

L'ÉROSION A L'ORSTOM :

40 ANS DE RECHERCHES MULTIDISCIPLINAIRES

par

Eric Roose, Georges De Noni, Jean-Marie Lamachère

Réseau Erosion du Centre ORSTOM, BP 5045, F 34032 Montpellier, France

INTRODUCTION

L'érosion est un processus complexe vieux comme le monde : il concerne l'arrachement, le transfert et la sédimentation de particules par l'eau, le vent ou la gravité. Depuis l'origine de la terre, l'érosion façonne les reliefs et construit les plaines, lesquelles nourrissent la majorité des populations du monde.

En agglomérant des peuples autour des villes, chaque civilisation a créé les conditions favorables au ruissellement, à la dégradation des sols et à l'accélération de l'érosion : ce phénomène s'est encore accentué aujourd'hui (voir les inondation de Nîmes en 1987 ou les écoulement boueux de Sarno, en 1998). Face aux risques liés à l'érosion, les anciennes sociétés rurales ont élaboré empiriquement des stratégies permettant de conserver les sols et de maintenir la productivité des terres. Mais lorsque la population et ses besoins évoluent trop vite, se développe une crise à la fois socio-économique et érosive à la quelle la société tente de répondre soit par l'émigration d'une partie de la population, soit par la mise au point de nouvelles techniques d'aménagement plus intensives et plus durables. Lutter contre l'érosion est donc une activité humaine fort ancienne, remise à l'ordre du jour par l'urbanisation incontrôlée et par la mise en culture de terres particulièrement sensibles à ce phénomène.

L'ambition de ce numéro spécial sur l'érosion est de rassembler le témoignage des nombreux chercheurs de l'ORSTOM, agronomes, pédologues, géographes et hydrologues qui ont consacré une large part de leurs travaux aux diverses facettes des problèmes d'érosion, dans des conditions écologiques et humaines très variées. Ils ont étudié les causes et les facteurs conditionnant l'importance de l'érosion, à diverses échelles (de l'agrégat à la parcelle et des versants jusqu'aux grands fleuves) , sous pluies naturelles ou simulées. Ils ont aussi évalué les méthodes traditionnelles et modernes de lutte antiérosive et, plus récemment, proposé une nouvelle approche de la gestion des eaux de surface, de la biomasse et de la fertilité des sols permettant de restaurer, en quelques années, la capacité de production des terres dégradées.

1/ Les premiers travaux en Afrique et à Madagascar.

Depuis 7000 ans, l'homme accumule les traces de ses luttes pour maîtriser les diverses formes de l'érosion et améliorer la gestion de l'eau et de la fertilité des sols (Lowdermilk, 1953). Mais les recherches sur l'origine et les facteurs de l'érosion en parcelles expérimentales n'ont commencé qu'en 1890 en Allemagne, dans les années 1935 aux USA et 1954 en Afrique francophone.

C'est à l'occasion de plusieurs missions aux Etats Unis vers les années 1950 que Georges Aubert, Frédéric Fournier et Roger Fauck découvrirent l'importance des recherches américaines sur la conservation de l'eau et des sols. Aussitôt Fournier et Fauck (1954), s'appuyant sur les stations agronomiques de l'ORSTOM et des futurs instituts du CIRAD, installèrent un premier réseau de parcelles de mesure du ruissellement et de l'érosion en

Afrique occidentale et à Madagascar. Plus tard, les hydrologues de l'ORSTOM ont étudié les débits liquides (Rodier, 1964) et les transports solides (Colombani, 1967 ; Billon, 1968 ; Carré, 1972 ; Nouvelot, 1972) des grands fleuves et de quelques petits bassins expérimentaux (Vuillaume, 1969 ; Mathieu, 1972 ; Molinier, 1976). Ils s'intéressent également à l'envasement des retenues de barrages en Tunisie (Claude et Chartier, 1977) et, avec la collaboration d'autres disciplines, aux dépôts alluvionnaires de l'oued Medjerda (Claude et al., 1977). Des géographes comme Rougerie en Côte d'Ivoire (1958, 1960), Bonvalot en Tunisie (1970), Avénard au Maroc (1989) ont quantifié les processus, évalué les facteurs et les méthodes de lutte et cartographié les risques des divers processus d'érosion.

A la faveur de ces premiers travaux, les chercheurs découvrent que la mise en valeur des sols tropicaux est difficile, car aussitôt la végétation luxuriante défrichée et rangée sur des andains, les matières organiques minéralisent, les sols se dégradent rapidement, l'érosion se déchaîne et la production des cultures décline en 2 à 5 ans (Fauck, 1954-69). Les sols forestiers, initialement les plus fertiles sont aussi très fragiles, car l'essentiel de leur fertilité se trouve concentré dans la litière et l'humus des 20 premiers centimètres. En réalité, la luxuriance de la végétation est un leurre, car elle vit de sa décomposition et les sols tropicaux ferrallitiques, une fois dépouillés de l'humus ne stockent que peu d'eau et de nutriments. Dès qu'on libère le sol de la végétation et que le sol nu est soumis à l'énergie de battance des gouttes de pluie, la surface se ferme, s'encroûte et le ruissellement s'accélère ainsi que l'érosion en nappe : celle-ci érode sélectivement les particules fines (MO, argiles, limons et nutriments adsorbés) qui constituent l'essentiel de la fertilité d'un sol (Roose, 1973). Fournier (1960) montre que les transports en suspension dans les grands fleuves dépendent de la répartition des pluies, de la pente du bassin et de la végétation : il en tire la carte des risques d'érosion en Afrique. Fauck (1954), montre que l'érosion augmente avec la pente, mais démarre sur des pentes très faibles (1% en Casamance). Dabin et Leneuf (1958) étudient l'impact des plantes de couverture et prouvent qu'on peut maîtriser l'érosion en nappe avec un simple paillage de 1cm d'épaisseur. Morel, Quantin et Combeau (1962) montrent en Centre Afrique que la fragilité des agrégats et l'érosion dépendent de l'abondance et du type d'humus du sol. Celui-ci diminue rapidement durant la culture et augmente progressivement durant les 3 à 10 ans de jachère qui succèdent aux cultures.

La synthèse de ces premiers travaux régionaux a été réalisée par Fournier (1967), Fauck (1969), Quantin et Combeau (1962), Charreau (1972), Roose (1968-73-75), et le CTFT (Goujon P., Bailly C, de Vergnette J., Benoit de Coignac G, Roche P en 1968).

2/ Modélisation de l'érosion en nappe sur parcelles

Pour pousser plus loin l'analyse systématique des causes et des facteurs de l'érosion dans les champs cultivés, il a été nécessaire de mettre en place un réseau de parcelles expérimentales, de standardiser les protocoles et d'introduire les parcelles nues, témoins universels permettant de rattacher les expérimentations au modèle américain « USLE » (Wischmeier et Smith, 1960). C'est un modèle empirique liant les pertes en terre au bas d'une parcelle cultivée standard au produit d'un indice d'érosivité des pluies par quatre facteurs de résistance du milieu : l'érodibilité d'un sol nu, la topographie, le couvert végétal et enfin les pratiques culturales antiérosives.

L'érosivité des pluies a été dépouillée sur 10 ans pour 20 postes enregistrant les intensités. Des cartes de l'érosivité des pluies ont été dressées pour l'Afrique occidentale et centrale (Roose 1973, 1977). Cette étude a montré que les pluies tropicales peuvent être, en moyenne, 20 à 100 fois plus agressives que celles des régions tempérées, 2 fois plus érosives qu'en montagne tropicale et 5 fois plus agressives qu'en montagne méditerranéenne

L'érodibilité des sols dépend de leur mode de formation (pédogenèse), mais surtout de leur texture (lithologie), des matières organiques et de la stabilité de leur structure, ces deux dernières évoluant avec le mode d'exploitation. Ainsi, la sensibilité des sols à l'érosion peut changer au fil des années. (Quantin, Combeau, 1962 ; Roose, 1973, 1980, 1989). Ce thème des liens entre les matières organiques du sol, son agrégation et son érodibilité est au centre des préoccupations du Laboratoire d'étude du Comportement des Sols Cultivés (LCSC de Montpellier) à la recherche d'**indicateurs de la dégradation des sols** et des risques potentiels d'érosion et ruissellement (Barthès, Albrecht, Asseline, De Noni, Roose, Viennot, 1998).

L'influence de la pente est complexe. Dans plusieurs cas, on a observé une réduction du volume ruisselé lorsque la pente augmente (Roose 1973, 1993), mais, le plus souvent, l'érosion augmente avec la pente car se développe une érosion en rigole dix fois plus agressive que l'érosion en nappe. Dans certains cas la position topographique est prépondérante: l'érosion se manifeste alors sur les glacis ou terrasses de bas de pente et remonte vers le sommet des versants plus inclinés (Roose 1994 ; De Noni , Viennot, 1997). Quant à la longueur de pente sur laquelle les manuels ont basé la lutte antiérosive classique (terrasses), il semble que son influence sur la naissance de rigoles dépend de diverses interactions avec la rugosité et la perméabilité du sol, le type et l'abondance du couvert végétal.

Le couvert végétal et les systèmes de culture sont sans aucun doute les facteurs les plus puissants pour réduire les risques d'érosion (Roose, 1973-77-80-94 ; Fritsch, 1992). Point n'est besoin de garder une haute forêt dense pour protéger le sol : la litière et la végétation basse sont tout aussi efficaces que la canopée dressée pour absorber l'énergie des pluies et du ruissellement (Roose, 1973-94 ; Valentin, 1981). Alors que le labour améliore temporairement l'infiltration, il expose le sol nu à l'agressivité des pluies, réduit sa cohésion, enfouit les matières organiques et favorise leur minéralisation en aérant l'horizon humifère. Le semis direct sous litière est une tentative de se rapprocher du milieu naturel où le sol reste couvert et protégé de l'agressivité des pluies. Comme dans le milieu naturel, il n'est aéré que par la mésofaune. Les nutriments sont prélevés par les racines profondes des arbres et concentrés en surface par les apports de litière (Leprun, 1986; Blancaneaux et al. 1993; Boli et al. 1993). La matière organique (MO) intervient à plusieurs niveaux pour réduire les risques d'érosion. A court terme, la MO enfouie ne réduit nettement ni le ruissellement, ni l'érosion (Boli et al. 1993; Roose, Assogba, Guillermin, 1997 ; Barthès et al. 1997). Mieux vaut la maintenir à la surface du sol, gérer les adventices et favoriser les activités de la mésofaune, de manière à protéger efficacement la surface du sol contre l'énergie des pluies et du ruissellement (Roose, 1994).

Diverses techniques antiérosives ont été testées en parcelles sur versants : elles ont pour effets de freiner les eaux de ruissellement à travers une bande enherbée (Roose et Bertrand, 1971; Boli et al. 1993; De Noni et Viennot 1993), une haie vive (Ndayizigiye et Roose 1993; Smolikowski et al., 1997 ; Boli Roose et al., 1998) ou un cordon pierreux (Lamachère et Serpantié 1991-92). Il apparaît que la diversion des eaux excédentaires dans divers canaux est moins efficace que la dissipation de l'énergie à travers un microbarrage perméable qui filtre et ralentit l'eau, mais ne l'accumule pas derrière une digue imperméable (Roose, 1986 ; De Noni et Viennot, 1996).

3/ La simulation de pluies et la dynamique du ruissellement.

Parce que les pluies érosives sont variables dans le temps et dans l'espace, des chercheurs américains (Meyer, 1965 ; Swanson, 1966) ont développé des simulateurs de pluies, dispositifs mobiles capables de produire à volonté des pluies d'intensité, de hauteur et d'énergie semblables à celles des pluies naturelles. Il est alors devenu possible de raccourcir les

temps d'observation de terrain et de simuler des averses de fréquence rare, celles qui causent le plus de dégâts. La méthode a été introduite en Afrique par Hudson en Rhodésie (1960), puis par une équipe de pédologues et hydrologues de l'ORSTOM à deux échelles :

- le modèle Swanson, adapté par Asseline, Roose et Collinet, simule 4 intensités de pluie (45-60-90-120 mm/h.) sur 200 m² et permet d'étudier l'érosion en nappe et rigoles sur différents sols et systèmes de production. Il a effectué 13 missions entre la forêt subéquatoriale de Côte d'Ivoire (Roose et Asseline, Lafforgue et Naah, 1976-77) et les savanes soudano-sahéliennes du Burkina Faso et du Niger (Asseline, Collinet, Lafforgue et Valentin, 1975-81 ; Collinet 1988).

- Le minisimulateur, type ORSTOM, mis au point par Asseline et Valentin (1979), n'arrose que quelques m², le dispositif d'arrosage étant monté sur un derrick de 4 m de haut. Ce modèle, beaucoup plus mobile et moins coûteux, a permis d'étudier la variabilité du ruissellement et de l'infiltration en fonction de l'intensité des pluies, des sols, de leurs états de surface et de leur humidité préalable. En Afrique de l'Ouest, il a permis également d'évaluer l'effet de la battance des pluies sur le volume et la charge solide déplacée à l'échelle du mètre carré. Il a d'abord été utilisé au Sahel pour modéliser le ruissellement des petits bassins versants en association avec une cartographie des états de surface et l'observation des écoulements au cours d'une saison de mesures des pluies et des débits sur bassins versants (Casenave, 1982 ; Chevallier et Valentin, 1984 ; Thébé, 1987 ; Albergel, 1987 ; Bricquet et al., 1987 ; Casenave et Valentin, 1989 ; Lamachère et Puech, 1995-1997).

En France, le minisimulateur ORSTOM a servi à estimer la dégradation de l'infiltration sous l'effet de la battance des pluies sur des sols à texture très diverse, soumis à des techniques culturales variées. (5 thèses à l'université d'Orléans avec la coopération de l'Inra et de plusieurs Chambres d'Agricultures). Il en est conclu que ces sols se dégradent par deux voies différentes, par encroûtement des sols limono-argileux ou par tassement des sols sableux. Quel que soit le type génétique du sol, dès qu'il est labouré et exposé à la battance des pluies, la charge solide du ruissellement augmente significativement. La gestion des résidus de récolte à la surface du sol est donc une des techniques les plus efficaces pour réduire les risques de ruissellement et d'érosion (Lelong, Roose, Darthout, Trevisan, 1995). Avec la Chambre d'Agriculture de l'Aveyron, l'équipe du LCSC a testé l'érodabilité du sol en fonction de diverses techniques culturales et apports organiques et minéraux (Barthès et al, 1997).

La méthode de simulation de pluie a aussi été diffusée en Amérique latine (Brésil, Equateur, Costa Rica, Mexique, Nicaragua) pour définir les propriétés des sols liées à la dynamique de l'eau, à la naissance du ruissellement et de l'érosion. (Audry, Asseline, De Noni, Collinet, Molinier, Prat, Viennot, Leprun). En Equateur, la simulation de pluies a montré la forte érodabilité des andosols dès lors qu'ils sont cultivés et les risques de ruissellement des cangahua, andosols indurés décapés (De Noni, Viennot, Asseline, 1997).

4/ Les autres processus et les bilans de matières sur bassins versants.

Les phénomènes d'érosion comportent une série de processus complexes aboutissant à l'arrachement de matières par des énergies diverses (gouttes de pluie, ruissellement, vent) ou plus simplement sous l'effet de la gravité. Le transport et le dépôt des sédiments, avec ou sans triage des particules, font également partie des processus associés à l'érosion.

A l'Orstom, deux programmes de recherche seulement concernent les transports solides par le vent : les apports de limons en suspension dans les nuages (Orange au Sénégal, RCA et Mali) et la saltation des sables au Niger (Rageot). Rares sont également les programmes de recherche qui ont étudié l'érosion linéaire (Olivry et Hoorelbeck, 1988) et surtout les glissements de terrain (Bonvallot, 1984 ; Avenard, 1989). Mais de très nombreux programmes

de recherche ont étudié l'érosion en nappe, les causes et les facteurs qui en modifient l'expression.

Les processus érosifs et les bilans de matières transportées évoluent en fonction de l'échelle d'observation. Les pédologues se sont penchés d'avantage sur la stabilité des agrégats et des mottes, sur l'érosion à l'échelle des champs (superficies de 1 à 1000 m²). D'autre part, les hydrologues ont abordé le problème du ruissellement et de l'érosion à une échelle plus globale, à l'exutoire d'un canal drainant l'ensemble d'un bassin versant sur des superficies variant de 1 à 100 000 km² (Vuillaume, 1969 ; Molinier, 1976 ; Servat, 1984 ; Fritsch, 1992 ; Nouvelot, 1993 ; Olivry et Boulègue, 1995). Les problèmes d'échelle entre pédologues et hydrologues sont donc difficiles à résoudre et les études entreprises ensemble avec les simulateurs de pluies ont permis de mieux comprendre les différences des objets de nos études (Collinet 1988 ; Casenave et Valentin 1989). D'importants efforts restent à accomplir pour comprendre et appréhender les processus érosifs associés au ruissellement à l'échelle du versant (Planchon, 1991 ; Peugeot 1995 ; Smolikowski et Roose, 1997). Une intéressante étude débute au Mali pour tenter de relier la charge solide des petits affluents du fleuve Niger au ruissellement et à la charge solide des parcelles situées tout au long de la toposéquence et des ravines qui intègrent progressivement les eaux chargées du sommet des collines jusqu'à la plaine alluviale. (Thèse Diallo). Elle tente d'adapter au Mali les itinéraires techniques étudiés au Cameroun pour la production intensive et durable du coton et du maïs, deux cultures essentielles dans la zone soudano-sahélienne (Boli et al., 1993).

A l'échelle des grands bassins fluviaux, un ouvrage récent associant hydrologues et géochimistes (Olivry et Boulègue 1995) fait le point des connaissances sur le fonctionnement des grands hydrosystèmes intertropicaux :

- Bandama, Côte d'Ivoire (Mathieu, 1972, Monnet, 1971, etc.)
- Congo (Olivry, Bricquet et al. 1988 ; Orange, Olivry et al. 1995),
- Niger (Olivry et al. 1995),
- Amazone (Guyot, 1992 ; Guyot, Bourges et Cortez, 1994).

Des travaux importants, associant hydrologie et géochimie, ont été aussi réalisés sur le lac Tchad (Gac, 1980 ; Olivry et al., 1997) et sur la Medjerda en Tunisie (Rodier et al., 1981).

Pour le fleuve Congo, le flux moyen spécifique en matières solides et dissoutes est de 26,3 t/km²/an, 20 t/km²/an pour le Niger supérieur, 293 t/km²/an pour le Rio Madeira, principal affluent andin de l'Amazone. Sur le Congo à Brazaville, l'érosion mécanique (suspensions = 88 kg/ha/an) constitue 33% du flux de matières contre 67 % pour l'érosion chimique (éléments dissous). Sur le Rio Madeira à Villabella l'érosion mécanique correspond à 85% du flux total de matières.

A pluviométrie annuelle équivalente, 1 km² du Rio Madeira produit ainsi 2 fois plus d'eau, 4 fois plus de matières dissoutes et 30 fois plus de matières particulières que 1 km² du bassin du Congo.

5/ Evolution des stratégies de lutte antiérosive.

51. Des stratégies traditionnelles dont l'efficacité est liée au contexte social et économique

Pour faire face aux problèmes de dégradation des sols, les sociétés rurales ont développé des stratégies de gestion de l'eau et de la fertilité des sols dont l'efficacité est liée au milieu physique et plus encore aux conditions socio-économiques locales. Par exemple, la culture sur brûlis, connue sur les 4 continents, est une méthode non destructrice des sols tant que la population ne dépasse pas 10 à 40 habitants par km² en économie de subsistance. Il faut

en effet 10 à 50 ans de jachère pour reconstituer la fertilité d'un sol cultivé durant 2 à 5 ans après brûlis. Dès que la pression foncière augmente du fait des besoins croissants de la population, la durée de repos du sol diminue et sa fertilité se dégrade. A l'autre extrême se trouvent les terrasses en gradins développées depuis des siècles autour de la Méditerranée, (mais aussi en Afrique, en Asie et en Amérique latine). Elles n'apparaissent que là où manquent les terres planes, où les salaires sont bas et la main d'oeuvre abondante. Comme il faut 1000 à 1500 jours de travail pour aménager un hectare, les terrasses ne se développent que là où il y a une forte pression démographique, militaire ou religieuse, et où la rentabilité des cultures est élevée (irrigation fréquente).

En Tunisie, Bonvalot (1986) a étudié le système traditionnel des « jessours », digues de terre qui permettent de construire de minuscules jardins multiétagers en collectant au fond des vallons arides les eaux de ruissellement des versants et leur charge en limons. Au Nord-Cameroun, Seignobos a montré comment les Mafa sur les Monts Mandara, créent des sols cultivables en accélérant l'altération des éboulis de granite (jus de fumier, feux sous roche, semis de graines d'arbustes dans les fissures et aménagement des fourmillières) et la formation de minuscules terrassettes (construction de murettes de pierres reliées par diverses herbes, drainées par des chemins d'eau empierrés). On verra plus loin les techniques complexes du « zaï » développées par les Mossis pour récupérer les glacis de sols profondément dégradés (Roose et al. 1993). Enfin, Lamachère et Serpantié (1992) ont testé l'efficacité des cordons de pierres et du travail du sol en zone sahélienne du NO du Burkina.

Ces nombreuses techniques traditionnelles, souvent très efficaces, sont actuellement abandonnées car elles n'arrivent plus à répondre aux défis actuels : la population a été multipliée par 5 depuis le début du siècle et double tous les 25 ans, les besoins monétaires ont beaucoup augmenté et le travail de conservation des sols n'est pas rentable à court terme.

52. Des stratégies modernes d'équipement rural hydraulique pas toujours adaptées

Devant l'inefficacité des méthodes traditionnelles, le Pouvoir Central a chargé ses services techniques de proposer pour le bien commun, des solutions aux problèmes de dégradation de l'environnement qui cachent aussi des crises sociologiques. Sur le pourtour du bassin méditerranéen et aux Etats Unis, d'importantes opérations de protection et de conservation des eaux et des sols ont ainsi vu le jour.

521 : La RTM (restauration des terrains de montagne) a été créée en 1850 par les forestiers pour restaurer, en montagne, les sols dégradés par le surpâturage des terrains communaux. Des travaux exemplaires (reforestation des hautes vallées, correction des lits des torrents) ont été réalisés dans les Alpes et dans les Pyrénées pour protéger les axes de circulation et l'aménagement des vallées (irrigation, villes, industries). Les problèmes des éleveurs pauvres ont été « résolu » par l'émigration vers les villes industrielles et les colonies.

522. : La CES (conservation de l'eau et des sols) est née aux USA lors de la crise économique de 1930. Suite à la mise en valeur agricole des terres fragiles de la grande prairie par les paysans immigrés d'Europe, une érosion éolienne catastrophique s'est développée, provoquant les fameux « dust bowl », nuages de poussière si denses qu'il faisait noir en plein jour. Bennet, le père des « conservationnistes » a créé, dans chaque comté des USA, un service d'agronomes chargés d'aider les paysans volontaires (aides technique et financière) pour conserver la productivité de la terre et la qualité des eaux.

523. La DRS (défense et restauration des sols) s'est développée de 1940 à 1980 autour du bassin méditerranéen pour faire face à la dégradation des terres et aux problèmes d'envasement

très rapide des barrages . Il s'agit du mariage entre les deux précédentes approches pour reforester les têtes de vallée, corriger les ravines et torrents et aménager des banquettes sur les terres cultivées sur versants pentus.

En 1987 à Porto Rico, eut lieu un séminaire pour analyser les causes de l'échec de ces stratégies, énoncer les conditions de réussite des projets de lutte antiérosive (LAE) et proposer une nouvelle approche. Aux USA, malgré 50 ans de CES et des milliards de dollars investis, plus de 25% des terres cultivées perdent encore plus de 12 t/ha/an, limite tolérable pour protéger la productivité des terres et la qualité des eaux. En Afrique, les paysans s'opposent aux techniques mécaniques proposées par les technocrates : les terrasses et les diguettes font perdre 8 à 20 % des surfaces cultivables, elles n'arrêtent pas la dégradation de la productivité, réduisent la liberté de circulation et gênent la mécanisation. Mais surtout, les paysans africains craignent que, à travers ces aménagements, l'Etat tente de mettre la main sur la propriété des terres gérées traditionnellement par le droit coutumier.

Peu d'études scientifiques ont été conduites sur l'efficacité des méthodes antiérosives. Au Bénin, Verney, Volkof, Willaime (1968) ont montré que le ruissellement et l'érosion ne changent guère avec la longueur de pente. Il en va de même au Cameroun sur des sols ferrugineux sableux sauf s'il se développe une érosion linéaire (Boli, Roose et al, 1993). En Algérie, l'enquête menée par l'équipe INRF-ORSTOM avec la collaboration des Eaux et Forêts, a fait ressortir que sur 350 000 ha aménagés, plus de 20% ont disparus, plus de 60% sont dégradés car jamais entretenus; quant aux aménagements en bon état, il n'est pas démontré que l'érosion y pose des problèmes majeurs. On peut toujours penser que sans ces aménagements imparfaits, la situation aurait été pire, mais les chercheurs constatent que, malgré 40 années d'investissements lourds pour imposer la DRS, les terres continuent à se dégrader, les barrages à s'envaser rapidement (30 à 50 ans) et le bois d'oeuvre à manquer cruellement.

53. La GCES, une stratégie participative de développement rural et de gestion de terroir

Devant l'importance des échecs des grands projets comprenant un volet de lutte antiérosive, un groupe de chercheurs et de praticiens ont proposé une nouvelle approche tenant compte des leçons des échecs et des réussites du passé . Cette approche est décrite dans une série de livres intitulés « Land husbandry » (Shaxson, Hudson, Sanders, Roose, Moldenhauer, 1987; Hudson 1992), expression traduite par GCES : gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols.(Roose, 1994). Le principe est simple. Pour que l'action d'aménagement soit durable, la participation paysanne est indispensable et il faut donc résoudre d'abord les problèmes majeurs liés à la valorisation de la terre et du travail. Le défi à relever est de doubler la production en 25 ans au rythme de la croissance démographique, tout en réduisant sérieusement les risques de ruissellement et de dégradation des sols par érosion. Ceci ne peut se faire sans restituer le pouvoir d'innovation aux paysans pour modifier et intensifier le système de production, améliorer la couverture végétale et l'infiltration, en résumé gérer au mieux l'eau, la biomasse et les nutriments disponibles.

Cette nouvelle démarche entraîne un changement des mentalités et demande du temps. On distingue trois étapes : 1) une étape de sensibilisation, de dialogue et d'enquête rapide sur les problèmes afin de préciser la perception paysanne de la situation, le développement des dégâts au cours des saisons, les facteurs actifs et les stratégies traditionnelles de gestion de l'eau et de la fertilité des sols ; 2) une étape de démonstration et d'expérimentation chez les paysans volontaires des diverses techniques proposées pour quantifier la gravité des risques, la faisabilité des techniques, leur efficacité et leur coût ; 3) enfin une étape d'évaluation par la

communauté (villageois + chercheurs + développeurs) et de planification à l'échelle du terroir, voire d'une région ou d'un petit bassin versant.

Cette approche fait encore l'objet de recherches d'accompagnement, mais elle a déjà donné des résultats intéressants en France (Pas de Calais, Aveyron), au Burkina (Roose, Dugué, Rodriguez, 1992-93), Algérie (1985-93), Rwanda (1988-93), Cap-Vert (1993-97), Cameroun (1996-98), Equateur (1990-98). Signalons en particulier les recherches sur un nouveau mode de gestion des eaux sur les versants où il s'agit non pas de canaliser le ruissellement vers des exutoires aménagés (qui se transforment inmanquablement en ravines), mais de réduire la concentration des eaux en étalant le ruissellement et en ralentissant la vitesse d'écoulement par augmentation de la rugosité du sol par des micro-barrages perméables tels que des bandes enherbées en Côte d'Ivoire, (Roose et Bertrand, 1971 ; Boli et al., 1993), des talus enherbés en Equateur (De Noni et Viennot, 1993), des cordons de pierres au Burkina (Lamachère et Serpantié, 1991) ou encore des haies vives de légumineuses arbustives au Cap-vert, Rwanda, et Cameroun (Smolikowski, Roose, 1997 ; Ndayizigiyé et Roose 1993; Boli et al., 1993).

6/ La restauration de la productivité des sols.

Les pédologues présentent généralement les sols comme une ressource naturelle non renouvelable, ce qui inquiète les écologistes vu la rapidité avec laquelle les sols se dégradent (7 à 10 millions d'hectares par an), la lenteur de l'altération des roches (0,01 mm/an) et la croissance démographique des pays tropicaux (doublement de la population tous les 25 ans). S'il est effectivement irréaliste de vouloir restaurer des sols décapés jusqu'à la roche lorsque celle-ci est dure, il n'en va pas de même sur certaines roches comme les argilites, marnes, schistes et basaltes qui s'altèrent à raison de 10 à 20 mm par an en régions chaudes et surtout lorsque le sol dégradé comporte encore une couche suffisante de matériaux meubles.

Le paradoxe, c'est qu'on parvient à restituer aux terres dégradées leur capacité de production avant même que l'amélioration de leurs propriétés soit notable lors des analyses classiques. En d'autres termes, s'il est difficile de réhabiliter les caractéristiques d'un sol vierge, il est possible de rendre au sol, en 1 ou 2 ans, sa capacité de production. Il suffit pour cela de respecter les six règles que nous ont indiquées les techniques traditionnelles africaines (voir Zai au Burkina et terrasses des Mafa au Cameroun) :

- * maîtriser le ruissellement et l'érosion du champs par des micro-barrages perméables,
- * rétablir la macro-porosité du sol et l'enracinement profond par le travail profond,
- * stabiliser la porosité par l'enfouissement simultané de matières organiques,
- * revitaliser l'horizon de surface par l'apport de MO fermentées (fumier, compost),
- * remonter le pH au-dessus de 5 pour éviter la toxicité aluminique et manganique,
- * assurer la nutrition équilibrée des cultures en complétant la fumure organique par un engrais minéral (un peu d'azote et surtout du phosphore assimilable).

Au Burkina, la production de sorgho sur sols bruns dégradés (zippelés) est passée de 150 kg/ha de grains sur témoin, à 800 kg sur ZAÏ avec fumier et à 1500 kg avec un petit complément minéral (N35+P25+K10 kg/ha/an). En Amérique latine, les sols volcaniques ont souvent des niveaux de cendres plus ou moins soudées (nommés talpetate au Mexique, cangahua en Equateur) : leur broyage, complété par un apport de matières organiques, un complément minéral et un aménagement antiérosif, permet de les remettre en culture en 2 à 5 ans. (Quantin, Prat, Zebrowski, 1993 ; De Noni, Janeau, Prat, Trujillo, Viennot, 1997).

7/ Conclusions

* Bien que l'érosion apparaisse rarement comme titre d'un programme de recherche, de nombreuses études ont été réalisées par une quarantaine de pédologues, géographes, hydrologues et agronomes de l'Orstom depuis 1954.

* Les premières études ont concerné les processus, les facteurs, l'extension spatiale et la quantification de la dégradation des sols par l'érosion en Afrique. Elles s'orientent de plus en plus vers la recherche de solutions aux problèmes de développement rural durable, à l'alimentation en eau de qualité, aux liens entre l'érosion et la pollution de l'environnement, à la prise en compte du milieu humain.

* Une série d'études récentes ont montré qu'il n'est pas utopique de tenter la restauration de la capacité de production des sols dégradés en respectant simultanément six règles édictées par l'observation des techniques traditionnelles de gestion de l'eau et de la fertilité des sols. L'analyse plus approfondie de ces techniques permet de découvrir leur complexité, leur variété, leurs limites, leur extension et les possibilités de les améliorer en les croisant avec des techniques modernes complémentaires. Ces études peuvent améliorer nos connaissances sur le milieu physique et humain.

* Bien que la lutte antiérosive empirique soit très ancienne, il reste de nombreux domaines peu explorés par les scientifiques. Citons à ce propos le coût et les conséquences de l'érosion, la gestion des adventices et autres litières protectrices, les processus du ruissellement et de l'érosion sur fortes pentes, la gestion des eaux excédentaires à l'échelle du versant, les indicateurs de risques d'érosion en nappe, en rigole, en ravine et en masse ; l'érosion mécanique sèche causée par la poussée des outils de culture.

Devant le défi posé par la formidable poussée démographique des pays tropicaux, le domaine le plus urgent paraît être la mise au point de systèmes de gestion durable et intensive de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols .

Mots clés : Processus d'érosion, modélisation des facteurs, stratégies de lutte antiérosive, GCES, restauration de la productivité des sols, simulation des pluies, bilans des grands fleuves.

Bibliographie :

- Asseline J. 1997. - Le simulateur de pluies type ORSTOM adapté aux zones arides
Bull. Réseau Erosion n° 17 : 272-281.
- Avenard J. M., 1989. - Sensibilité aux mouvements en masse.
Cah. ORSTOM Pédol. 25, 1 : 119-130.
- Barthès B., Albrecht A., De Noni G., Asseline J., Roose E., Viennot M., 1997. - Pratiques culturales et érodibilité du sol dans les Rougiers de Camarès (Aveyron, France), soumis à Etudes et Gestion des Sols, Orléans.
- Billon B. 1968. Mise au point de mesures de débits solides en suspension (République du Tchad). Cah. ORSTOM Hydrol., 5, 2 : 3-13.
- Boli Z., Roose E., Bep Aziem B., Sanon K., Waechter F., 1996. - Effets des techniques culturales sur le ruissellement, l'érosion et la production de coton et maïs sur un sol ferrugineux tropical sableux. Recherche de systèmes de culture intensifs et durables en région soudanienne du Nord-Cameroun. Cah. Orstom Pédol., 28, 2 : 309-326.
- Bonvallet J. 1984. Glissement de terrain et aménagement du milieu naturel dans une montagne méditerranéenne humide (Atatfa en Kroumirie, Tunisie septentrionale. In : Le développement rural en question. Mémoire ORSTOM, 106 : 29-54.

- Bonvallet J. 1986. Tabias et jessour du Sud Tunisien. Agriculture des zones marginales et parade à l'érosion. Cah. ORSTOM Pédol. 21, 4 : 237-251.
- Carré P. 1972. Quelques aspects du régime des apports fluviaux de matériaux solides en suspension vers le lac Tchad. Cah. ORSTOM Hydrol. , 9, 1 : 19-45.
- Casenave et Valentin C. 1989. Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM, Paris, coll. Didactiques. 229 p.
- Charreau C. 1969. Influences des techniques culturales sur le ruissellement et l'érosion en Casamance. Agron. Trop., 24 , 9 : 836-842.
- Charreau C. 1972. Nécessité agronomique d'une intensification des systèmes agricoles en zone tropicale sèche : ex du Sénégal. Bull.Rech. Agron.Gembloux, n° hors série : 204-212.
- Claude J. et Chartier R. 1977. Mesure de l'envasement dans les retenues de six barrages en Tunisie, campagne 1975. Cah. ORSTOM, Hydrol. , 14, 1 : 3-35.
- Claude J., Francillon G. et Loyer J. Y. 1977. Les alluvions déposées par l'oued Medjerda lors de la crue exceptionnelle de mars 1973. Cah. ORSTOM, Hydrol., 14, 1 : 37-109.
- Collinet J. 1988. Comportement hydrodynamiques et érosifs de sols de l'Afrique de l'Ouest : évolution des matériaux et des organisations sous simulation de pluies.
Thèse Doct. Géologie-Pédologie Université. Louis Pasteur, Strasbourg, 28 mai 1988.
- Colombani J. 1967. Contribution à la méthodologie des mesures systématiques de débits solides en suspension. Cah. ORSTOM Hydrol. , 4, 2 : 27-36.
- De Noni G., Viennot M., Trujillo G., 1986. - L'érosion et la conservation des sols en Equateur. Cahier Orstom Pédol., 22, 2 : 235-245.
- De Noni G., Viennot M., Trujillo G., 1990. - Mesures de l'érosion dans les Andes d'Equateur. Cah. Orstom Pédol., 25, 1-2 : 183-196.
- De Noni G., Viennot M., 1993. - Mutations récentes de l'agriculture équatorienne et conséquences sur la durabilité des agrosystèmes andins.
Cah. Orstom Pédol., 28, 2 : 254-277.
- De Noni G., Janeau J.L., Prat C., Trujillo G., Viennot M., 1994. - Hydrodynamique , érodibilité et conservation des sols volcaniques indurés d'Amérique latine. AISS XV, Acapulco, Mexique, Vol. 6a : 554-570.
- De Noni G., Viennot M., Asseline J., Trujillo G., 1997. - L'homme , la montagne et l'érosion des sols dans les Andes d'Equateur. Orstom, Paris, 340 p. sous presse.
- Dabin B., Leneuf N. , 1958. - Erosion et ruissellement en basse Côte d'Ivoire.
Orstom Abidjan, 20 p.
- Delhoume J.P., 1981. - Ruissellement et érosion en zone montagneuse méditerranéenne semi-aride de Tunisie Centrale (campagnes 1975-79). Orstom Tunis, 188 P.
- Fauck R., 1954. - Les facteurs et l'intensité de l'érosion en Moyenne Casamance, Sénégal.
In C. R. Congrès Internat., AISS, Léopoldville, Congo belge, tome VI : 376-379.
- Fauck R., 1956. - Erosion et mécanisation agricole au Sénégal. Bureau des sols en Afrique occidentale, 24 p.
- Fauck R., Moureaux C, Thomann C. 1969. Bilan de l'évolution des sols de Séfa Casamance, Sénégal, après 15 ans de culture intensive. Agron. Trop. , 24, 3 : 263-301.
- Fournier F., 1960. Climat et érosion. Thèse de Géographie. Pr. Univ. de France, Paris 201 p.
- Fournier F., 1967. - La recherche en érosion et conservation des sols dans le continent africain. Sols Africains 12, 1 : 5-51.

- Fritsch J. M. , 1992. Les effets du défrichement de la forêt amazonienne et de la mise en culture sur l'hydrologie de petits bassins versants. Opération ECEREX en Guyane française. ORSTOM éditions, Coll. Etudes et Thèses , Paris : 392 p.
- Gac J. Y., 1980. Géochimie du bassin du lac Tchad. Bilan de l'altération, de l'érosion et de la sédimentation. Coll. ORSTOM Trav. Et Doc., n° 123, 250 p.
- Goujon P., Bailly C., de Vergnette J., Benoit de Coignac G., Roche P., 1968. - Conservation des sols en Afrique et à Madagascar. Bois et Forêts des Tropiques, 118 : 3-17 ; 119 : 17-26 ; 120 : 27-38 ; 121 : 19-31.
- Guyot J. L. 1992. Hydrogéochimie des fleuves de l'Amazonie bolivienne.
Thèse Doc. Univ. Bordeaux, 362 p.
- Guyot J. L., Bourges J. et Cortez J. 1994. Sediment transport in the Rio Grande, an Andean river of the Bolivian Amazon drainage basin. In Variability in Stream Erosion and Sediment Transport, Proceedings of the Canberra Symposium, December 1994.
IAHS Publ. n° 224 : 223-231.
- Hudson N., 1992. - Land husbandry. B.T.Batsford limited, Londres, 192 p.
- Lafforgue A. et Naah E., 1976. Exemple d'analyse expérimentale des facteurs du ruissellement sous pluies simulées. Cah. ORSTOM, Hydrol. 13, 3 : 195-237.
- Lamachère J.M. 1991. Aptitude au ruissellement et à l'infiltration d'un sol sableux fin après sarclage. In Soil Water Balance in the Sudano-Sahelian Zone, proceedings of the Niamey Workshop, February 1991. IAHS Publ. n° 199 : 10-119.
- Lamachère J.M. et Serpantié G. 1991. Valorisation agricole des eaux de ruissellement et lutte contre l'érosion sur champs cultivés en mil en zone soudano-sahélienne, Burkina Faso, région de Bidi. In Utilisation rationnelle de l'eau des petits bassins versants en zone aride, ed. A. Kergreis et J. Claude. Actes des journées scientifiques du Réseau « génie Para-sécheresse » de l'UREF. EIER, Ouagadougou, 165-177.
- Leprun J. C. 1985. La conservation et la gestion des sols dans le nordeste brésilien.
Cah. ORSTOM Pédol., 21, 4 : 257-284.
- Marchal J. Y. 1983. Yatenga : la dynamique d'un espace rural soudano-sahélien.
Thèse et Doc n°167, ORSTOM, Paris, 873 p.
- Mathieu P. 1972. Apports chimiques par les précipitations atmosphériques en savane sous forêt ; influence du milieu forestier intertropical sur la migration des ions et sur les transports solides (bassin de l'Amitiéro, Côte d'Ivoire).
Thèse Doc. Sc. Nat., Univ. Nice, n° A.O. 7838 du CNRS, 20 déc. 1972 : 441 p.
- Meyer L.D., 1960. - Use of the rainulator for runoff plot research.
Soil Sci. Soc. Amer Proc., 24 : 319-322.
- Molinier M., 1976. Qualité des eaux de surface en zone forestière équatoriale de Côte d'Ivoire.
Cah. ORSTOM, Hydrol. 13, 1 : 7-38.
- Monnet Cl., 1971. - Transport en suspension par un fleuve de zone intertropical (Bandama, Côte d'Ivoire). C.R.Acad.Sci., Paris, 273 : 41-44.
- Morel R. et Quantin P. 1972. Observation sur l'évolution à long terme de la fertilité des sols cultivés à Grimari, RCA. Agron. Trop. , 27, 6 : 667-739.
- Nouvelot J. F. 1972. Le régime des transports solides en suspension dans divers cours d'eau du Cameroun de 1969 à 1971. Cah. ORSTOM, Hydrol. 9, 1 : 47-74.
- Nouvelot J. F. 1993. Guide des pratiques hydrologiques sur les petits bassins versants ruraux en Afrique tropicale et équatoriale. CIEH Ouagadougou, ORSTOM Montpellier, 539p.

- Olivry et Hoorelbeck 1989. Erodabilité des terres noires de la vallée du Buëch ; bassins sur roubines de Savournon, France. Cah.Orstom Pédol. , 25, 1-2 : 95-110.
- Olivry J. C., Bricquet J. P., Thiébaux J. P., Sigha Nkamdjou, 1988. Transport de matières sur les grands fleuves des régions intertropicales : les premiers résultats des mesures de flux particulières sur le bassin du fleuve Congo. Proc. Porto Alegre Symp. Dec. 1988. In IAHS Publ. 174 : 509-521.
- Olivry J. C., Gourcy L. et Toure M., 1995. Premiers résultats sur la mesure des flux de matières dissoutes et particulières dans les apports du Niger au Sahel. In Grands bassins fluviaux périatlantiques : Congo, Niger, Amazone. Edité par J.C. Olivry et J. Boulègue. Actes du colloque PEGI, INSU-CNRS-ORSTOM, Paris 22-24 novembre 1993. Coll. Colloques et séminaires : 281-292.
- Olivry J. C., Chouret A., Vuillaume G., Lemoalle J. et Bricquet J. P. 1997. Hydrologie du lac Tchad. Chap. 2.4-5 : Apports sédimentaires et géochimie. Coll. Monographies Hydrologiques ORSTOM n° 12 : 50-61.
- Orange D., Olivry J. C. et Censier C., 1995. Variations et bilans des flux de matières particulières et dissoutes de l'Oubangui à Bangui. In Grands bassins fluviaux périatlantiques : Congo, Niger, Amazone. Edité par J.C. Olivry et J. Boulègue. Actes du colloque PEGI, INSU-CNRS-ORSTOM, Paris 22-24 novembre 1993. Coll. Colloques et séminaires : 147-158.
- Quantin P., Combeau A., 1962. - Erosion et stabilité structurale du sol. AISH N°59 : 124-130.
- Quantin P., Prat C., Zebrowski C., 1993. - Erosion et restauration des sols volcaniques indurés « tepetates » de la région de Mexico et de Tlaxcala, Mexique. Cah. Orstom Pédol., 28, 2 : 175-186.
- Rochette R. et al. 1989. Le Sahel en lutte contre la désertification : leçons d'expériences. Collectif : CILLS/PAC, MARGRAF, 592 p.
- Rodier J. A., Colombani J., Claude J. et Kallel R., 1981. Le bassin de la Mejerdah. Chap. 2.5 : La qualité des eaux. Coll. Monographies hydrologiques ORSTOM n° 6 : 383-434.
- 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., Bertrand R., 1971. - Contribution à l'étude des bandes antiérosives en Afrique de l'Ouest. Agron Trop., 26, 11 : 1270-1283.
- Roose E. 1976. Use of USLE to predict erosion in Western Africa. In « Soil erosion: prediction and control » SCSA, special publication, Ankeny, USA : 60-74.
- Roose E. 1977. Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest : 20 années de mesures en petites parcelles. ORSTOM Paris, Travaux et Doc. n°78, 105 p.
- Roose E. 1980. Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Thèse Doct. ès Sci., Univ. Orléans, Trav. et Doc. ORSTOM n°130, 569 p.
- Roose E. 1984. Causes et facteurs de l'érosion hydrique sous climat tropical, conséquences pour les méthodes antiérosives. Machinisme Agric.Trop.87 : 4-18.
- Roose E. 1986. Terrasses de diversion ou micro-barrages perméables : efficacité en milieu paysan pour la CES dans la zone soudano-sahélienne africaine. Cah. ORSTOM Pédol. 22, 2 : 197-208.
- Roose E. 1992. Diversité des stratégies traditionnelles et modernes de conservation de l'eau et des sols . Influences du milieu physique et humain en région soudano-sahélienne d'Afrique occidentale . In « l'aridité », ORSTOM Paris :481-506.

- Roose E. 1993. Water and soil fertility management. A new approach to fight erosion and improve land productivity. In « Acceptance of soil and water conservation strategies and technologies » DISTL, Witzenhausen, RCA : 129-164.
- Roose E. 1994. Introduction à la GCES; Bulletin Pédologique FAO, Rome, n°70, 420 p.
- Roose E. 1996. Land husbandry : component and strategy. Fao Soil Bull., n°70, 380 p.
- Rougerie G., 1958. - Modalité du ruissellement sous forêt dense de Côte d'Ivoire.
C.R.Acad. Sciences Paris, 246 : 290-292.
- Rougerie G., 1960. - Le façonnement actuel des modelés en Côte d'Ivoire forestière.
Mémoire IFAN n° 58, 542 p.
- Serpantié G. et Lamachère J. M. 1992. Contour stone bunds for water harvesting on cultivated land in the North Yatenga region of Burkina Faso. In Erosion, conservation and small-scale farming. Ed. by Hans Hurni and Kebede Tato after the 6th International Soil Conservation Conference of ISCO, 6-18 Nov. 1989. 459-469.
- Servat E. 1984. Contribution à l'étude des matières en suspension du ruissellement pluvial à l'échelle d'un petit bassin versant urbain.
Thèse Doct. Sc. de l'eau, USTL, Montpellier : 182 + 202 p.
- Shaxson F., Hudson W., Sanders D., Roose E., Moldenhauer W., 1987. - Land husbandry.
WASWC-SCSA, Ankeny USA, 78 p.
- Smolikowski B., Roose E., 1997. - Comparaison de trois tests d'infiltration sur fortes pentes au Cap Vert. Bull. Réseau Erosion 17 : 282-296.
- Swanson N.P., 1965. - Rotating boom rainfall simulator. Trans. Amer. Soc. Agric. Eng., 8 : 71
- Verney R., Volkof B., Willaime P., 1967. - Erosion et ruissellement des terres de Barre au Dahomey. Orstom, Cotonou, 35 p.
- Vuillaume G. 1969. Analyse quantitative du rôle du milieu physico-climatique sur le ruissellement et l'érosion à l'issue de bassins de quelques hectares en zone sahélienne.
Cah. ORSTOM Hydrol., 6, 4 : 87-131.
- Wischmeier W.H., Smidt D.D., 1960. - A universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning. Proc. 7th ISSS. Vol.1 : 418-425.

Ouvrages à consulter

Cahier ORSTOM sér. Pédologie, spécial érosion :

- * « efficacité des méthodes antiérosives » 1986, n°22, 2 : 119-258.
- * « érodibilité des sols, érodabilité des terres » 1989, n°25, 1-2 : 1-208.
- * « restauration des sols et GCES » 1993, n°28, 2 : 147-421.

Bulletin Pédologique FAO, n° 70 « GCES ou Land husbandry »

Bulletins du Réseau Erosion :

- * N°12 1992 : La lutte antiérosive en montagne : RTM et GCES, 463 p.
- * N°13 1993 : Influences de l'homme sur les paysages méditer. et tropicaux, 364 p.
- * N°14 1994 : Contribution de l'élevage et l'agrofor. à la restauration des sols, 625p
- * N°15 1995 : Environnement humain de l'érosion, 612 p.
- * N°16 1996 : Etats de surface et risques de ruissellement et d'érosion, 603 p.
- * N°17 1997 : Erosion en montagne semi-arides et méditerranéennes », 534 p.

Eldin M. et Milleville P. 1989. Le risque en agriculture. Orstom, Paris, 619 p.

Le Floc'h E., Grouzis M., Cornet A., Bille JC., 1992. L'aridité : une contrainte au développement. ORSTOM Paris, Coll. Didactiques 597 p.

Olivry J.C. et Boulègue J. Actes du colloque PEGI, INSU-CNRS-ORSTOM, Paris 22-24 novembre 1993. ORSTOM Editions, Coll. Colloques et séminaires, 505 p.

Pontanier R., M'Hiri A., Aronson J., Akrimi N. et Le Floc'h E. 1995. L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait? AUPELF-UREF, ORSTOM PARIS, 466 p.

**RESEAU
EROSION**



Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION

Pour citer cet article / How to cite this article

Roose, E.; De Noni, G.; Lamachère, J. M. - L'érosion à l'ORSTOM : 40 ans de recherches multidisciplinaires, pp. 54-66, Bulletin du RESEAU EROSION n° 18, 1998.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : beep@ird.fr