiques se sont élevées pour constater l'échec fréquent des démarches technocratiques menées trop rapidement, sans l'avis des "bénéficiaires". Aux USA, malgré 50 ans de travaux remarquables des services de CES et les millions de dollars investis chaque année, 25% des terres cultivées perdent encore plus de 12 t/ha/an de sédiments (limite de tolérance pour les sols profonds) qui viennent polluer les eaux des barrages (Lovejoy & Napier, 1976 ; Hudson, 1991). Si la fréquence des vents de sable a été réduite aux USA, la pollution des eaux, les inondations et l'envasement des barrages posent encore aujourd'hui de graves problèmes. En Algérie, malgré 800 000 ha de reforestation (ceinture verte) et l'aménagement de banquettes sur 350 000 ha cultivés, la dégradation de la végétation et des sols continue, l'envasement des barrages et le manque de bois restent des problèmes préoccupants. En Afrique de l'Ouest et du Nord, des paysans préfèrent parfois abandonner leurs terres aménagées par l'Etat plutôt que d'entretenir les banquettes antiérosives car ils craignent qu'il ne s'agisse d'un piège dressé par l'administration pour s'emparer de leurs terres (Heusch, 1986). Les paysans ont vite constaté que ces banquettes faisaient perdre 5 à 15 % des surfaces cultivables, sans augmenter pour autant les rendements des parcelles restantes : celles-ci continuent d'ailleurs de se dégrader par l'érosion en nappe. On comprend que les paysans se méfient des projets de LAE qui leur causent plus de gêne que de bénéfices. "Pourquoi fournir tant d'efforts, pour si peu de bénéfice sur la production ?

3.3. La GCES, une stratégie participative visant à mieux gérer les ressources en eau, en biomasse et en nutriments

Au séminaire de Porto Rico (Moldenhauer & Hudson, 1989), furent analysées les causes de l'échec ou des réussites des projets englobant un large volet de LAE. Une nouvelle stratégie y est née qui tient mieux compte des besoins immédiats des paysans et des éleveurs.

Elle tente de résoudre leurs problèmes immédiats : valoriser la terre et le travail des ruraux en améliorant le système de culture, en particulier, l'infiltration de l'eau, l'enracinement et la nutrition des plantes.

Cette approche a été nommée "Land husbandry" par les anglophones (Shaxson et al., 1988 ; Hudson, 1992) et "Gestion Conservatoire de l'Eau, de la biomasse et de la fertilité des Sols" (GCES) en français (Roose, 1987, 1994).

Partant du principe que les aménagements antiérosifs ne peuvent être durables sans la participation paysanne, cette stratégie tient compte de la façon dont les ruraux perçoivent les problèmes de dégradation des sols et propose l'intensification de la productivité des terres pour faire face à la croissance démographique. En effet, le défi à relever est de doubler la production en 20 ans, tout en réduisant significativement les risques de ruissellement et d'érosion.

Il s'agit d'intégrer la mentalité paysanne pour laquelle tout effort doit être payé de suite. Il n'est plus acceptable de proposer des travaux lourds de conservation des sols sur les terres ravineées, d'une part parce que bien des sols tropicaux cultivés sont déjà épuisés (il est trop tard pour les conserver : il faut restaurer leur potentiel de production), et d'autre part, parce que la demande de produits de consommation ne peut plus attendre des hypothétiques effets à long terme : la population rurale est trop pauvre et il faut répondre à sa préoccupation immédiate (sa survie).

Les résultats récents ont bien montré qu'il ne suffit pas de réduire le ruissellement et de conserver l'épaisseur des sols pour intensifier, ni même maintenir la productivité des terres (Roose et Ndayiziguié, 1995). De même, tenter de restaurer les propriétés primitives des sols ne nous paraît pas raisonnable car le temps à patienter et le prix à investir sont trop élevés et peu rentables : en effet les sols tropicaux vierges ne sont pas forcément riches et fertiles. Mieux vaut donc améliorer l'état structural de l'horizon où vivent les racines et nourrir directement les cultures. Les terrassements exigent des travaux considérables pour leur mise en place (de 250 à 1200 jours de travail/ha) et leur entretien (10 à 40 jours/ha/an), mais ils n'ont pas amélioré la productivité des sols ni même réduit leur vitesse de dégradation : l'érosion en nappe et rigole n'est pas interrompue par les fossés et autres terrasses. Par contre on peut observer que les fossés accélèrent la concentration des eaux de surface dans les drains naturels (développement de ravines) et dans les rivières et provoquent généralement une recrudescence de l'érosion des berges en fonction des nouveaux débits de pointe (Roose, 1986).

Dans le cadre de la GCES, la nouveauté consiste justement à gérer au mieux les terres productives, l'eau, la biomasse et les nutriments essentiels au développement harmonieux des cultures. L'intensification de la production augmente la couverture végétale, la biomasse racinaire et les résidus de culture, l'activité de la faune perforatrice du sol et la rugosité de la surface des champs : elle réduit indirectement les risques de ruissellement et d'érosion. La lutte antiérosive cesse d'être une fin en soi, mais elle fait partie du paquet technologique qui permet d'assurer la gestion durable de la couverture pédologique.

Les stratégies d'équipement ont concentré leur priorité sur l'aménagement des terres les plus dégradées d'où proviennent la majorité des sédiments qui polluent les eaux indispensables aux consommateurs des villes. En créant des banquettes sur les plus mauvaises terres, on ne réduit pas les causes de l'érosion. Les enquêtes en Haïti ont montré que les paysans préfèrent investir d'abord dans leurs terres productives pour tirer le meilleur revenu de leur améliorations foncières. "Mieux vaut prévenir que guérir" et l'expérience de 50 ans de CES+ DRS a montré que l'on n'arrive pas à éteindre les foyers d'érosion.

En conclusion, on ne dispose que d'une dizaine d'années d'expérience en matière de GCES, mais cette stratégie a montré de grandes potentialités dans des régions très variées, du nord de la France (Roose et al., 1983) au Sahel (Cap Vert : Smolikowski, 1997), des savanes soudaniennes (Burkina Faso : Roose et al., 1993) aux montagnes tropicales Rwanda

(Ndayiziguyé, 1992), Burundi (Rishirumuhirwa, 1993), Haïti (Smolikowski, 1993) des montagnes méditerranéennes (Algérie : Roose, Arabi et al., 1993), aux zones volcaniques (Equateur, de Noni et al., 1993).

Cette approche interpelle les paysans car elle s'appuie sur les techniques traditionnelles, exige leur conviction et la recherche en commun de solutions adaptées au diagnostic local et aux possibilités économiques de chacun. Elle valorise les capacités d'innovation des chercheurs et des paysans. Elle exige du temps car il faut changer la mentalité d'assistés en volonté de prise en charge communautaire de l'environnement rural. Cela peut poser des problèmes avec les bailleurs de fonds qui exigent de voir des transformations rapides du paysage en quelques années.

C'est encore un vaste domaine de recherche car la diversité des systèmes de production, des problèmes économiques et des milieux physiques est infinie. De plus on est loin de connaître la diversité des paramètres modifiant l'intensité ou même le type d'érosion, ou l'efficacité des techniques antiérosives sur le rendement des cultures et des associations de cultures. En définitive, on peut distinguer deux domaines dans la LAE : celui de l'Etat qui continue à financer la RTM et les catastrophes naturelles, et le domaine de la gestion du terroir qui est du ressort des paysans qui doivent adapter les systèmes de production.

4. Exemple de GCES en moyenne montagne méditerranéenne d'Algérie.

4.1. Le défi algérien des années 1985-95.

Depuis les années 1950, des pressions démographiques et socio-économiques ont contribué à développer une sévère dégradation de la couverture végétale, des sols et du réseau hydraulique des montagnes septentrionales de l'Algérie. Les processus en cause sont multiples : défrichement des pentes fortes pour étendre les cultures vivrières, surpâturage et feux dans les forêts méditerranéennes, faibles restitutions et minéralisation rapide des matières organiques du sol. L'érosion est partout présente : érosion en nappe sélective des particules fines les plus fertiles, décapage de l'horizon humifère par formation de rigoles et surtout par décapage mécanique par les outils de travail du sol ($E = 10$ à 50 t/ha/an), ravinement très actifs lors des averses de fréquence rare tombant sur des sols nus, travaillés et/ou saturés (100 à 300 t/ha/an), des glissements de terrains argileux, marneux ou schisteux, déstabilisation des berges par les oueds et des versants par le réseau routier.

Le challenge en 1985, période de récession industrielle, est de maintenir une population croissante en zone rurale, d'intensifier la production agricole et l'élevage en montagne semi-aride, tout en protégeant la qualité des eaux de surface et les barrages indispensables pour l'alimentation en eau potable des villes en forte croissance.

4.2. La recherche en coopération entre l'INRF et l'ORSTOM.

Les directeurs de l'Institut National de Recherches Forestières d'Algérie (INRF) et de l'Institut de Recherche pour le Développement (actuellement IRD) ont uni leurs moyens pour développer un programme de recherche sur la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols qui se décline en trois sous-programmes : enquête sur l'efficacité des aménagements antérieurs de DRS, quantification des processus d'érosion et aménagement de trois micro bassins cultivés.

En dix ans, une douzaine de chercheurs algériens et français ont réalisé une enquête sur l'état actuel des $350\,000$ ha aménagés par l'administration des Forêts, ont participé à l'aménagement d'une douzaine de ravines et microbassins versants et installé un réseau de dispositifs de mesure du ruissellement et de l'érosion (50 parcelles d'érosion de 100 à 200 m² dans les champs paysans) dans le Nord de l'Algérie (régions de Tlemcen, Mascara et Médéa).

Ce sont les résultats des parcelles de Médéa dont nous donnerons brièvement les résultats (Roose et al., 1993).

Ces parcelles aménagées au milieu des champs paysans reflètent la variabilité des sols (rouges fersiallitiques, bruns calcaires, vertisols gris, lithosols) sur pentes fortes (12 à 40 %), sous divers systèmes de production : système céréalier, arbres fruitiers, vigne, et sylvo-pastoral. Les pluies varient de 300 à 600 mm selon les années et les sites. Sur chacun des sites furent comparés une parcelle nue en jachère travaillée (témoin universel du modèle USLE de Wischmeier et Smith, 1960), un système traditionnel (témoin cultivé régional) et deux parcelles améliorées, soit par l'apport d'engrais adapté au niveau de production souhaité, soit par l'introduction de rotations de cultures complémentaires (céréales/légumineuses), travail adapté du sol (pas trop fin pour éviter la battance), pesticides et semences améliorées.

4.3. Quelques résultats des mesures

Les pluies ont été déficitaires (250 à 550 mm/an) et peu agressives (érosivité $R = 20$ à 50), mais on a pu observer quelques événements de fréquence rare (80 à 150 mm/jour) dans ces versants semi-arides.

Les coefficients de ruissellement annuels moyens sont faibles : 10 à 18% des pluies pour les jachères nues, 3 à 12 % pour les cultures vivrières traditionnelles et à peine 1% pour les systèmes améliorés. Lors des averses les plus importantes, le coefficient de ruissellement maximal atteint 34 à 80% sur sol nu, 26% sous témoin local et 3 à 9% sous culture améliorée. Il y a donc des méthodes culturales intensives qui peuvent réduire le ruissellement à des proportions raisonnables. Mais lorsque de longues averses abondantes et intenses tombent sur des sols peu couverts ou encroûtés, le ruissellement dévale avec beaucoup d'énergie et ravine les versants.

L'érosion en nappe et rigole reste modérée : 2 à 20 t/ha/an sur sol rouge nu, 0.1 à 2 t/ha/an sous système régional et moins de 0.1 t/ha/an sous système amélioré.

Le ravinement, mesuré par le suivi de sections transversales, varie de 100 à 300 t/ha/an

4.4. Discussion.

- Ces résultats confirment ceux que Heusch (1970) a trouvés jadis dans le Pré Rif marocain à savoir que l'érosion en nappe est modeste et le ravinement cent fois plus fort, que la position topographique est parfois plus importante que l'inclinaison de la pente, d'où l'érosion linéaire remontante, en particulier lorsque l'oued vient saper les berges.
- L'érodibilité des sols est réduite à cause de la présence de cailloux, d'une texture argileuse et d'argile saturée en calcium. Les sols rouges fersiallitiques sont plus fragiles que les sols bruns et que les vertisols gris. Ceci explique les paysages pentus qui ont bien résistés à l'agressivité des pluies.
- La couverture végétale des systèmes de culture a une forte action sur la réduction des risques de ruissellement et d'érosion, même lors des averses abondantes. On peut donc réduire efficacement les risques d'érosion en abordant en priorité ce facteur par l'intensification des cultures. Autrement dit, ce n'est pas la saturation du sol qui est la cause principale des transports solides, mais bien l'énergie des pluies plus ou moins bien interceptée par la litière et le couvert végétal : d'où l'intérêt de travailler les systèmes culturaux couvrant le sol plutôt que les fossés et autres drains capables de réduire la saturation du sol.
- Enfin le plus important pour les ruraux, c'est l'amélioration sensible des rendements des cultures en grains et en pailles (qui intéressent l'élevage). Le rendement du blé en grain sur des parcelles adjacentes est passé de 7 à 48 quintaux à l'hectare et la paille de 2 à 20 quintaux /ha/an en fonction de l'effort d'intensification. Plus le système de culture est

intensif, plus il est productif et moins il perd d'eau, de MO et de terre riche en nutriments. Mais c'est le revenu net qui intéresse en définitive le paysan, une fois soustrait le coût des intrants (mais pas du travail). La comparaison des systèmes de production montre qu'il est largement gagnant.

Tableau 1. Revenus nets en fonction des systèmes de production dans la région de Médéa
(D'après Arabi, 1991)

Systèmes de production.....	Revenus nets (\$/ha /an)
• Parcours extensif dans les bois communaux	25 \$
• Blé traditionnel, suivi d'une jachère pâturée.....	125 \$
• Vignoble traditionnel pour fruits de table	500 \$
• Rotation céréale blé / légumineuses (pois, lentilles, fèves..).....	1500 \$
• Vignoble ou fruitiers intensifs avec rotation intercalaire.....	3000 \$

On comprend dès lors que les paysans aient défriché les parcours pour produire des céréales, puis des fruitiers et enfin ont modifié d'eux même leur système de production, tout au moins avant les troubles dans la région de Médéa. Les vieux paysans nous ont d'ailleurs confirmé que les anciens pratiquaient déjà la culture intercalaire sous fruitiers (oliviers, figuiers et amandiers) : il leur manquait les engrais minéraux complémentaires et les variétés améliorées de semences valorisant les apports d'intrants.

D'autres exemples de recherche pourraient confirmer l'importance des systèmes de culture intensives et couvrants sur le ruissellement (Rishirumuhirwa sous bananiers au Burundi, 1997, Boli au Cameroun, 1993), mais c'est à Médéa que l'on a le mieux étudié les effets économiques de la maîtrise du ruissellement et de l'érosion à l'échelle du champ paysan.

5. Evolution des techniques de lutte antiérosive en Afrique.

5.1. Avant la colonisation occidentale

De nombreuses techniques traditionnelles de lutte antiérosive ont été décrites par les géographes, agronomes et autres administrateurs des colonies (Van den Abeele M., 1941 ; Harroy, 1944 ; Jurion et Henry, 1967, au Congo belge), ou plus récemment (El Amami en Tunisie, 1970, Critchley et al., 1992 ; Reij et al., 1997 ; Roose en Afrique occidentale, 1990). Signalons ici les techniques traditionnelles les plus connues :

- la culture itinérante sur brûlis (FAO, 1973 ; Levang 1984 ; Robinson & McKean, 1991),
- les techniques culturales permettant de maîtriser l'eau, les adventices et la fertilité des sols comme les diverses variétés de billonnage et de buttage (Roose, 1994) ;
- les divers modes de culture sous impluvium qui tentent de gérer le ruissellement : les microbassins du Neguev (Evenari et al., 1968), les tabias, les citernes et les jessour du Maghreb (El Amani, 1983 ; Bonvallot, 1986 ; Bourges et al., 1979), le Zaï dans la zone soudano-sahélienne du Burkina, Mali, Niger, Tchad, Madagascar (Roose et al., 1993, 1995) ;
- les haies vives défensives au Cameroun (Seignobos, 1999), Rwanda (Roose et Ndayizigiye, 1986, en Guinée (Diallo, 1994) et au Maghreb ;
- les terrasses progressives au Cameroun (Pontanier, 1988 ; Seignobos, 1999) et en Afrique occidentale (Roose, 1986) ;
- les terrasses en gradins (pays Dogon au Mali (Rochette, 1989) et Maghreb (Laouina et al., 1995 ; Reij et al. 1997) ;
- les paysages agroforestiers de la zone soudano-sahélienne (Acacia albida, Karite et Nere : Baumer, 1992) et les arganiers du sud marocain.

Une grande diversité de systèmes traditionnels ont été développés autour du désert pour capter les eaux de surface et de profondeur (Gosselin, 1939 ; El Amani, 1983, Roose, 1990)

5.2. L'époque coloniale

Les colonisateurs occidentaux ont imposé leurs stratégies de DRS ou CES, par des moyens de coercition tels que les populations se sont parfois révoltées (Kikuyus au Kenya) ; la LAE était à cette époque devenue un thème technique politiquement dangereux pour les leaders africains. Au Kenya furent imposés les terrasses de diversion, au Rwanda les fossés aveugles d'absorption totale ou les lignes d'herbes. Au Maghreb, les services de DRS ont imposé les banquettes d'absorption totale ou de diversion et la mise en défens des parcours et forêts dégradées. En Afrique et à Madagascar furent interdits les feux de brousse, si nécessaires pour les éleveurs.

5.3. Depuis l'indépendance

Au moment de l'indépendance, deux réactions divergentes ont été observées. Dans les pays où la LAE fait partie du service des Forêts très structuré comme l'Algérie, les projets de DRS ont continué à donner du travail à la population montagnarde, sans changer les méthodes. Ailleurs, la LAE a été simplement abandonnée, en réaction aux méthodes contraignantes et aux travaux forcés. Mais l'érosion ne s'est évidemment pas arrêtée pour raison patriotique !

Depuis les années 1980, de gros problèmes de dégradation de la productivité des sols se sont manifestés en même temps qu'une forte poussée démographique. Dans les pays à main d'œuvre abondante, on a observé une reprise des travaux de terrassement communautaire (ex. Chine, Rwanda), mais ces efforts n'ont que peu d'effets sur la production vivrière.

En 1987, le séminaire de Porto Rico apporte enfin une analyse critique des grands projets de LAE et propose une nouvelle orientation : développer en priorité des conditions favorables au développement des cultures sur les sols productifs et laisser aux Etats le souci de gérer les sédiments, de stabiliser les ravines et glissements de terrain et de traiter les catastrophes naturelles, qui échappent à la compétence et aux moyens ordinaires des paysans. En 1983-99 furent créés des réseaux de chercheurs, enseignants et développeurs, d'abord le Réseau Erosion à l'ORSTOM pour servir de lien scientifique entre les instituts français, ensuite le réseau GCES dans la région des Grands Lacs, en 1996 le réseau « Better land husbandry au Kenya » et enfin les réseaux GRES au Cameroun (1995), GCES au Mali et au Maroc (1999).

6. Les conclusions du colloque de Yaoundé (1999)

Du 9 au 18 décembre 1999, s'est tenu au Cameroun un colloque international sur l'impact des activités humaines sur les phénomènes d'érosion, en particulier en Afrique. Les 82 participants de 19 pays ont présenté 50 communications, 12 posters et 25 documents écrits faisant le point de la situation. Nous en avons tirés sept messages.

6.1. Les effets néfastes de l'érosion sont importants, mais rarement catastrophiques en Afrique, tant le décapage des champs érodés que les nuisances sur le réseau hydrographique. L'érosion en nappe est mal perçue des paysans, mais dangereuse car elle est dix fois plus dégradante que le décapage (- 30% de rendement pour 5 cm de décapage). Malheureusement, les praticiens attendent l'apparition de rigoles et ravines avant d'intervenir. L'expérience montre qu'il vaut mieux prévoir les risques de dégradation des bonnes terres (GCES) que de concentrer ses efforts sur les terres ravinées (DRS). Or, les ravines et les glissements de

terrain, fréquents sur fortes pentes, sont difficiles à maîtriser. Il manque de recherche sur les meilleures techniques pour aménager et réhabiliter les ravines et glissements de terrain.

6.2. Les recherches récentes ont montré qu'il est possible de réduire les risques d'érosion en modifiant les systèmes de production, en soignant la terre et les plantes, mieux qu'en multipliant les structures de drainage des eaux de surface. Mieux vaut disperser les eaux sur la surface rugueuse du champs que de concentrer leur énergie dans des canaux susceptibles de déborder en créant des ravines. Pour améliorer l'efficacité des techniques antiérosives, on évolue des banquettes et ados de terre imperméables, vers des « microbarrages perméables » (cordons de pierres, d'herbes ou d'arbustes) et plus récemment vers des systèmes de travail réduit du sol sous litière (comme en forêt) ou couverture permanente de légumineuses.

6.3. Les stratégies de lutte antiérosive évoluent de la DRS-CES à dominante mécanique (banquettes, fossés, ados en terre, barrages) vers des démarches plus biologiques (la GCES, souvent sans le savoir) en associant la gestion des eaux (filtration et ralentissement du ruissellement par des micro barrages filtrants, amélioration de l'infiltration par le paillage et les techniques culturales), la gestion des matières organiques (agroforesterie, gestion des résidus de culture, élevage, légumineuses et fumier) et la gestion des engrais minéraux complémentaires pour assurer le développement optimal des cultures.

6.4 Les recherches ont aussi prouvé qu'il est possible de restaurer la capacité de production des sols dégradés s'ils sont suffisamment profonds. La ressource en sol est donc partiellement renouvelable...Mais cela a un prix : maîtriser le ruissellement, renouveler la macroporosité du sol (travail) et la stabiliser (MO/racines), revivifier l'horizon de surface (fumier/compost), nourrir les cultures (NPK) et remonter le pH à 5 afin que disparaisse la toxicité aluminique. Par contre restaurer les propriétés primitives des sols tropicaux semble hors de portée économique ; les sols primitifs ne sont d'ailleurs pas toujours très fertiles.

6.5. A l'échelle d'un petit bassin versant, la dégradation du couvert végétal et des sols, entraîne la réduction du réservoir d'eau dans le sol et de la pluie limite de ruissellement, l'augmentation des débits de pointe et les inondations, la dégradation des berges et du lit des ravins et des rivières, l'augmentation des transports solides et l'ensablement des canaux, réservoirs et ports. A court terme, les effets d'un aménagement antiérosif sur les versants sont inverses : étalement des crues et réduction des transports solides, augmentation de l'infiltration et alimentation des nappes. L'amélioration du rendement des cultures dépend en outre de la satisfaction des besoins en eau et en NPK aux moments où l'exige la physiologie des plantes cultivées (montaison, floraison, épiaison).

6.6. En milieu urbain, peu perméable, le ruissellement est particulièrement abondant. S'il est mal contrôlé, on observe une forte agressivité du ravinement, le sapement des versants pentus et des berges des rivières, des glissements de terrains, des inondations fréquentes et l'ensablement des bas-fonds. Devant l'extension des zones squattées et des problèmes de drainage, l'Etat se replie derrière une législation restrictive qui ne résout pas les problèmes : il est conseillé de mettre en place des comités de quartier pour sensibiliser les gens aux risques d'érosion ou d'inondation qu'ils font courir à leurs voisins et d'organiser la gestion des eaux.

6.7. Les mesures de ruissellement, d'érosion, de rendements et des états de surface en parcelles d'érosion (>100 m²) continuent heureusement à se pratiquer : sinon comment valider les modèles sans données de terrain ? Les mesures sur ravines, plus rares, sont aussi

intéressantes, car elles intègrent l'évolution du ruissellement tout au long du versant. Les mesures de débits liquides et solides à l'échelle des bassins exigent des moyens lourds : elles intègrent le piégeage des sédiments en bas de pente et les remaniements des berges et du lit et ne sont pas directement comparables aux mesures sur versants ni à leur occupation. Pour maîtriser certaines contraintes de temps, on a recours à divers simulateurs de pluies qui aident à paramétrer les bilans hydriques et la stabilité structurale plus que l'érosion. La validité de chaque méthode est limitée par des contraintes et par les effets d'échelle. Les pertes en eau, en sol et en nutriments par érosion en nappe ne sont pas forcément dramatiques : elles dépendent plus des systèmes cultureux que des structures antiérosives conventionnelles. On peut donc tenter de limiter l'érosion et maîtriser le ruissellement en améliorant les systèmes de culture. Les transports solides par les instruments de travail du sol, par mouvement de masse ou par les vents sont encore peu étudiés : pourtant ces processus peuvent mobiliser beaucoup de terre et de nutriments. Pour évaluer la variabilité spatiale de l'érosion, on fait souvent appel à des logiciels de SIG et des indicateurs plus ou moins significatifs mais observables sur photo aérienne ou imagerie satellitaire (typologie des traces d'érosion, Césium 137, surface couverte, surface fermée, divers types de croûtes, compacité, pente, érodibilité des sols, etc.) : il faut craindre l'application systématique de ces méthodes spectaculaires sans tenir compte des processus d'érosion les plus efficaces sur le terrain.

7. Conclusions générales

7.1. Les effets néfastes de l'érosion sont importants, tant dans l'accélération de la dégradation des champs cultivés, que dans les villes en forte croissance et à l'aval dans les rivières, l'envasement des barrages et des ports. Or bien peu d'aménagements antiérosifs donnent satisfaction car les aménagistes attendent l'apparition des ravines pour imposer des structures antiérosives coûteuses. Cependant, l'érosion en nappe, à l'origine de la dégradation des terres, commence dès le défrichement et se traite par l'adaptation des systèmes de production.

7.2. L'évolution des connaissances sur les processus et facteurs de l'érosion s'accélère.

Les chinois ont inventé les terrasses en gradins il y a 4000 ans. Il a fallu 3000 ans pour que les caravanes de la soie et des esclaves dispersent ces techniques sur le bassin méditerranéen et l'Afrique. Les techniques de LAE se sont développées empiriquement depuis fort longtemps, bien avant que commencent les premières recherches scientifiques (1890, premières parcelles d'érosion en Allemagne).

La recherche sur la LAE est récente. En 1939, Bennett inventait aux USA les terrasses de diversion et développait un réseau de parcelles expérimentales qui ont abouti au bout de 30 ans au modèle empirique de prévision de l'érosion de Wischmeier et Smith (1960-78). Malgré diverses tentatives de modélisation, on n'a pas encore réussi à trouver un modèle physique applicable par les agronomes dans la majorité des pays dégradés par l'érosion.

Dès les années 1960, Hudson a démontré dans les champs africains que l'intensification de la culture pouvait réduire les risques d'érosion en augmentant la couverture végétale. L'application de ce principe a donné lieu au développement d'une nouvelle stratégie (LH ou GCES) au séminaire de Porto Rico en 1987.

En 1970, Heusch a découvert dans les marnes du Rif marocain que la situation topographique pouvait être plus importante que l'inclinaison de la pente. En 1973, Roose a étendu cette observation aux sols ferrallitiques d'Afrique occidentale. Il a montré que le ruissellement était souvent plus fort sur les pentes faibles (très encroûtées) que sur les versants

plus pentus et que les microbarrages perméables étaient plus efficaces que les fossés de diversion (1986).

Actuellement, on réduit les structures antiérosives à des lignes de défense pour orienter les travaux, et on cherche à mettre au point des systèmes de production intensifs où le travail du sol est réduit au minimum sous couvert d'une litière de résidus de culture ou d'une couverture permanente d'herbes (ou mieux de légumineuses), maîtrisée par les herbicides (Lal, 1974 ; Seguy et al., 1989 ; Boli, et al, 1993).

7.3. Autre bonne nouvelle : il existe en Afrique des techniques permettant de restaurer en quelques années la capacité de production des sols dégradés suffisamment profonds. La ressource en sol est donc partiellement renouvelable, mais cela a un coût : du travail, du fumier et des engrais complémentaires. La capacité de nourrir des populations est donc étroitement dépendante des conditions économiques de la société. La société occidentale préfère-t-elle développer la production vivrière de ces régions, ou vendre ses propres excédents ?

7.4. La formation

L'enseignement sur l'érosion et la lutte antiérosive était il y a dix ans tout à fait rudimentaire, tant dans les Facultés d'Agriculture, que dans le secondaire. Maintenant que le thème de la protection de l'environnement est en vogue, il serait souhaitable de souligner que bien des pollutions des eaux tirent leur origine du développement des processus d'érosion. La sensibilisation des enfants devrait se faire dès le secondaire et la formation aux nouvelles méthodes de lutte dans les écoles techniques, les instituts agronomiques et les DEA.

7.5. Evolution de la recherche.

Il reste encore pas mal de travaux à faire pour mieux comprendre la diversité des processus en cause dans le développement des divers types d'érosion et en particulier le ravinement, l'érosion par les outils de travail du sol, les mouvements de masse en montagne, la naissance du ruissellement sur pentes fortes où les croûtes de battance sont mineures et l'érosion éolienne. Vu l'étendue des travaux et l'urgence de trouver des solutions pratiques, la recherche devrait se rapprocher des projets de développement, analyser l'expérience paysanne, définir les indicateurs pertinents des causes et des facteurs locaux les plus importants en vue de réduire rapidement les risques de dégradation de l'environnement, tout en intensifiant la productivité.

Le défi du 21^{ème} siècle est de doubler la production vivrière tous les 20 ans, tout en réduisant les risques de dégradation de l'environnement.

8. Bibliographie

- Arabi M., 1991. Influence de quatre systèmes de production sur le ruissellement et l'érosion en milieu montagnard méditerranéen algérien.
Thèse doct. Géographie, Univ. Grenoble, 276 p.
- Baumer M., 1987. Agroforesterie et désertification. ICRAF-CTA, Wageningen, 260 p.
- Bennett, 1939. Elements of soil conservation. Mac Graw-Hill, New York, 530 p.
- Boissau S., Locatelli B. & Weber J. 1999. Population and environment relationship. A U-shaped curve hypothesis. Jardin planétaire, Chambéry, mars 1999, 4 p.
- Bonvallot J., 1986. Tabias et jessour du sud tunisien. Agriculture dans les zones marginales et parade à l'érosion. Cah. ORSTOM Pédol., 22, 2 : 163-172.
- Bourges J., Floret C., Girard G., Pontanier R., 1979. Etude de la citerne Telman (1972-77) ORSTOM-DRES, Tunis, 147 p.
- Critchley W., Reij C., Turner S., 1992. Soil and water conservation in sub-saharan Africa. Towards sustainable production by the rural poor. Report IFAD by CDCS, Free University, Amsterdam, 110 p.

- De Noni G., Viennot M., 1993. Mutations récentes de l'Agriculture équatorienne et durabilité des agrosystèmes andins. Cah. ORSTOM Pédol., 28, 2 : 277-288.
- Diallo A., 1994. La haie dans la préfecture de Faranah (Guinée).
AFVP, Montlhéry, France, 20 p. + 12 fiches biologiques.
- El Amani S., 1983. Les aménagements hydrauliques traditionnels en Tunisie.
Centre de recherches du Génie Rural, Tunis, 69 p.
- Ellison W.D., 1944. Studies of raindrop erosion. Agric. Eng. 25 : 131-181.
- Erhart, H., 1955. Biostasie et rhexistasie. Esquisse d'une théorie sur le rôle de la pédogenèse en tant que phénomène géologique. C.R. Acad. Sci. Paris, 241 p.
- Evenari M., Shanan L., Tadmor N.H., 1968. Runoff farming in the desert.
Agron. J., 60, 1 : 29-38.
- FAO, 1974. Shifting cultivation and soil conservation in Africa. FAO Soils Bull. 24
- Fotsing J.M., 1993. Diagnostic des problèmes d'érosion et éléments de solution en pays Bamiléké, Cameroun. Cah. ORSTOM Pédol., 26, 4 : 241-254.
- Gosselin M., 1939. L'hydraulique en Tunisie. Archives Institut Pasteur, Tunis, tome 3.
- Gréco J., 1978. La défense des sols contre l'érosion. Paris, Maison Rustique, 183 p.
- Harroy J.P., 1944. Afrique, terre qui meurt. Marcel Hayez, éditeur, Bruxelles 557 p.
- Heusch B., 1970. L'érosion du Pré-Rif. Annale Recherche Forestière Maroc 12 : 1-176.
- Heusch B., 1986. Cinquante ans de banquettes de DRS en Afrique du Nord : un bilan.
Cah. ORSTOM Pédol., Paris, 22, 2 : 153-162.
- Hudson N.W., 1990. Conservation des sols et des eaux dans les zones semi-arides.
Bull. Pédol. FAO, Rome, N°57, 182 p.
- Hudson N.W., 1991. Reasons for success or failure of soil conservation projects.
FAO Soils Bull. Rome, 64, 65 p.
- Hudson N.W., 1992. Land husbandry. London, Batsford, 192 p.
- Jurion F., Henry J., 1967. De l'agriculture itinérante à l'agriculture intensifiée.
INEAC, Bruxelles, 498 p.
- Lal R., 1974. Role of mulching techniques in tropical soil and water management.
IITA, Ibadan, Technical Bulletin n° 1
- Laouina A., Aït Hamza M., Chaker M., El Abassi H., 1995. Techniques traditionnelles de CES. Rapport CDCS, Free Univ. Amsterdam, 112 p.
- Laouina A., 1998. Dégradation des terres dans la région méditerranéenne du Maghreb.
Bull. Réseau Erosion Montpellier n° 18 : 33-53.
- Levang P., 1984. Shifting cultivation for transmigration projects ? How primitive techniques could help to solve development problems in Central-Kalimantan Transmigration areas ?
Ilmu. Pert. AGRIC Science, 3, 6 : 275-283.
- Levang P., Michon G., de Foresta H., 1997. Agriculture forestière ou agroforesterie ?
Bois et Forêts des Tropiques, 251, 1 : 29-42.
- Lilin Ch., 1986. Histoire de la restauration des terrains en montagne.
Cah. ORSTOM Pédol., 22, 2 : 139-146.
- Lovejoy J.B., Napier T., 1976. Conserving soil : sociological insight.
J. Soil & Water Cons. 415 : 304-410.
- Lowdermilk W.C., 1953. Conquest of the land through 7000 years.
Agric. Information Bull. USDA, SCS, n°99.
- Moldenhauer W. & Hudson N., 1987. Conservation farming on steep lands.
SWC. Soc. Ankeny, IOWA, USA, 296 p.
- Monjauze A., 1962. Rénovation rurale : rôle et dispositif d'infiltration.
Alger, Délégation générale, Dépt des Forêts, Service DRS, 16 p.
- Planté I., 1961. Technique franco-algérienne des banquettes de DRS.
Oran, Délégation générale, Dépt. Forêts, Service DRS, 22 p.
- Pontanier R., 1988. Synthèse bibliographique sur la maîtrise et l'utilisation des eaux de ruissellement, CES en zones arides. ORSTOM Tunis, 33p. multigr.
- Putod, R., 1956. La protection des vignes contre l'érosion.
Revue Agron. Afrique du Nord, 1992 : 567-576.
- Reij C., Mulder P., Begemann L., 1988. Water harvesting for plant production.
World Bank paper n° 91, 123 p.
- Reij C., Scoones I., Toulmin C., 1997. Techniques traditionnelles de CES en Afrique.
CTA-CDCS-Karthala, Paris, 355 p.

- Rishirumuhirwa Th., 1993. Potentiel du bananier dans la gestion et la conservation de la fertilité des sols ferrallitiques du Burundi. *Cah. ORSTOM Pédol.*, 28, 2 : 367-384.
- Robinson D., McKean S., 1991. Shifting cultivation and alternatives. An annotated bibliography (1972-89). CIAT/CAB International, Wallingford, 281 p.
- Rochette R., 1989. Le Sahel en lutte contre la désertification CILLS/PACC/GTZ, 592 p.
- Roose E., Masson F.X., 1983. Consequences of heavy mechanization and new rotation on runoff and on loessial soil degradation in the North of France. *Comm.92, Int. Conf. « Preserve the land »* Honolulu, Hawai Edit. SCSA, Ankeny, USA : 24-33.
- Roose E., 1986. Terrasses de diversion ou microbarrages perméables ? Analyse de deux démarches de conservation de l'eau et des sols chez les petits fermiers de la zone soudano-sahélienne d'Afrique occidentale. Paris, *Cah ORSTOM Pédol.* 22, 2 : 81-92.
- Roose E., 1987. GCES dans les paysages soudano-sahéliens d'Afrique occidentale. Stratégies nouvelles et classiques. In *Soil, Crop, Water management systems for rainfed Agriculture in semi-arid zone. Proceeding, ICRISAT, Niamey*, pp. 55-72..
- Roose E., 1990. Méthodes traditionnelles de gestion de l'eau et des sols en Afrique occidentale soudano-sahélienne : définitions, fonctionnement, limites et améliorations possibles. *Bull. Réseau Erosion, IRD Montpellier*, n° 10 : 98-107.
In « L'aridité ». ORSTOM, Paris, Didactique : pp.475-500.
- Roose E., Dugué P., Rodriguez L., 1992. La GCES, une nouvelle stratégie de lutte antiérosive appliquée à l'aménagement de terroirs en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. *Bois et Forêts des Tropiques*, 233, 3 : 49-63.
- Roose E., 1994. Introduction à la GCES. *Bull. Pédol. FAO, Rome* n°70, 420 p.
- Roose E., Ndayizigiye F., 1996. Agroforestry and GCES in Rwanda. *Soil Technology*, 11, 1 : 109-119.
- Roose E., Kabore V., Guenat Cl., 1999. The Zaï practice : a West African traditional rehabilitation system for semi-arid degraded lands. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 13, 4 : 343-355.
- Roose E., 1999. Protection des terres et gestion du ruissellement à l'amont d'un lac collinaire en zone méditerranéenne semi-aride. Etude bibliographique pour le projet HYDROMED. ORSTOM, Montpellier, 33 p.
- Seguy L., Bouzinac S., Pacheco R., Kluthcouski J. 1989. Des modes de gestion mécanisée des sols et des cultures aux techniques de gestion en semis direct, sans travail du sol, appliquée aux Cerrados du centre ouest brésilien. Document IRAT, Montpellier, 185 p.
- Seignobos Ch., 1999. Pratiques antiérosives traditionnelles : élaboration des terrasses sur les Monts Mandara et récupération des terres « hardé » dans le Nord Cameroun. *Bull. Réseau Erosion, IRD Montpellier*, n°18 : 300-305.
- Shaxson T.F., Hudson N.W., Sanders D., Roose E., Moldenhauer W.C., 1989. Land husbandry : a frame work for soil and water conservation. Ankeny, IOWA, SWC Soc, WASWC, 64 p.
- Smolikowski B., 1993. La GCES, une nouvelle stratégie de LAE en Hawaï. *Cah. ORSTOM Pédol.*, 28, 2 : 229-252.
- Smolikowski B., 1997. Gestion de l'eau en milieu cultivé sahélien de montagne (Cap-Vert) Thèse doctorat en Ecologie tropicale, Univ. Toulouse, n° 2826, 265 p.
- Smolikowski B., Puig H., Roose E., 2000. Improvement of plant production by soil protection in the semi-arid mountains of Cabo VERDE Island. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Elsevier, sous presse
- Stallings J.H., 1953. Continuous plant cover : the key for soil and water conservation. *J. Soil & Water Cons.*, 8 : 63-68.
- Van den Abeele M., 1941. L'érosion, problème africain. INEAC, Sciences naturelles, TXI, Bruxelles.
- Vogt H., Vogt Th., 1979. Erosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen C. Rendu Colloque Labo Géographie Physique, Univ. Strasbourg, 275 p.
- Wischmeier W.H., Smith D.D., 1960. A universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning. *Proc. 7th Int. Congress Soil SCI. Soc.*, 1 : 418-425.
- Worthington E.B., 1938. Science in Africa : a review of scientific research relating to tropical and Southern Africa. Oxford University Press, London.