

Apport de la recherche à la lutte antiérosive

Bilan mitigé et nouvelle approche

E. Roose et G. De Noni

ORSTOM, Laboratoire de Comportement des Sols Cultivés, BP 5045, 34032 Montpellier

RÉSUMÉ

Les Processus d'érosion sont aussi vieux que le monde et les premiers vestiges de lutte antiérosive remontent à 7 000 ans. En effet très tôt, l'homme a été obligé de développer des stratégies empiriques de gestion des eaux et de la fertilité des sols pour faire face à la pression démographique. Plus récemment, pour répondre aux crises économiques et sociales traduisant de fortes pressions foncières, se sont développées des techniques d'extension de l'agriculture à des zones fragiles et des stratégies modernes de lutte antiérosive tournées essentiellement vers l'équipement d'une petite hydraulique rurale (RTM, CES, DRS) par les agents du pouvoir central.

Par contre, la recherche scientifique n'a débuté qu'il y a un siècle et n'a pris un réel essor que depuis 1930 aux USA et 1954 en Afrique. Une sorte de décalage a donc toujours existé entre les tentatives de lutte antiérosive et la recherche. Bien que depuis 60 ans, les mesures sur les facteurs de l'érosion aient été multipliées, on constate que les progrès de la connaissance n'ont pas toujours entraîné des bénéfices dans le domaine de la lutte antiérosive où le nombre d'échecs reste trop élevé. Les recherches se sont trop souvent limitées aux processus de dégradation sans accompagner les programmes de conservation des sols ni développer des moyens rentables de restauration de la productivité des sols, ce qui a contribué à entretenir ce décalage.

Une nouvelle stratégie participative, la GCES, a été développée pour répondre positivement aux problèmes de gestion durable des eaux de surface, de la biomasse et de la fertilité des sols. Les premiers résultats obtenus en Algérie et en Equateur sont encourageants et laissent la place à tout un champ de recherche.

Mots clés

Erosion, recherche, conservation des sols, stratégies traditionnelles, stratégies modernes, stratégie nouvelle, Algérie, Andes.

SUMMARY

RESEARCH APPROACH FOR EROSION CONTROL : mitigated evaluation and new strategy

Erosion processes are as old as the hills and the first remains of erosion control strategies can be traced back to 7 000 years. Humans indeed, had to develop early empirical strategies for the management of waters and soil fertility in order to cope with demographic pressure. Recently, as a response to social and economic crises created by strong land pressures, new techniques have been developed in order to extend the agricultural areas to fragile zones and apply modern strategies for a erosion control (use of small hydraulic structures).

On the opposite, scientific research can only be traced back to a century and really developed in 1930 in the US and 1954 in Africa. There was thus, always a gap between projects for erosion control and the results obtained by research studies. Erosion studies have been multiplied for the last 60 years; yet, soil conservation does not progress as much as it should, and failures are still too frequent.



The gap was even reinforced by the fact that research studies have been too often limited to the process of degradation with no support to the soil conservation programs nor development of valuable restoration for soil productivity.

A new strategy (GCES) has been developed in order to provide positive answers to water, biomass and fertility management for sustainable soil use. The first results obtained in Algeria and Ecuador are very positive and seem promising for future research.

Key-words

Erosion, research, soil conservation, traditional strategy, modern strategy, new strategy, Algeria, Andes.

RESUMEN :

DESFAZAMIENTO ENTRE INVESTIGACION Y LUCHA ANTIEROSIVA : BALANCE Y NUEVO ENFOQUE

Los procesos de erosión son tan viejos como el mundo y los primeros vestigios de la lucha antierosiva aparecen hace 7000 años. Desde el origen, el hombre estuvo obligado a desarrollar estrategias empíricas de gestión de aguas y de fertilidad de los suelos para enfrentar la presión demográfica. Recientemente, como repuesta a las crisis económicas y sociales que se traducen por fuertes presiones sobre la tierra, se desarrollaron técnicas de extensión de la agricultura a las zonas frágiles y estrategias modernas de lucha antierosivas dirigidas esencialmente hacia el desarrollo de pequeños equipos hidráulicos rurales (RTM, CES, DRS) por los agentes del poder central.

Contrariamente, la investigación científica empezó hace soloun siglo y se su desarrollo realmente a partir de 1930 en los USA y de 1954 en África. Un desfazamiento ha existido siempre entre las tentativas de lucha antierosiva y la investigación. Aunque desde 60 años, las medidas sobre los factores de erosión se multiplicaron, se comprobó que los progresos del conocimiento no siempre aportaron beneficios en la área de la lucha antierosiva donde el número de fracasos queda demasiado elevado. Las investigaciones se limitaron a menudo a los procesos de degradación sin acompañar los programas de conservación de los suelos ni desarrollar medios rentables de restauración de la productividad de los suelos, lo que contribuyo a mantener este desfazamiento.

Una nueva estrategia participativa, la GCES, fue desarrollada para responder positivamente a los problemas de gestión sostenible de las aguas de superficie, de la biomasa y de la fertilidad de los suelos. Los primeros resultados obtenidos en Argelia y Ecuador son motivantes y dan lugar a un campo de investigación.

Palabras claves

Erosión, investigación, conservación de suelos, estrategias tradicionales, estrategias modernas, nueva estrategia, Algérie, Andes.

L'érosion est un phénomène naturel qui façonne la surface de la terre depuis son origine. Très active au cours de certaines périodes géologiques, son action est aujourd'hui modérée, un équilibre s'étant instauré entre morphogénèse et pédogénèse. En parallèle, s'est développée avec l'apparition de l'homme l'érosion anthropique. Celle-ci s'est amplifiée avec la croissance des besoins des populations humaines et l'adaptation plus ou moins réussie de leurs techniques. C'est ainsi que les défrichements, les cultures, les pâturages et l'urbanisation ont été accompagnés par une érosion accélérée (de 10 à 700 t/ha/an), mille fois plus rapide que l'érosion naturelle, et par une augmentation très nette du ruissellement (de 20 à 80 %) et de l'aridité au niveau des sols. Dans les milieux fragiles ou lorsque l'intensification des cultures est mal maîtrisée, une génération suffit pour voir disparaître la mince couche humifère et la fertilité des sols des régions chaudes (Roose, 1994; Neboit, 1991) alors qu'on estime que la formation de 1 mètre de sol nécessite 30.000 à 100.000 ans selon les milieux morpho-climatiques (Derruau, 1988). Les effets de l'érosion sont encore plus rapides et catastrophiques lorsque l'homme s'installe sur des zones instables. Se produisent alors des phénomènes de ravinement qui peuvent entraîner 300 tonnes de terre par hectare et par jour, ou pire, des inondations et des glissements de terrains qui mettent en péril les infrastructures et la vie des hommes (Veyret, Pech, 1993).

Ce rapide tour d'horizon montre la diversité des processus d'érosion et la variabilité de leur efficacité dans le temps. Généralement, seuls les phénomènes catastrophiques intéressent les milieux politiques et les journaux alors que le développement de l'érosion accélérée des terres de culture pose le problème de la dégradation de la fertilité des sols et de la durabilité des agrosystèmes pour les générations futures. C'est un indicateur d'un dysfonctionnement du milieu physique et de la société, qui traduit le déséquilibre du bilan des nutriments organiques et minéraux et l'usage de techniques inadaptées aux conditions locales. En ce sens, la dégradation de la fertilité des sols par l'érosion n'est donc pas une fatalité dans la mesure où la lutte contre ce phénomène entraîne l'examen du système de production en même temps que des structures de gestion des eaux superficielles. Malgré cette prise de conscience, le taux d'échec des projets de lutte antiérosive est encore élevé et souligne le décalage (*figure 1*) qui existe depuis très longtemps entre les connaissances issues de la recherche et les tentatives empiriques de lutte contre l'érosion (Hudson, 1992).

EVOLUTION ET BILAN DES STRATÉGIES DE LUTTE ANTIÉROSIVE

Très rapidement, les premières civilisations ont été confrontées aux problèmes de ruissellement et d'érosion, conduisant les sociétés rurales à développer, de façon empirique, toute

une série de **stratégies traditionnelles** de gestion des eaux de surface et de la fertilité des terres. D'après Lowdermilk (1953), les premiers vestiges archéologiques de lutte antiérosive datent de 7 000 ans, leur efficacité ayant dépendu, semble-t-il, de leur adaptation au milieu humain.

En effet, de nombreuses techniques antiérosives ont été développées par les anciens : elles furent souvent très efficaces dans les conditions climatiques et surtout socio-économiques de leur époque, mais elles perdent leur efficacité dès lors que changent les conditions humaines. Prenons deux exemples :

L'agriculture nomade sur brûlis, présente sur tous les continents, était bien adaptée à des conditions de terres abondantes, de faible pression démographique, d'économie d'autosubsistance. Mais dès que la densité de population dépasse 10 à 40 habitants par km², selon l'abondance des pluies et la fertilité du sol, le temps de repos par la jachère diminue, le sol se dégrade progressivement et l'érosion se développe en accélérant encore la dégradation.

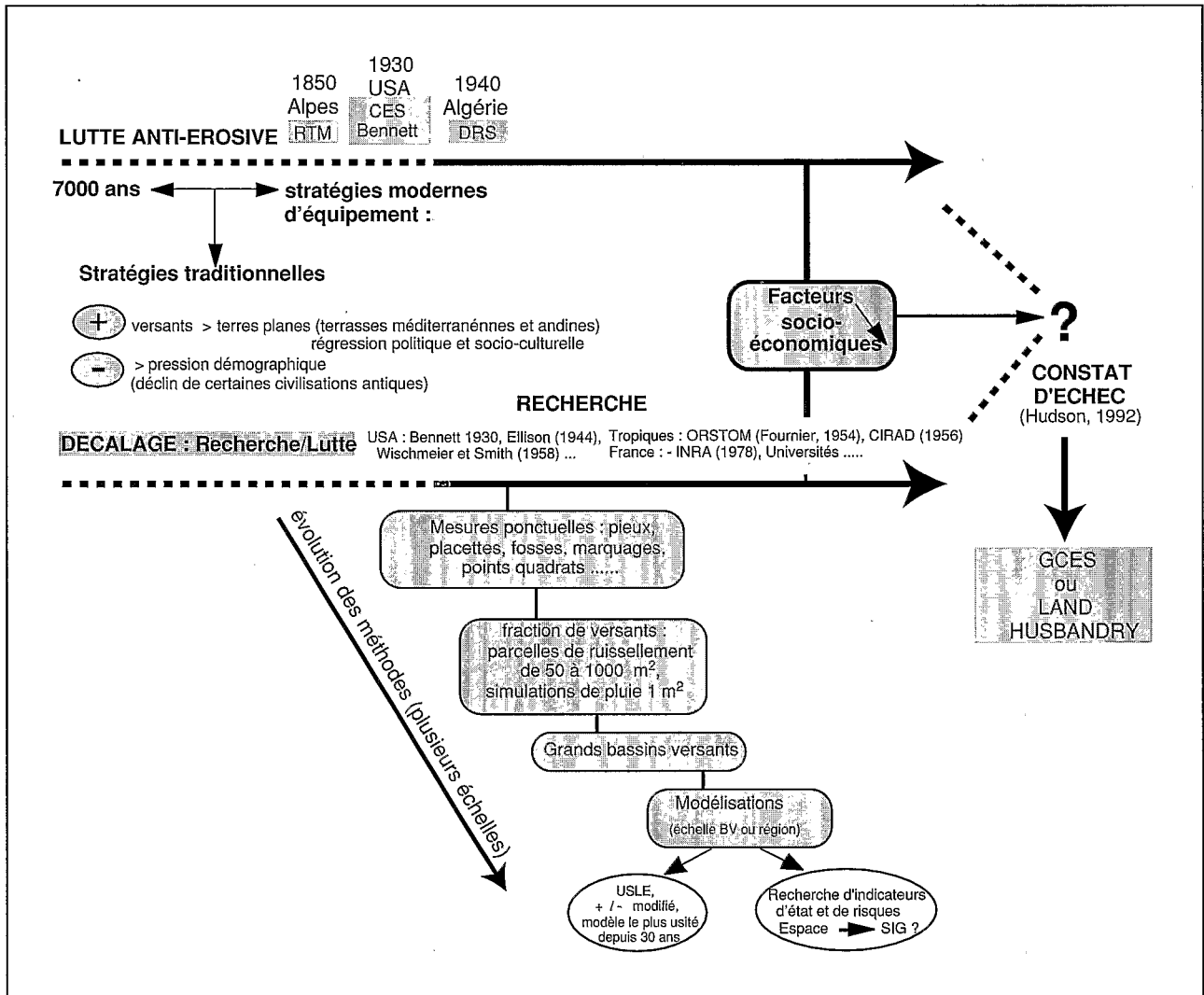
L'autre exemple concerne **l'agriculture sur versants aménagés en terrasses**. Ce type d'aménagement s'est développé lorsque les terres planes sont rares, ou bien, suite à des pressions religieuses ou militaires conduisant les populations à se réfugier dans les zones de montagne, ou encore, lorsque la main d'œuvre est bon marché et que l'homme peut investir un énorme travail (1 000 à 1 500 jours de travail/ha) pour survivre. Ce fut le cas des Dogons au Mali qui refusèrent d'embrasser l'islam ou des Incas dans les Andes (Donkin, 1979). Ces aménagements, souvent réalisés pour irriguer, sont abandonnés dès que la main-d'œuvre migre en ville où le travail est mieux rémunéré, ou bien, lorsque les civilisations, ne pouvant contrôler une forte pression démographique, entrent dans une période de régression politique et socio-culturelle (cas de certaines civilisations antiques du bassin méditerranéen et de l'empire Maya en Amérique centrale).

Ces méthodes traditionnelles, très efficaces, ont été délaissées aujourd'hui car la situation socio-économique est devenue très différente. Dans certaines régions, la population a plus que doublé en vingt ans; la mécanisation favorise l'extension des cultures et les bénéfices rapides, sans trop tenir compte de la destruction de la couverture pédologique et des risques de pollutions en aval. Devant l'incapacité des méthodes traditionnelles à faire face aux conséquences environnementales de la croissance démographique et des mutations socio-économiques, les pouvoirs centraux ont délégué de gros moyens pour maîtriser les problèmes d'érosion. Des **stratégies modernes d'équipement** ont été mises en place pour répondre aux trois crises sociales suivantes (*figure 1*).

La RTM (Restauration des Terrains de Montagne) en 1850-60 dans les Alpes.

Suite au surpâturage des terrains communaux de montagne, et aux dégâts causés par les torrents sur le réseau

Figure 1 - Principales étapes de l'évolution de la recherche et de la lutte contre l'érosion
Figure 1 - Main evolution steps of the study and the erosion fighting



routier et les aménagements hydrauliques des vallées, les forestiers ont été chargés par l'état de restaurer les terrains en montagne, par la reforestation des hautes vallées et la correction des torrents. La mise en défens de ces zones a privé les éleveurs de leur droit d'usage provoquant ainsi des tensions avec les forestiers, alors même que les travaux réalisés, étaient, dans la plupart des cas, exemplaires. En France, grâce à l'industrialisation et à la colonisation de l'Outre-Mer, les populations déracinées et excédentaires ont trouvé d'autres moyens de subsistances. Dans certains cas cependant, l'indépendance des pays colonisés a conduit à un retour des colons en France (Lilin, 1986).

La CES (Conservation de l'Eau et des Sols) et la crise de 1930 aux USA.

Le défrichement de la Grande Prairie semi-aride pour le développement de cultures peu couvrantes comme le coton, l'arachide et les céréales a déclenché une érosion éolienne spectaculaire, avec le développement de « nuages de poussières » obscurcissant le soleil en pleine journée. Bennett fut chargé de mettre en place dix stations de recherche et un service agronomique, chargé d'assister techniquement et financièrement, les paysans volontaires pour aménager leurs terres en vue de protéger les potentialités des sols et la qualité des eaux, celles-ci indispensables au développement des villes et des industries (Bennett, 1939; Hudson, 1995).

La DRS (Défense et Restauration des Sols) autour de la méditerranée, durant la période 1940-80.

Berceau de nombreuses civilisations, le bassin méditerranéen est affecté depuis longtemps par la dégradation de ses forêts, le surpâturage et l'extension des cultures sur les terres calcaires peu épaisses. Toutes les formes d'érosion s'y retrouvent et les oueds aux crues très brutales transportent des quantités de sédiments si importantes que la durée de vie des barrages y est particulièrement courte (3 à 50 ans). Pour défendre et restaurer les sols, les forestiers furent chargés d'associer les techniques de RTM et de CES et s'employèrent à reforester les hautes vallées, à corriger les ravines et les torrents et à aménager des banquettes sur les terres cultivées dégradées par l'érosion hydrique. Pour compenser les pertes de surface cultivable (5 à 15 %, selon la pente), des arbres fruitiers rustiques furent plantés sur les banquettes (Plantié, 1961 ; Greco, 1979).

Néanmoins, ces stratégies ne donnèrent pas les résultats escomptés et le taux d'échecs fut important. En 1987 à Porto Rico (Shaxson *et al.*, 1989), eut lieu un séminaire pour analyser ce constat d'échec et proposer une nouvelle approche. En effet, dès les années 80, plusieurs études montraient la résistance des paysans africains à l'application de ces méthodes mécaniques brutales qui n'arrêtent pas la dégradation de la productivité des terres aménagées, réduisent la surface cultivable et gênent la gestion mécanisée des terres. On assiste parfois même à la destruction des plantations arborées de crainte que l'état n'en profite pour prendre possession du capital foncier. Aux USA, on a constaté que, malgré l'investissement formidable consenti depuis 60 ans, plus de 25 % des terres cultivées perdent par érosion plus de 12 t/ha/an de terre (le seuil de tolérance) qui vont polluer les eaux des rivières.

Alors pourquoi se battre contre l'érosion si on constate si peu d'effet des techniques antiérosives mécaniques sur la productivité des sols cultivés ? Comment intéresser le paysan à la RTM ou la DRS si ces stratégies interviennent sur les terres les plus dégradées et ne visent pas l'augmentation de ses revenus ? Comment intéresser le paysan africain aux méthodes américaines de CES qui exigent de gros investissements, rarement suivis d'une augmentation des rendements. En effet, la lutte antiérosive ne se met en place qu'une fois les sols dégradés et sévèrement érodés. Il faut donc prévoir une phase préliminaire de restauration de la productivité du sol avant de constater le redressement de la production (Lovejoy et Napier, 1986 ; Hudson, 1992 a et b).

EVOLUTION ET BILAN DES METHODES DE L'ECOLE FRANÇAISE

Les Premières parcelles de mesures de l'érosion et du ruissellement en milieu cultivé furent mises en place par Wouliny

en Allemagne en 1895 (Hudson, 1995), mais l'étude systématique des facteurs de l'érosion accélérée n'a pris un réel essor qu'en 1930 quand Bennett, le père de la « *conservation des sols* » a mis en place les dix premières stations de recherches sur le ruissellement sous divers agrosystèmes aux USA. Par la suite, les mesures furent étendues à une quarantaine de stations pour finalement servir de base de données, après une trentaine d'années d'observations, pour la mise au point progressive de l'équation de prévision des pertes en terre (USLE et modifications successives : Wischmeier et Smith, 1958 et 1978).

En France, les premières observations furent réalisées par des géographes à l'aide de mesures ponctuelles. Après l'enquête de Hénin et Gobillot (1950) montrant, qu'en dehors des montagnes et des vignes, les risques d'érosion étaient très limités en terres de cultures, il a fallu attendre 1978 pour que les agronomes reviennent sur ce diagnostic et relancent des études sur l'érosion des sols (Vogt, 1979 ; Boiffin, 1984 ; Boiffin *et al.* 1986 ; Le Bissonnais 1988 et 1990). Depuis, de très nombreuses études rappellent les liens entre la dégradation des sols, l'érosion et les diverses formes de pollutions des eaux de surface et de nappe. (Auzet, 1988 ; Veyret et Pech, 1993 et Roose, 1994).

En Afrique francophone, les recherches ont démarré dans les années 50 après le retour d'une équipe de pédologues de l'ORSTOM du congrès mondial des sols de Washington. Sous l'impulsion du professeur Fournier de l'ORSTOM, du CTFT et du CIRAD, tout un réseau de stations de mesures de l'érosion sous divers agrosystèmes tropicaux fut mis en place en Afrique de l'Ouest et à Madagascar, dès les années 1956-60.

■ Un premier bilan fut dressé par Fournier (1960), Roose (1967), le CTFT (1969) et Charreau (1970).

■ Une deuxième vague de mesures en parcelles expérimentales et petits bassins versants fut lancée par la suite pour estimer les facteurs du modèle USLE, l'efficacité des méthodes biologiques de lutte antiérosive, les bilans hydriques et les pertes de nutriments par érosion et drainage (Roose, 1977 et 1981).

■ Enfin, une troisième série d'expérimentations en grandes parcelles et sous simulateurs de pluies permit de tester les risques de ruissellement sous divers états de surface (Lafforgue 1976 et 1977 ; Asseline et Valentin, 1978 ; Collinet et Lafforgue, 1979 ; Valentin, 1985 ; Collinet, 1988 ; Casenave et Valentin, 1989), les risques d'érosion sous cultures traditionnelles et systèmes améliorés en tenant compte à la fois de la gestion de l'eau, de la biomasse et des nutriments organiques et minéraux (De Noni et Viennot en Equateur, 1997 ; Arabi et Roose en Algérie, 1989 ; Boli *et al.* au Cameroun, 1991 ; Quantin et Zebrowski au Mexique 1992 ; Prat au Nicaragua puis au Mexique, 1991 ; et Smolkowski en Haïti et au Cap Vert, 1989).

Ce bilan des méthodes et des approches développées par la recherche française, bien que très général, permet toutefois d'apprécier l'évolution des approches. Après de nombreuses études ponctuelles puis sur petites parcelles (1 m² sous simulateur à 50 puis 1 000 m²), on s'est orienté vers des petits bassins versants, mais ceux-ci étant coûteux, difficiles à répéter et interpréter, on a observé un retour à des parcelles plus faciles à gérer et plus caractéristiques d'une situation (un sol, une pente, un couvert végétal, un itinéraire technique). On a quelquefois préconisé de cesser l'expérimentation pour modéliser les différents scénarios mais on s'est vite aperçu du besoin de vérifier l'adéquation des modèles à la réalité de terrain (*figure 1*).

Malgré ses limites (comme tout modèle), le modèle empirique de prévision des pertes en terre d'un champ « USLE » et ses variantes reste le plus utilisé dans le monde, sans doute parce qu'il a été validé par de très nombreux résultats de mesures sur le terrain (10.000 parcelles aux USA durant plusieurs années, plus de 500 en Afrique). La référence à ce modèle, qui donne une importance accrue à l'érosivité de la pluie, a permis de montrer, par exemple, que les pluies tropicales d'Afrique sont en moyenne 20 à 100 fois plus agressives que celles des régions tempérées (Roose, 1977). Pour arriver à des modèles physiques, on recherche aujourd'hui des indicateurs des risques de ruissellement, de stabilité des sols, de protection du couvert végétal qui permettraient, grâce aux SIG, d'évaluer la spatialisation des risques d'érosion. Il reste très délicat de prévoir les effets d'échelle quand on passe des mesures ponctuelles aux parcelles cultivées, aux versants et aux différentes tailles de bassins versants.

De même, les divers processus d'érosion varient énormément dans le temps, d'où la nécessité de combiner des mesures de terrain suffisamment longues, ce qui est rare, et la modélisation pour étendre les résultats dans le temps et l'espace. La modélisation de l'érosion reste donc un exercice difficile que souligne expressément Hudson (1995) dans son précis de conservation des sols et qu'il illustre en donnant comme exemple (*figure 2*) trois essais de spatialisation des risques érosifs en Amérique latine aboutissant à 3 cartes différentes. Par exemple, la carte 2, la plus ancienne des cartes présentées est paradoxalement la plus détaillée. Elle se distingue des 2 autres car elle met en valeur notamment la sensibilité à l'érosion de la cordillère des Andes le long de la côte occidentale du continent et indique des valeurs très élevées d'érosion pour certaines parties du bassin amazonien, jusqu'à 1 000 t/km²/an. En revanche, la carte 1, qui est la carte la plus récente, est peu détaillée : par exemple, la cordillère des Andes, relief majeur, n'est pas indiquée. Globalement, les cartes 2 et 3, bien que montrant certaines différences sur les deux franges côtières en particulier, sont relativement proches. Au total, Hudson ne donnant aucune précision sur les critères utilisés, il est difficile de dire lequel des trois modèles correspond le mieux au terrain.

Jusqu'ici la modélisation a considéré la dégradation des sols par la battance des pluies et l'érosion en nappe : peu nombreuses sont les études sur pentes supérieures à 15-20 % soumises à l'énergie du ruissellement organisé qui détruit les croûtes de battance à mesure qu'elles se forment. Les vignes de coteaux pourraient fournir une bonne opportunité pour aborder les problèmes posés par la longueur, l'inclinaison et la forme des pentes, en fonction des itinéraires techniques et des états de surface divers qu'ils génèrent. Les travaux récents ont souligné l'importance de l'orientation des versants sur le bilan hydrique, le développement du couvert végétal et les risques d'érosion, la position topographique serait parfois plus importante que l'inclinaison de la pente. Quant à la longueur de pente que l'on réduit par les travaux antiérosifs mécaniques, son action dépend fortement du sol et des états de surface (Wischmeier, 1966).

Cependant, les progrès de la connaissance n'ont pas toujours entraîné des bénéfices pour la lutte antiérosive car il a toujours existé un décalage entre ces deux domaines. Les recherches se sont trop souvent limitées aux processus de dégradation sans accompagner les programmes de conservation des sols ni favoriser le développement de moyens rentables de restauration de la productivité des sols. Une nouvelle stratégie s'est donc développée autour du concept de GCES (Gestion Conservatoire de l'Eau, de la Biomasse et des Sols) pour répondre positivement aux problèmes de gestion durable des eaux de surface et de fertilité des sols (Shaxon *et al.*, 1989; Roose, 1994).

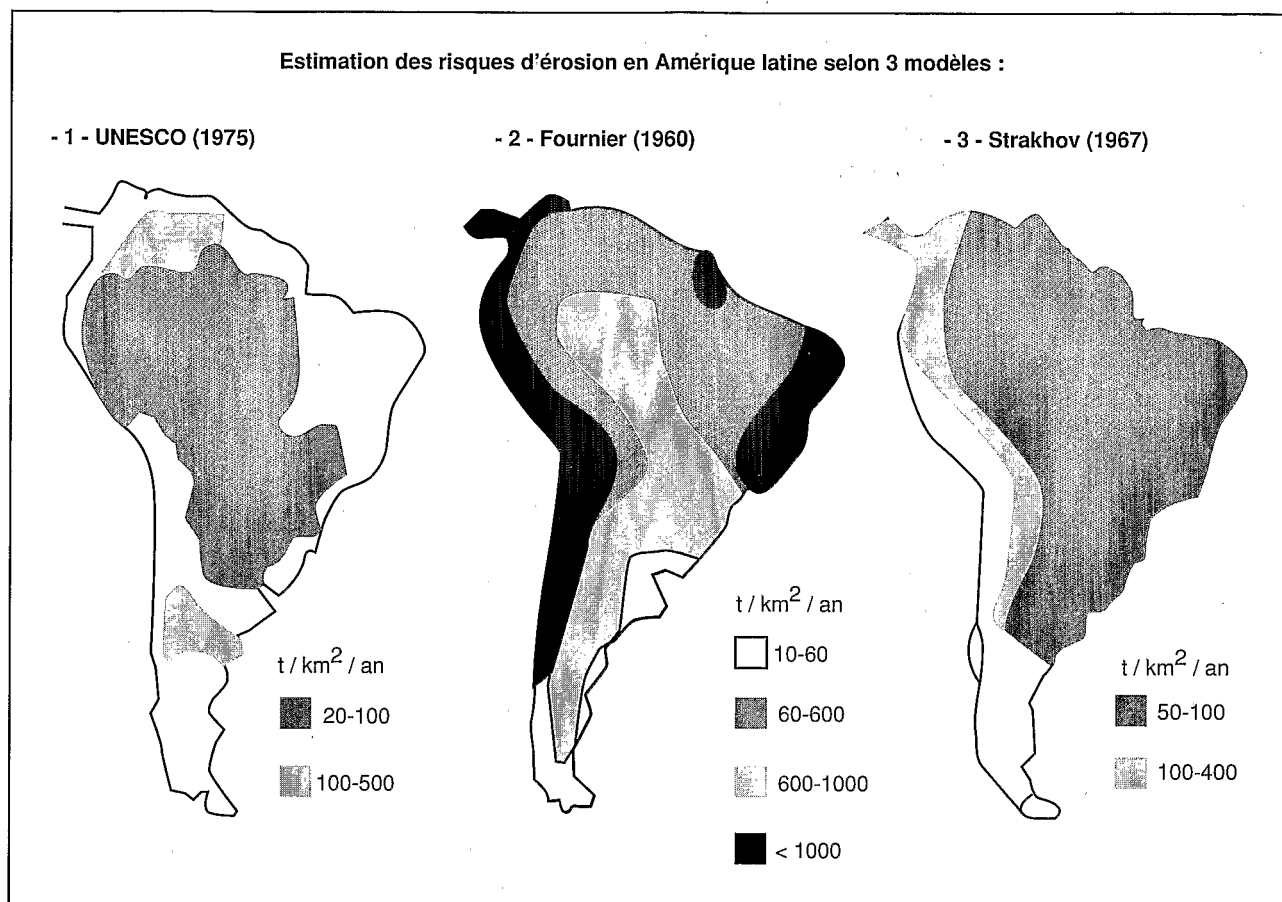
UNE NOUVELLE APPROCHE, LA GCES : UNE STRATÉGIE PARTICIPATIVE DE DÉVELOPPEMENT RURAL

Principes et méthodes.

Par rapport aux autres stratégies, la GCES part du constat que les paysans sont prêts à investir sur les bonnes terres où il existe des risques potentiels de dégradation et non sur les terres déjà très érodées et trop appauvries. En effet, au lieu d'investir sur la mise en défens des terres dégradées pour réduire les transports solides des rivières et sur les terrassements pour la gestion des eaux de ruissellement, la GCES s'investit en priorité sur les terres qui ont encore un potentiel pour faire fructifier les investissements fonciers susceptibles d'intensifier la production. Les décisions ne sont prises qu'avec la compréhension et l'accord des intéressés. L'objectif n'est plus la conservation des sols pour elle-même, mais la valorisation durable du travail et de la terre à l'échelle d'une communauté rurale ou d'un terroir. Le changement des systèmes de production exige du temps, car les habitudes sont à modifier en fonction des réalités économiques : il est inutile de se lancer dans la construction d'un réseau de dispositifs antiérosifs si ceux-ci ne sont pas acceptés et intégrés par

Figure 2 - Estimation des risques d'érosion en Amérique latine selon trois modèles. (Source : Hudson, 1995)

Figure 2 - Three evaluation models of erosion risks (In : Hudson, 1995).



les utilisateurs des terres, ce qui est délicat à faire accepter par les évaluateurs des projets.

La stratégie de GCES se définit en fonction des éléments suivants :

Principes

La réussite d'un aménagement antiérosif ne peut être durable sans la participation paysanne depuis la conception du projet et sans l'intégration des contraintes socioéconomiques et du raisonnement paysan dans la démarche scientifique. Le principe de base est que les paysans n'acceptent un surcroît de travail que s'ils constatent une amélioration de la productivité du travail et de la terre.

Objectifs

Le défi des 20 années à venir est de doubler la production avant que ne double la population. L'une des stratégies majeures est de réduire les risques de ruissellement, d'érosion et de dégradation des sols, en y associant l'amélioration des

variétés et la défense des cultures contre les maladies et les ravageurs.

Méthode

Pour cela, il faut d'une part, analyser les liaisons étroites entre les systèmes de production, les itinéraires techniques et les manifestations d'érosion ; et d'autre part, intensifier le système de production en favorisant l'infiltration et la couverture végétale du sol aux époques des fortes averses ; cela suppose de gérer de manière concertée l'eau, la biomasse et les nutriments organiques et minéraux disponibles, en fonction des besoins des cultures.

Réalisation

Comme la plupart des projets, cette action doit être menée selon trois étapes :

1) une période de sensibilisation des populations par deux enquêtes : l'une concernant la typologie des problèmes d'érosion et l'autre les facteurs modifiant les risques ;

2) une expérimentation démontrant sur les champs paysans les risques réels de dégradation, l'efficacité des méthodes anti-érosives proposées, la faisabilité et la rentabilité des améliorations ;

3) une extension spatiale des méthodes sélectionnées depuis les parcelles jusqu'à l'ensemble du terroir.

La GCES au Nord-Ouest de l'Algérie : exemple de la région de Médéa

La problématique

L'Algérie tire la majorité de sa production agricole de la zone septentrionale la plus peuplée, constituée de montagnes fragiles, à pentes raides où se succèdent roches tendres et dures, à climat méditerranéen semi-aride où des averses abondantes tombent en hiver sur des sols peu couverts et battants.

Les processus d'érosion y sont variés et très actifs. L'érosion en nappe, partout présente, évolue en rigoles et ravines si le travail du sol ou la couverture végétale n'intervient pas rapidement pour restaurer un bon état de surface sur les champs abandonnés (par ex. dans les jachères et jeunes friches pâturées). Par ailleurs, les outils de travail du sol (surtout les charrues à disques) pulvérisent les mottes et poussent la surface du sol vers le bas des versants. Lors des averses de fréquence rare, les pluies abondantes provoquent des ravinelements, des inondations, la dégradation des berges et des glissements de terrains qui entraînent un engorgement rapide des barrages et la destruction du réseau routier.

Pour faire face à ces problèmes graves d'érosion en milieu rural, l'Administration centrale des Forêts a mis en place une stratégie d'équipement hydraulique (la DRS), lourde de conséquence pour les exploitations rurales basées sur la culture céréalière et l'élevage extensifs. Les forestiers ont replanté 800 000 ha de forêts de pins et eucalyptus dans les hautes vallées, corrigé des centaines de ravines et torrents et terrassé 350.000 ha de versants cultivés et pâturés.

Malgré cet effort considérable pendant 50 ans pour juguler l'érosion et réduire son influence néfaste sur la qualité des eaux de surface et les aménagements, les résultats sont décevants : le taux d'engorgement des barrages n'a pas diminué, la production de bois est toujours aussi faible, la productivité des terres n'a fait que décroître et les paysans rejettent le système des banquettes et n'entretiennent pas les dispositifs antiérosifs.

En 1985, les directeurs de l'Institut National Algérien de Recherches Forestières (INRF) et de l'ORSTOM ont mis en commun leurs moyens pour lancer un programme basé sur l'approche nouvelle que proposait la GCES. Une douzaine de chercheurs ont mis en place un réseau de suivi de 50 parcelles d'érosion et une dizaine de ravines dans les champs paysans de trois zones du NO de l'Algérie, pour répondre au double objectif : intensifier l'agriculture et l'élevage en montagne, et

réduire la dégradation des ressources en sol et eau. Le programme comportait trois volets : i) enquête sur l'efficacité de la DRS en mobilisant l'Administration des Forêts, ii) aménagement de trois micro-bassins avec le concours des ruraux et iii) quantification des risques de ruissellement et d'érosion en nappe et ravines.

Dans cette note, on se limitera aux résultats de 4 années de mesure de la pluie, du ruissellement, de l'érosion et des rendements sur 16 parcelles situées chez les paysans, à 7 km de Médéa, sur 4 systèmes de production les plus représentatifs :

- système agropastoral sur vertisol, pente de 12 % ;
- verger d'abricotiers, sur sol fersiallitique rouge, pente de 35 % ;
- vigne sur sol brun calcaire colluvial, pente de 30 % ;
- système sylvopastoral, sur sol brun calcaire, pente de 40 %.

Principaux résultats

Le *tableau 1* présente les principaux résultats des observations durant 3 années déficitaires et une année normale comportant une grosse averse de 150 mm en 2 jours : pour 500 mm de pluie en moyenne, l'indice d'érosivité des pluies calculé d'après le modèle de Wischmeier et Smith (1978) n'a pas dépassé la valeur de 50. Pour comparaison, en Europe cet indice varie de 20 à 150, il est compris entre 50 et 350 en région méditerranéenne et dépasse 450 en zone tropicale où les pluies sont très agressives (Roose, 1994).

Les différents traitements incluent :

- Une parcelle nue travaillée (témoin international) et quatre systèmes régionaux de production : vigne, verger, agropastoralisme et sylvopastoralisme.
- Les améliorations aux témoins régionaux consistent en des labours dressés grossiers, l'usage d'herbicides et de pesticides, de graines sélectionnées, d'une fertilisation équilibrée, une jachère fourragère de légumineuses, des cultures associées en rotation sous le verger.

Le ruissellement annuel moyen (KRAM %) a été faible même sur les terres peu couvertes. Par contre, le ruissellement maximal (KRMAX %) lors des averses abondantes tombant sur des sols humides et peu couverts (cas le plus général en hiver) peut dépasser 30 à 80 % et être dangereux : il est à l'origine du ravinement des versants, des grandes crues, des inondations et des glissements de terrain qui ne se manifestent que tous les 5 à 20 ans dans les milieux méditerranéens semi-arides.

L'érosion en nappe a été très modérée malgré la végétation dégradée et les pentes très raides des parcelles observées. Outre le faible indice d'agressivité des précipitations déjà signalé, le bon comportement des sols à l'impact des gouttes de pluies est à souligner aussi pour expliquer ce constat. En effet, l'indice d'érodibilité de ces sols calculé également d'après le modèle de Wischmeier et Smith (1978) montre qu'ils sont très résistants : K varie de 0,02 pour les sols fersiallitiques

Tableau 1 - Résumé des valeurs moyennes obtenues durant 4 ans dans la région de Médéa**Table 1** - Mean values obtained after a 4 years treatment - Medea area

Systèmes	KRAM %	KRMAX %	Erosion t/ha/an	Rendement t/ha/an
Sol nu travaillé	10 à 18	34 à 80	2 à 20	-
Syst. traditionnel	3 à 12	8 à 26	0,1 à 2	0,7 (grain), 0,2 (paille)
Syst. amélioré	< 0,1	3 à 9	< 0,1	4,8 (grain), 2,2 (paille)

rouges à 0,01 pour les Vertisols et les Sols Bruns Calcaires. Pour comparaison, en Afrique (Roose, 1981) et aux USA (Wischmeier et Smith, 1978), l'indice d'érodibilité des sols les plus résistants se situe entre 0,01 et 0,10.

En revanche, on observe un abaissement du sol de 15 cm entre les abricotiers par rapport à la surface initiale :

- En supposant une érosion en nappe et rigole de 1 mm par an durant 30 ans, la diminution d'épaisseur serait de 30 mm ; il reste encore à expliquer une perte en terre de 120 mm (4 mm/an soit 60 t/ha/an).

- La parcelle est située au sommet de la colline ; mais le rôle de la pente ne semble pas aussi important que prévu. En effet, le ruissellement sur sol nu diminue lorsque la pente augmente car les pellicules de battance sont incisées par l'eau ce qui facilite son infiltration. (Ceci doit être modulé par la variabilité des sols sur la pente).

L'origine de cette importante érosion ne peut se comprendre que par l'action mécanique sèche des outils utilisés pour les doubles labours croisés de printemps et d'automne.

Ces résultats et ceux d'autres auteurs remettent en cause l'application systématique des équations classiques qui lient systématiquement l'écartement entre dispositifs antiérosifs et la pente (Heusch, 1970 ; Poesen et Bryan, 1990 ; De Noni *et al.*, 1997). Les aménagements antiérosifs ne peuvent se passer d'un diagnostic sérieux du fonctionnement de chaque versant : il n'y a donc pas de recette universelle simple.

Le *tableau 1* montre également que les rendements en grain et paille sur parcelles améliorées sont, en moyenne, 6 à 10 fois supérieurs à ceux des systèmes traditionnels représentatifs des productions régionales et que les pertes en eau et en terre sont moindres sur ces parcelles où le sol a bénéficié d'apports plus importants en fumier et résidus de cultures. Mais ce qui intéresse encore plus les paysans c'est la croissance des revenus nets, une fois déduits les frais de production. On constate au *tableau 2*, l'amélioration de la valorisation de la terre quand on intensifie la production végétale et qu'on modifie le système de production en supprimant la jachère nue pâturée, en introduisant des légumineuses et des cultures intercalaires sous les arbres fruitiers.

On peut conclure que la stratégie paysanne basée sur le défrichement des versants et l'évolution de la culture céréalière

à la fructiculture intense suit une logique économique en relation avec la pression démographique et foncière : plus la pression foncière est forte, plus il faut intensifier l'exploitation des sols. Ce qui semble nouveau c'est que l'intensification n'accélère pas forcément dans ce cas l'érosion et la dégradation des sols dans la mesure où l'augmentation de biomasse, aidée par des apports de fumiers, a protégé la surface du sol, retardé la formation de croûtes de battance et amélioré l'infiltration et la résistance à l'énergie des pluies et du ruissellement.

Cependant, ces conclusions sont encore partielles compte tenu de la durée de l'expérimentation et des manifestations relativement modérées de l'érosion durant les quatre ans d'observation. Avant d'appliquer cette démarche à l'échelle du terroir, il sera nécessaire de prolonger les observations afin de tester l'efficacité des améliorations dans le cas d'une période plus érosive.

La GCES dans les Andes d'Equateur : exemple de la région de Mojanda

Problématique

L'Equateur est un pays andin situé sur la façade pacifique du continent sud-américain, entre la Colombie au Nord et le Pérou au Sud. Malgré la présence de l'imposante cordillère des Andes et d'une utilisation très ancienne des sols, l'érosion des sols fut pendant très longtemps, semble-t-il, un phénomène secondaire ou pour le moins maîtrisé. En effet avant

Tableau 2 - Revenus annuels par type de systèmes de culture**Table 2** - Annual incomes by cultivated systems

Systèmes de cultures	Revenus nets en ECU/ha/an
Forêt pâturée traditionnelle	20
Blé d'hiver traditionnel	100
Vigne ou verger traditionnel	400
Rotation intensive blé-lentilles	1200
Rotation intensive sous vigne ou fruitier	2400

l'arrivée des Incas, des sociétés déjà bien organisées (« *Quitus-Caras* » au Nord, « *Puruhaes* » et « *Canaris* » au Sud) avaient développé, entre le X^eme et le XIV^eme siècle, une agriculture diversifiée, tirant profit de l'influence de l'altitude sur le climat et les cultures et faisant preuve d'une certaine ingéniosité pour aménager les versants en gradins ou « andins ».

La situation a changé car l'érosion des sols s'est accélérée et intensifiée, et s'est étendue à tel point qu'aujourd'hui ce phénomène est perçu comme une contrainte forte au développement des populations rurales (De Noni *et al.*, 1990). Les mutations du petit paysannat équatorien (« minifundio ») vers les terroirs de versants et des hautes terres andines constituent l'un des facteurs essentiels de ce changement. Le processus s'est amorcé au début des années 1960 à la suite de la réforme agraire qui a permis aux petits paysans d'accéder à la propriété. Les terres cédées à bas prix par l'état ou les grands propriétaires terriens (« *haciendas* ») sont situées principalement entre 3 200 et 4 000 m, dans des zones non utilisées jusqu'alors à cause du froid, de la sécheresse, des pentes et des risques prévisibles d'érosion.

Depuis 40 ans, le minifundio s'est donc approprié cet espace d'altitude qu'il a transformé en un damier composé d'une multitude de petites parcelles de cultures dont la taille moyenne est comprise entre quelques ares et 1 ha. Les densités de population sont en général fortes, de l'ordre de 80 et 150 hab./km² et la production, destinée essentiellement à l'autosubsistance, est basée sur trois cultures principales : orge, fève et pomme de terre. Dans ce milieu, l'érosion des sols est très active, favorisée par les fortes pentes des versants cultivés (40 à 70 % d'inclinaison) : après chaque averse, griffes et rigoles incisent la surface du sol et évoluent localement en ravines.

De plus, durant cette période, les actions pour conserver le sol furent rares et localisées et se sont soldées très souvent par des échecs. Ainsi par exemple, l'état, conscient du danger que représentait l'extension parallèle du minifundio et de l'érosion, voulut intervenir et incita les forestiers à lancer un vaste plan de reforestation. Jusqu'à la fin des années 1960, la seule espèce utilisée fut l'eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) puis au début des années 1970, on introduisit le pin (*Pinus radiata*) sur les parties hautes des bassins versants. Dans un cas comme

dans l'autre, l'intérêt de cette action fut très limité, le principal écueil étant la non-prise en compte des paysans qui songèrent davantage à couper les arbres, dans une région où le bois fait cruellement défaut, plutôt qu'à participer à un développement harmonieux et conservatoire du milieu (De Noni, Viennot, Trujillo, 1986). Dans quelques cas, des travaux mécanisés de terrassement furent proposés en complément de la reforestation mais de coût très élevé et inabordable pour le petit paysan (de 750 à 1 500 ECU/ha !).

Principaux résultats

C'est dans ce contexte où était recherchée une stratégie conservatoire mieux adaptée aux pentes andines que l'Orstom, à la demande et en partenariat avec le ministère équatorien de l'Agriculture, développa, de 1986 à 1992, un programme d'étude sur l'érosion des sols et la lutte antiérosive. La participation forte des paysans du minifundio et la prise en compte des conditions socio-économiques furent clairement affichées comme des composantes fortes du programme.

Plusieurs sites furent aménagés et étudiés du Nord au Sud des Andes équatoriennes. Parmi ceux-ci, l'exemple du site de Mojanda permet d'illustrer les résultats acquis en terme de stratégie et de lutte antiérosive. Les principales caractéristiques du site de Mojanda sont les suivantes :

- i) l'altitude est de 3300 m et la zone a connu un développement important du minifundio au cours des 30 dernières années,
- ii) l'occupation des sols est dense et les pentes sont fortes (de l'ordre de 40 %),
- iii) le sol dominant est un andosol hydraté saturé, argillo-limoneux, de 0,6 à 0,8 m d'épaisseur : l'érosion a déjà formé quelques ravines profondes sur les parcelles les plus anciennes.

Pendant 5 ans, on évalua l'efficacité de quelques ouvrages conservatoires composés de bandes isohypses, construites soit par enherbement du sol, soit par empilement de mottes de terre faisant office de muret (technique locale de construction) comme le pratiquent localement les paysans pour certaines de leurs constructions. L'objectif était de dissiper l'énergie du ruissellement par la formation progressive et naturelle de terrasses (terrasses progressives) derrière les ouvrages. Les observa-

Tableau 3 - Résumé des valeurs moyennes obtenues durant 5 ans dans la région de Mojanda

Table 3 - Mean values obtained after a 5 years treatment - Mojanda area

Systèmes	KRAM %	KRMAX %	Erosion t/ha/an
Sol nu travaillé	2 à 10	23 à 34	110 à 230
Syst. traditionnel	0,3 à 1	3 à 6	0,5 à 2
Syst. amélioré	< 0,3	1 à 2	< 0,5

tions furent réalisées sur de grandes parcelles de ruissellement (50m X 20m), installées chez les paysans et associant ces derniers à la compréhension des résultats.

Au terme de la période, les résultats obtenus sont positifs (tableau 3) :

- en situation non aménagée, les valeurs sont comprises, selon que le sol est travaillé et planté (système traditionnel) ou seulement travaillé (sol nu), entre 0,3 et 10 % de la pluie tombée pour les coefficients annuels moyens de ruissellement et entre 0,5 et 230 t/ha pour l'érosion ;

- en situation améliorée, les pertes en eau par ruissellement sont inférieures à 0,3 % et l'érosion inférieure à 0,5 t/ha/an (De Noni, Viennot, Trujillo, 1990).

Par rapport à l'exemple précédent de Médéa, on peut noter que l'indice d'érosivité des pluies, de l'ordre de 100, et la pente de 40 % sont légèrement plus élevés. Le sol, qui est un andosol, se classe avant sa mise en culture dans le groupe des sols dont l'indice d'érodibilité est très bas comme à Médéa ; en revanche sa structure s'effondre totalement après quelques années de cultures, d'où une accélération notable de l'érosion linéaire en situation non aménagée, notamment sur sol nu travaillé.

Outre ces aspects chiffrés et comparatifs des effets de l'érosion sur le sol, d'autres éléments utiles à la réussite d'une stratégie antiérosive ont été pris en compte et évalués. Ils concernent :

- le coût d'installation et d'entretien des ouvrages. Durant les 5 années de suivi, ce coût, estimé globalement à 200/250 ECU par hectare, était relativement bas et bien adapté aux conditions économiques du paysannat local. Il a pu être atteint grâce au choix de la technique de la terrasse progressive, peu exigeante en moyens humains au niveau du suivi, et à l'utilisation de matériaux autochtones ;

- les rendements : la récolte de pommes de terre a été multipliée par 2 et celle de fève par 4, garantissant ainsi aux paysans l'autosubsistance et laissant entrevoir la possibilité de participer à l'économie locale de marché.

Une fois validée sur les parcelles de ruissellement, la stratégie conservatoire fut appliquée en vraie grandeur à l'échelle d'un terroir de 25 ha. Une trentaine de familles participèrent à ce volet défini par les règles suivantes :

- aide technique gratuite aux familles volontaires pour l'installation sur les parcelles cultivées des méthodes testées expérimentalement,

- prêt à chacune de ces familles d'une somme d'argent de 150 ECU, remboursable au bout d'une année selon un taux d'intérêt très faible et destinée à améliorer la qualité des intrants (achat de semences améliorés, d'engrais etc.).

Au bout de deux années de suivi, il ressortait clairement que les agriculteurs géraient sans problème particulier les ouvrages conservatoires, qu'ils étaient satisfaits des rende-

ments obtenus et qu'ils respectaient les échéances annuelles de remboursement du crédit.

Cet exemple montre que la lutte antiérosive est possible sur les fortes pentes andines dans la mesure où la démarche est participative et qu'elle englobe les aspects liés à l'amélioration de la production de la terre et du travail (De Noni et Viennot, 1996).

CONCLUSIONS

La GCES présentée comme une nouvelle approche de la gestion de terroir, interpelle les paysans de pays très divers, en leur restituant leur pouvoir de décision face aux défis de la croissance démographique, de la pression foncière et de la mondialisation de l'économie. La lutte antiérosive n'est plus présentée, ni ressentie comme une fin en soi, mais comme un moyen indispensable pour intensifier la productivité de la terre et assurer la durabilité de l'agrosystème.

Plutôt que d'attendre que les terres soient trop dégradées, la sagesse n'est-elle pas d'intervenir d'abord sur les terres productives en modifiant les systèmes de production qui s'avèrent déséquilibrants. Le ruissellement et l'érosion excessifs ne sont pas des maladies mais des indicateurs d'un déséquilibre du système d'exploitation. Après avoir réduit les risques de ruissellement, il sera plus facile de stabiliser les ravines et de les rendre productives.

En revanche, les paysans ne peuvent maîtriser les phénomènes catastrophiques d'érosion : ravinements torrentiels, glissements de terrain, inondations, etc. L'état est seul capable, à travers ses services techniques spécialisés, d'intervenir pour le bien public dans la correction du réseau hydrologique et la protection des ouvrages d'art.

La GCES est encore jeune (10 ans) par rapport aux autres approches de lutte antiérosive. Elle est née d'un effort de réflexion des chercheurs et praticiens confrontés à un taux élevé d'échecs des approches d'équipement par l'administration centrale. Les exemples pris ici du NO de l'Algérie et des Andes de l'Equateur montrent qu'il est possible en utilisant cette stratégie de relever le double défi d'intensifier notablement la production des terres tout en réduisant les risques d'érosion.

BIBLIOGRAPHIE

- Arabi M., Roose E., 1989 - Influence de quatre systèmes de production en région méditerranéenne de moyenne montagne algérienne, ORSTOM, Bull. Réseau Erosion 9 : 39-51.
- Asseline J., Valentin C., 1978 - Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion, Cah. Orstom, sér. Hydrol., 15 (4) : 321-349.
- Auzet V., 1988 - L'érosion des sols par l'eau dans les régions de grande culture. Aspects agronomiques, CEREG, Strasbourg, 60 p.
- Bennett H., 1939 - Elements of Soil Conservation, Mac Graw-Hill, New-York
- Boiffin J., 1984 - La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies, Thèse de docteur-ingénieur, INA-PG, 320 p.
- Boiffin J., Papy F., Peyre Y., 1986 - Systèmes de production, systèmes de culture et risques d'érosion dans le pays de Caux, INRA, Paris.
- Boli Z., Bep A., Roose E., 1991 - Enquête sur l'érosion en région cotonnière du Nord Cameroun, Bull. Réseau Erosion 11 : 127-138.
- Charreau Cl., 1970 - Pluie et érosion, IRAT, Sém. Climatologie, Bambey, Sénégal, 12 p.
- Casenave A., Valentin C., 1989 - Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration, ORSTOM, Paris, 229 p.
- Collinet J. et Lafforgue A., 1979 - Mesures de ruissellement et d'érosion sous pluies simulées pour quelques sols de Haute Volta, Orstom, Abidjan, 129 p.
- Collinet J., 1988 - Comportement hydrodynamique et érosif de sols de l'Afrique de l'Ouest. Evolution des matériaux et des organisations sous simulations de pluies, Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 513 p.
- CTFT, 1969 - Conservation des sols au Sud du Sahara, Min. Affaires Etrangères et CTFT, Paris, 12.
- De Noni G., Trujillo (G.), Viennot (M.), 1986 - L'érosion et la conservation des sols en Equateur, Cah. ORSTOM, sér. Pédol. 22, 2 : 235-245.
- De Noni G., Viennot (M.), Trujillo (G.), 1990 - Mesures de l'érosion dans les Andes de Equateur, cah. ORSTOM, sér. Pédol. 25, 1-2 : 183-196.
- De Noni B., De Noni G., Viennot M., 1990 - Le poids de l'histoire sur la morphogénèse agricole des Andes de l'Equateur, in La terre et les hommes, Université de Clermont-Ferrand, APFLC, 511-534.
- De Noni G. et Viennot M., 1996 - Mutations récentes de l'agriculture équatorienne, conséquences sur la « durabilité » des agrosystèmes andins, Cah. ORSTOM, sér. Pédol. 23, 2 : 277-288.
- De Noni G., Viennot M. et Asseline, J., 1997 - L'homme, la montagne et l'érosion des sols : cas des Andes équatoriennes, 300 p. multigr. + 14 cartes, 18 tab., 66 fig. + annexes, en cours d'édition (ORSTOM).
- Derruau M., 1988 - Précis de géomorphologie, Masson, Paris, 533 p.
- Donkin R.A., 1979 - Agricultural terracing in the aboriginal new world, Viking fund publications in anthropology, Arizona, 196 p.
- Fournier F., 1960 - Climat et érosion, PUF, Paris, 194 p.
- Greco J., 1979 - La défense des sols contre l'érosion, La Maison Rustique, Paris, 183 p.
- Hénin S., Gobillot T., 1950 - L'érosion en France, CR Acad. Sci. Paris, 230, 1 : 128-130.
- Heusch B., 1970 - L'érosion du Pré-Rif, Annales rech. Forestière, Maroc 12 : 1-176.
- Hudson N.W., 1992 (a) - A study of the reasons for success or failure of soil conservation projects, FAO, 64, 65 p.
- Hudson N.W., 1992 (b) - Land Husbandry, Batsford, Londres, 192 p.
- Hudson N.W., 1995 - Soil conservation, Batsford, Londres, 391 p.
- Lafforgue A., Naah E., 1976 - Exemple d'analyse expérimentale des facteurs du ruissellement sous pluies simulées, Cah. Orstom, Hydrol., 13 (3) : 195-237.
- Lafforgue A., Naah E., 1977 - Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement. Application à une exploitation méthodique des données obtenues sous pluies simulées, Cah. Orstom, Hydrol., 14 (4) : 299-344.
- Le Bissonnais Y., 1988 - Comportement d'agrégats terreux soumis à l'action de l'eau : analyse des mécanismes de désagrégation, Agronomie, 8 (10) : 87-96.
- Le Bissonnais Y., 1990 - Experimental study and modelling of soil surface crusting processes, in R.B. Bryan (Ed.), CATENA Supplement 17 : 13-28.
- Liin Ch., 1986 - Histoire de la restauration des terrains de montagne, Cah. ORSTOM Pédol. 22 (2) : 139-146.
- Lovejoy J.B., Napier T., 1986 - Conserving soil : sociological insights, J. Soil and Water Conservation, 41 (5) : 304-310.
- Lowdermilk W.C., 1953 - Conquest of the land through seven thousand years, US Department of Agriculture Soil Service, 99.
- Neboit R., 1991 - L'homme et l'érosion, Université de Clermont-Ferrand, 34, 269 p.
- Plantié L., 1961 - Technique franco-algérienne des banquettes de DRS, Délégation Générale, Service DRS d'Oran, 22 p.
- Poesen J.W.A., Bryan R.B., 1990 - Influence de la longueur de la pente sur le ruissellement : rôle de la formation des rigoles et des croûtes de sédimentation, Cah. Pédol. 25, 2 : 71-80.
- Prat C., 1991 - Etude du Talpetate de la région centre-Pacifique du Nicaragua : genèse, caractérisation morphologique, physico-chimique et hydrodynamique. Son rôle dans l'érosion des sols. Thèse de doctorat, Uni. Paris VI, 350 p.
- Quantin P., 1992 - Etude des sols volcaniques indurés « Tepetates » des bassins de Mexico et Tlaxcala en vue de leur réhabilitation agricole, ORSTOM-CEE, 85 p.
- Roose E., 1967 - Dix années de mesure du ruissellement et de l'érosion à Séfa au Sénégal, Agron. Trop., 22, 2 : 123-152.
- Roose E., 1977 - Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest : 20 années de mesures, ORSTOM, Trav. Et Doc., 78, 108 p.
- Roose E., 1981 - Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale, Travaux et documents de l'ORSTOM, Paris, 569 p.
- Roose E., 1994 - Introduction à la GCES, Bull. Pédol. de la FAO, n° 70, Rome, 420 p.
- Shaxon T.F., Hudson N.W., Sanders D.W., Roose E., Moldenhauer W.C., 1989 - Land Husbandry : a framework for soil and water conservation, Soil and Water Cons. Soc., WASWC, Ankeny, Iowa, USA, 64 p.
- Smolkowski B., 1989 - Quelle stratégie pour l'aménagement intégré en Haïti ? Actes du colloque inter-régional Guadeloupe, Conseil Général/UNESCO, 14 p.
- Valentin C., 1985 - Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de régions subdésertiques, Thèse de 3ème cycle, Paris VII, Ed. Orstom, 259 p.
- Veyret Y., Pech P., 1993 - L'homme et l'environnement, PUF, Paris, 423 p.
- Vogt H. et Vogt Th. (Edit.), 1979 - Erosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen, Institut de Géographie de Strasbourg et INRA, 251 p.
- Wischmeier W.H., Smith D.D., 1958 - Rainfall energy and its relationship to soil loss, Trans. Amer. Geophys. Union 39 : 285-291.
- Wischmeier W.H., 1966 - Surface runoff in relation to physical and management factors, Proc. 1st Pan. Am. Soil Cons. Congress Sao Paulo, Brazil, 237-244.
- Wischmeier W.H., Smith D.D., 1978 - Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning, USDA, 537, 58 p.
- Zebrowski C., 1992 - Los suelos volcanicos endurecidos en America latina, in Terra, Mexico, 10, 15-23.

