

Érosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne

Réduction des risques érosifs et intensification de la production agricole par la GCES : synthèse des campagnes 1984-1995 sur un réseau de 50 parcelles d'érosion

Éric ROOSE (1), Mourad ARABI (2), Khaled BRAHAMIA (2),
Rachid CHEBBANI (2), Mohamed MAZOUR (2) et Boutkhal MORSLI (2)

(1) Orstom, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1, France.

(2) INRF, BP 37, Cheraga, Alger, Algérie.

RÉSUMÉ

Depuis le début du siècle, la région montagneuse septentrionale de l'Algérie est soumise à de fortes pressions en hommes et en bétail qui ont contribué à une sévère dégradation des sols, de la couverture végétale et des rivières. Pour protéger les terres et réduire l'envasement des barrages, l'administration des Forêts a imposé une stratégie d'équipement hydraulique rural appelée « Défense et restauration des sols » (DRS) qui tient à la fois de la RTM (Restauration des terrains de montagne : mise en défens et reforestation de 800 000 ha de terres épuisées dans les hautes vallées et correction des ravines en amont des barrages) et de la CES (Conservation de l'eau et des sols : terrassement de 350 000 ha de terres cultivées). Mais, dès 1980, l'échec de cette approche était patent. Malgré quarante ans de DRS, les terres continuent de se dégrader, les paysans n'entretiennent pas les dispositifs et les transports solides sont aussi préoccupants.

Deux instituts de recherche (l'INRF et l'Orstom) ont décidé, en 1985, d'unir les efforts d'une douzaine de chercheurs pour tester une nouvelle approche participative visant à la valorisation de la terre et du travail tout en réduisant les risques d'érosion en milieu rural : la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Il s'agit d'intensifier les systèmes de culture régionaux pour mieux protéger la surface du sol contre l'énergie des pluies et du ruissellement.

Cet article présente la synthèse des mesures de ruissellement, d'érosion en nappe et de production de biomasse sur un réseau de 50 parcelles (de 100 m²) réparties dans quatre régions méditerranéennes montagneuses (pentes de 10 à 45 %) s'étageant de 400 à 900 m d'altitude et recevant de 300 à 650 mm de pluie. De 1986 à 1995 furent comparés les comportements de jachères nues (risque maximal), de systèmes de production régionaux (blé, fève, vigne, fourrages, verger, parcours) et de systèmes améliorés (fertilisation, semences sélectionnées, pesticides et herbicides, rotation céréales-légumineuses, cultures associées au verger, enrichissement des parcours).

Durant cette décennie, les pluies au nord-ouest de l'Algérie ont été déficitaires et peu agressives, à part quelques orages de fréquence rare (100 à 400 mm en un à cinq jours) qui laissent des blessures profondes dans le paysage. Le ruissellement a été très modeste sous végétation naturelle ou cultivée ($K_{ram} = 1$ à 11 %), sauf lorsqu'une grosse averse est tombée sur des terres saturées, tassées, dénudées ou encroûtées, auquel cas il a pu atteindre 30 à 85 % et causer beaucoup de dégâts en aval. L'érosion a été modérée tant en milieu cultivé que naturel ($E = 0,1$ à 3 t/ha/an) ; elle a atteint 20 t/ha sur sol fersialitique rouge sur un versant nu de 35% de pente (35 fois moins qu'en Côte d'Ivoire !). La faiblesse de l'érosion s'explique partiellement par les pluies déficitaires, mais surtout par la remarquable résistance des sols à l'érosion en nappe ($K_{usle} = 0,002$ à 0,02) due à la richesse des sols en cailloux et en argile saturée en calcium. Curieusement, on n'a pas observé de relation étroite entre la pente, le ruissellement et l'érosion : cela remet en cause la pratique systématique des terrassements dont l'écartement est calculé d'après la pente uniquement (équations de Ramser, Saccardy, etc.). Un diagnostic approfondi sur chaque colline est nécessaire pour comprendre le fonctionnement du versant avant d'entreprendre son aménagement. Les rendements en culture améliorée, à Ouzera, passent de 7 quintaux à plus de 45 quintaux à l'hectare pour le blé d'hiver, de 28 à plus de 40 quintaux pour le raisin, auxquels il faut ajouter 3 tonnes de blé ou de fève en culture associée. De plus, la paille et les autres résidus

RESUMEN

EROSIÓN LAMINAR Y ARROYADA EN LAS MONTAÑAS MEDITERRÁNEAS DE ARGELIA.

REDUCCIÓN DE LOS RIESGOS EROSIVOS Y INTENSIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

AGRÍCOLA POR LA GCES : SÍNTESIS DE LAS CAMPAÑAS 1984-1995 EN UNA RED DE 50 PARCELAS DE EROSIÓN

Desde el principio del siglo, la región montañosa septentrional de Argelia está sometida a fuertes presiones humanas y ganaderas que han contribuido a una importante degradación de los suelos, de la cobertura vegetal y de los ríos. Para proteger las tierras y reducir el encenagamiento de las presas, la Administración de las selvas ha impuesto una estrategia de equipo hidráulico rural llamada « Defensa y restauración de los suelos » (DRS) que depende a la vez de la RTM (Restauración de los suelos montañosos : protección global y reforestación de 800 000 ha de suelos degradados en los valles altos y aprovechamiento de los canales más arriba de las presas) y de la CES (Conservación del agua y de los suelos : relleno de 350 000 ha de suelos cultivados). Pero desde 1980, el fracaso de esa aproximación era patente. A pesar de cuarenta años de DRS, las tierras siguen degradándose, los campesinos no mantienen los equipos y los transportes sólidos también están preocupantes.

En 1985, dos institutos de investigación (INRF y Orstom) decidieron asociar los esfuerzos de unos doce investigadores para testar una nueva aproximación colectiva que intenta valorizar la tierra y el trabajo mientras reduce los riesgos de erosión en las regiones rurales : la gestión durable del agua, de la biomasa y de la fertilidad de los suelos (GCES). Se trata de intensificar los sistemas de cultivos regionales para proteger mejor la superficie del suelo contra la energía de las lluvias y de la arroyada.

Ese artículo hace la síntesis de las medidas de arroyada, de erosión laminar y de producción de biomasa en una red de 50 parcelas (100 m²) distribuidas en cuatro regiones mediterráneas montañosas (pendientes de 10 a 45 %) cuya altitud se comprende entre 400 y 900 m y cuyas precipitaciones van de 300 a 650 mm. Desde 1986 hasta 1995, se compararon los comportamientos de los barbechos completos (riesgo máximo), de sistemas de producción regionales (trigo, habas mayores, viña, forrajes, huerto frutal, pastos comunales) y de sistemas mejorados (fertilización, semillas de primera categoría, pesticidas e herbicidas, rotación cereales/leguminosas, cultivos asociados con el huerto frutal, mejoramiento de los pastos comunales).

Durante ese decenio, las lluvias en el noroeste de Argelia fueron deficitarias y poco agresivas, excepto algunos aguaceros raros (100 a 400 mm dentro de 1 a 5 días) que causan grandes daños en el paisaje. La arroyada fue muy modesta bajo vegetación natural o cultivada ($K_{ram} = 1$ a 11 %), excepto cuando un aguacero fuerte cayó sobre tierras saturadas, compactas, desnudadas o incrustadas, en cuyo caso puede alcanzar 30 a 85 % y causar muchos daños más abajo. La erosión fue moderada tanto en las zonas cultivadas como en las zonas naturales ($E = 0,1$ a 3 t/ha/año); alcanza 20 t/ha en suelo fersialítico rojo sobre una vertiente desnuda con una pendiente de 35 % (35 veces menos que en la Costa de Marfil !). La erosión baja se explica parcialmente por las lluvias deficitarias, pero sobre todo por la resistencia extraordinaria de los suelos a la erosión laminar ($K_{usle} = 0,002$ a 0,02) debida a los suelos ricos en piedras y en arcilla saturada en calcio. No se ha observado ninguna relación estrecha entre la pendiente, la arroyada y la erosión : eso cuestiona la práctica sistemática de los rellenos cuya distancia se calcula según la pendiente únicamente (ecuaciones de Ramser, Saccardy, etc.) : un diagnóstico detenido en cada colina es necesario para comprender el funcionamiento de la vertiente antes de aprovecharla. Los rendimientos de cultivo mejorado en Ouzera aumentan de 7 a más de 45 quintales/ha para el trigo de invierno, de 28 a más de 40 q/ha para la uva a los cuales se debe añadir 3 t de trigo o de habas mayores como cultivo asociado. Además, la paja y los otros residuos de cosecha aumentan considerablemente (de 2 a 22-30 quintales/ha/año) de modo que la producción animal (y las disponibilidades de estiércol) también pueden desarrollarse. La renta neta per ha se multiplica por 3 a 20 según el sistema de producción elegido : la capacidad para alimentar a la población en una tierra ha aumentado por consiguiente. Finalmente, el mejoramiento de los sistemas de cultivos (y la GCES) ha permitido aumentar la productividad de las tierras y reducir los riesgos erosivos, siempre que la cantidad de lluvias sea suficiente para valorizar las aportaciones ($P > 400$ mm).

PALABRAS CLAVES : Argelia — Montaña mediterránea — Semiarido — Estrategia GCES — Erodibilidad de los suelos — Vertisuelo — Suelo fersialítico — Suelo pardo calcareo — Mejoramiento de las técnicas de cultivo — Erosión — Arroyada — Rendimientos — Renta neta.

INTRODUCTION

Le bassin méditerranéen, berceau de civilisations brillantes, a attiré au cours des siècles des populations nombreuses. Les activités qui ont accompagné ces colonisations successives (défrichement, agriculture, élevage, urbanisation, guerre) ont entraîné la dégradation des couvertures végétales, des sols, des rivières, du climat et finalement des sociétés. Un survol rapide du nord de l'Algérie, la région la plus productive, mais aussi la plus fragile, nous montrerait des montagnes surpâturées et des garrigues brûlées, des collines dénudées, des sols squelettiques cultivés, décapés par l'érosion en rigole et par le labour, des versants et des plaines lacérés par les ravines

et les oueds, rivières torrentielles qui dévorent les basses terrasses et envasent les barrages en une trentaine d'années.

Quel est le responsable de ces paysages désolés et pourtant si attachants ? L'homme et ses activités dévastatrices, rarement raisonnable quand il s'agit de prendre possession des ressources naturelles (LAQUINA, 1994) ? Ou bien le milieu méditerranéen, réputé particulièrement fragile du fait de ses reliefs jeunes (alternance de roches tendres argileuses et de roches dures), de ses climats agressifs (pluies abondantes tombant en hiver sur des sols déjà saturés et orages violents à la fin de l'été torride) et du mode d'exploitation extensif des terres ?

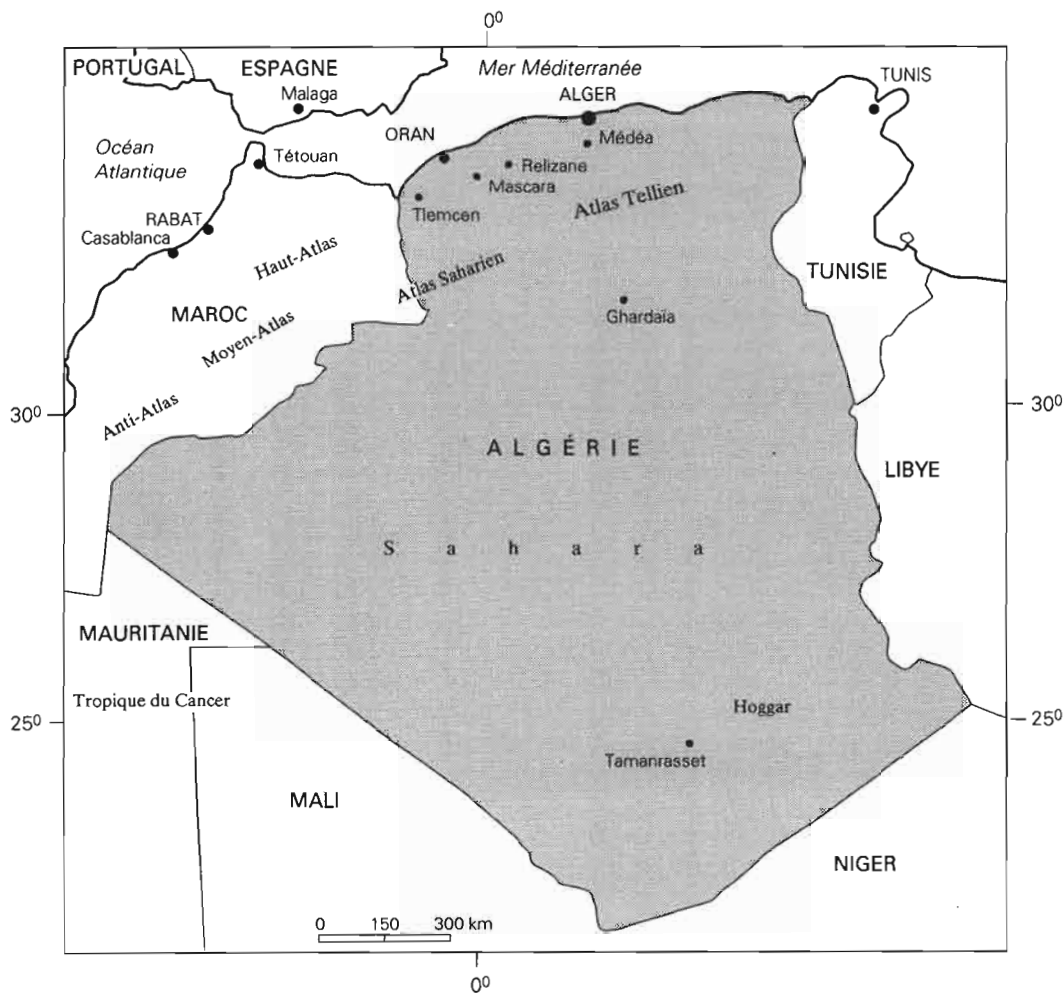


FIG. 1. — Situation des stations de mesure en Algérie.
Position of the runoff stations in Algeria.

Pour faire face à ces graves problèmes d'érosion, une stratégie faisant appel à des équipements hydrauliques lourds fut développée par l'administration des Eaux et Forêts pendant la période 1940-1980 (PUTOD, 1956 ; PLANIÉ, 1961 ; MONJAUZE, 1962 ; GRÉCO, 1979). La DRS (Dé-

fense et restauration des sols) tient à la fois de la RTM (Restauration des terrains de montagne) et de la CES (Conservation de l'eau et des sols) et comprend :

— la reforestation des hautes vallées (800 000 ha depuis 1962 ; MAZOUR, 1992) ;

— la correction torrentielle dans les périmètres de protection des barrages ;

— le terrassement des champs cultivés (350 000 ha de banquettes à un coût de 5 000 à 10 000 FF l'hectare ; HEUSCH, 1986).

Le principal objectif était de retarder l'envasement des barrages et de protéger les équipements et les terres. Mais, en 1980, l'échec de cette approche technocratique d'équipement hydraulique des zones rurales pour le bien public était évident. Malgré quarante années de lutte antiérosive, les terres ne cessent de se dégrader, les paysans rejettent le système des terrasses de diversion, la production de bois est restée faible et le taux d'envasement des barrages demeure très élevé. Le programme d'aménagement des banquettes fut abandonné pour des raisons économiques (HEUSCH, 1986). Les forestiers poursuivent la reforestation et la correction torrentielle des ravines, mais les fermiers ne reçoivent plus d'aide pour maîtriser l'érosion sur leurs terres, à part le sous-solage des sols à croûte calcaire (ROOSE, 1987). En revanche, l'Algérie a réalisé un effort considérable pour la construction de barrages (une quinzaine en dix ans ont été mis en service ; MAZOUR, 1992), mais ils semblent dangereusement menacés par l'envasement. Leur durée de vie ne dépasserait guère trente à cinquante ans, car le taux d'érosion spécifique des bassins versants d'Algérie serait parmi les plus élevés du monde (2 000 à 4 000 t/km² par an) (DEMMAK, 1982).

Les premières mesures d'érosion sur parcelles expérimentales (de 100 m²) (KOUIDRI *et al.*, 1989) confirmèrent l'hypothèse défendue par HEUSCH (1970) au Maroc et DEMMAK (1982) en Algérie, selon laquelle l'érosion en nappe sur les versants cultivés n'apporte qu'une très petite part (0,2 à 10 t/ha/an) aux sédiments transportés par les rivières. Cela expliquerait pourquoi les terrassements furent peu efficaces pour réduire l'envasement. Cependant, le ruissellement provenant des versants peut atteindre 50 à 80 % durant les averses exceptionnelles tombant sur des terres engorgées, encroûtées ou compactées (surpâturage, pistes et routes, jachères abandonnées, toits et cours d'habitation, etc.). La nouvelle hypothèse pour expliquer l'érosion dangereuse des bassins versants est donc le ruissellement exceptionnel qui dévale des pentes engorgées, mal couvertes par la végétation : il creuse les ravines, augmente les débits de pointe des oueds et provoque des glissements de terrain, l'érosion des berges et l'envasement rapide des barrages.

Actuellement, avec la crise économique, les villes industrielles connaissent des problèmes d'emploi. Le gouvernement algérien souhaite maintenir la population à la campagne et intensifier l'agriculture en montagne, sans augmenter pour autant la dégradation des terres, ni la pollution des eaux, si essentielles pour le développement de l'irrigation et l'expansion des villes.

Depuis 1985, l'Institut national algérien pour la recherche forestière (INRF) et l'Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (Orstom) ont uni les efforts d'une douzaine de chercheurs pour développer un programme de formation et de recherche sur les causes et les facteurs de différents processus d'érosion et pour tester dans les montagnes méditerranéennes semi-arides d'Algérie une nouvelle approche participative de la lutte antiérosive : la gestion conservatoire de l'eau de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) (ROOSE, 1987). Ce programme comprend trois volets :

— une enquête sur l'efficacité de l'approche DRS, d'abord par l'INRF et l'administration des Forêts pour situer et décrire les aménagements existants, puis par un groupe interdisciplinaire de chercheurs, pour évaluer leur fonctionnement ;

— l'aménagement de micro-bassins versants (de 20 à 300 ha) près de Médéa, Mascara et Tlemcen ;

— la quantification des différents processus d'érosion dans un réseau de ravines et de parcelles d'érosion. C'est de ce dernier volet dont il sera question dans cet article.

L'analyse de la CES et de la DRS a montré que les terrassements n'ont guère intéressé les paysans car ces travaux exigent beaucoup de travail à l'entretien, réduisent la surface cultivable de 5 à 15%, mais n'améliorent pas la productivité des terres, ni les revenus des paysans. Cette approche des problèmes d'érosion procède d'une logique « aval » technocratique qui vise avant tout la protection des équipements et de la qualité des eaux. La majorité des aménagements ne sont donc pas entretenus par les paysans, ou sont même détruits progressivement par le labour.

Si on veut que les paysans participent à la protection du milieu rural et de la qualité des eaux, il faut d'abord répondre à leurs préoccupations immédiates. C'est pourquoi la GCES aborde les problèmes d'érosion par une logique « amont ». Comment améliorer la productivité des terres et du travail, en gérant au mieux l'eau disponible, la biomasse et la fertilité des sols ? Par l'intensification de l'utilisation des intrants sur les meilleures terres, on augmente la couverture végétale et on réduit les risques d'érosion. Nos recherches visent donc, dans un premier temps, à améliorer le système de production sur des parcelles d'érosion et à vérifier qu'il est rentable d'intensifier la production de biomasse et possible de réduire les risques d'érosion et de ruissellement sur les fortes pentes, où l'on craint le plus la dégradation du milieu (ROOSE, 1987).

Nous présentons ici une synthèse des résultats obtenus sur le réseau des parcelles d'érosion de l'INRF à Ouzera (KOUIDRI *et al.*, 1989 ; ARABI, 1991 ; ARABI et ROOSE, 1992), à Aïn Fares/Mascara (MORSLI, 1995), à Tlemcen (MAZOUR, 1992 ; CHEBBANI *et al.*, 1995) et au projet Oued Mina (BRAHAMIA, 1993), soit 50 parcelles d'une centaine de mètres carrés représentant les principaux sols cultivés,

leurs systèmes de production, dans une zone recevant 300 à 650 mm de pluie.

On y a testé également différentes innovations en vue d'une exploitation intensive et durable des ressources naturelles des montagnes de l'Atlas depuis le centre (Médéa) jusqu'à l'ouest (Tlemcen) de l'Algérie du Nord.

Les trois premières stations relèvent de la convention INRF-Orstom, et celle de Taasalet d'une convention INRF-Projet de développement de l'oued Mina (GTZ). Nous remercions ces institutions d'avoir permis à « l'équipe érosion » de réaliser ces études, interrompues malheureusement avant terme.

LE DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Le réseau comprend 50 parcelles de mesure de l'érosion d'une centaine de mètres carrés (longueur : 22,2 m ; largeur : de 4,5 à 10 m) isolées par des tôles fichées en terre. Au bas des parcelles, un canal dirige les eaux de ruissellement et leur charge solide vers deux à trois cuves de stockage reliées par des partiteurs tarés sur le terrain (ROOSE, 1981 ; ARABI, 1991).

Les paramètres mesurés sont la pluie (hauteur, intensité, érosivité), le ruissellement (Kram, le coefficient de ruissellement annuel moyen en % des pluies, et K_{max}, le coefficient de ruissellement maximal pour une averse importante), l'érosion en nappe et en rigole (érosion totale en t/ha/an, comprenant les suspensions fines et les sédiments grossiers), la production de biomasse (rendement en q/ha/an), les revenus nets (en US \$/ha/an) et les paramètres d'état de surface (% de surface couverte, % de surface fermée par la battance, % de cailloux et d'humidité des dix premiers centimètres).

Dans chaque station définie par un type de sol, une pente (longueur constante et pourcentage fort, mais typique pour le sol considéré), un système de production en place depuis plus de dix ans et une pluviosité moyenne, on compare le comportement d'un témoin absolu (sol nu travaillé dans le sens de la pente) à un témoin régional (système de production traditionnel) et à un ou deux systèmes améliorés. Le climat de la zone est méditerranéen à hiver frais. Les améliorations portent sur le travail du sol (conservatoire de l'eau), les herbicides, pesticides et graines sélectionnées, une fertilisation minérale adaptée aux sols et cultures, une jachère de légumineuses, des tentatives d'enrichissement des parcours, des rotations plus intensives et des cultures intercalaires sous les vergers.

À Médéa, quinze parcelles ont été installées à proximité de la station INRF de Ouzera, à 7 km de Médéa et à 90 km au sud d'Alger. Le paysage est constitué d'une série de plateaux (de 900 à 1 200 m d'altitude), de versants raides (pentes de 12 à 40 %) et de vallées profondes où coulent temporairement des oueds instables.

Les sols sont liés à la lithologie (marnes et grès calcaires) et à la situation topographique (POUGET, 1974 ; AUBERT, 1987).

Les principaux sols de la région sont :

- les sols jaune clair, lithosols sur colluvions calcaires, pauvres en matière organique ;
- les vertisols gris sur marnes, très argileux, bien structurés, avec 2 % de matière organique, saturés en calcium (pH 7 à 8) et résistants à la battance des pluies ;
- les sols rouges fersialitiques lessivés sur grès tendres, pauvres en matière organique, instables ;
- les sols bruns calcaires sur colluvions, avec 2 à 3 % de matière organique, bien structurés, mais à horizon humifère très superficiel, généralement caillouteux ; si l'horizon humifère repose directement sur l'altérite calcaire, on parle de rendzine.

Le système de production a beaucoup évolué ces dernières années. Dans cette zone montagneuse, entre 1982 et 1991, le couvert forestier a diminué de 18 à 13 %, tandis que les surfaces en vignoble et verger ont augmenté respectivement de 5 % et de 6 %. Le blé et la fève restent discrets et leur rendement médiocre (8 q/ha). Les pratiques culturales sont limitées : un labour profond (20 à 25 cm) pour contrôler les adventices à l'automne et (ou) au printemps, suivi d'un binage pour enfouir les engrais (N 33, P 45, K 90) et briser les grosses mottes. Après la récolte, les troupeaux migrant des zones steppiques viennent pâturer les résidus de culture. Le peu de fumier disponible est rentabilisé par les cultures de légumes dans les terres irrigables. Les précipitations moyennes sur quarante ans s'élèvent à 680 mm à la station météorologique de Médéa.

Le dispositif permet de comparer pendant quatre années les risques de ruissellement et d'érosion sur une jachère nue cultivée à ceux dans quatre systèmes de production (ici un verger d'abricotiers de trente ans, une vieille vigne sur terrassettes en courbe de niveau, un système agropastoral blé-pâtüre et un matorral surpâturé), sur quatre sols représentatifs de la région. (On notera qu'un matorral est une formation arbustive à épineux soumise régulièrement aux feux, qu'on appelle « garrigue » sur calcaire ou « maquis » sur terrains acides.)

À Taasalet (60 km au nord de Relizane), huit parcelles ont été installées en 1989 sur des versants convexes portant un sol brun calcaire vertique sur marnes (pentes de 9 et 21 %) et une rendzine sur roche marno-calcaire de 30% de pente. La comparaison porte sur la jachère nue, la culture d'orge à plat et de pois sur billons perpendiculaires à la pente. Les précipitations atteignent 350 mm en moyenne sur les postes les plus proches, mais elles furent très déficitaires (plus de 250 mm) pendant les trois cycles d'observation. Le paysage très aride est constitué de collines convexes surpâturées dont les sommets sont labourés et cultivés en céréales. L'introduction d'arbustes a échoué durant ces années très déficitaires : seul le labour profond

années 1986 à 1995. Lorsqu'il manque 150 à 200 mm de pluie par rapport à la normale, ce sont les grosses averses et les séries d'averses rapprochées qui manquent, et par conséquent les occurrences d'engorgement du sol diminuent.

Le second facteur qui réduit le ruissellement est le couvert végétal et les techniques culturales. Sous végétation naturelle (matorral pâturé), le sol est couvert de 20 à 80 % de litière et végétation basse : le ruissellement, bien qu'assez fréquent à cause des chemins tracés par le bétail, ne fut jamais dangereux. Cependant, des terres de parcours dégradées (Ouzera), des vignes non entretenues (Ouzera), des jachères tassées (Mascara), des matorrals surpâturés (Gourari) peuvent manifester des ruissellements de 30 % lors des averses importantes. D'ailleurs, dans la montagne où les forêts sont surpâturées, il n'est pas rare d'observer des ravines provenant des chemins empruntés par le bétail et des parcours dégradés, ou même des plantations forestières surpâturées.

C'est évidemment sur sol nu et engorgé (en hiver) que le ruissellement est le plus fort, même si le sol a été labouré à l'automne et sarclé tous les mois. Les cas les plus graves ont été observés cinq fois à Ouzera sur vertisol nu, très humide, couvert d'une croûte de battance durant des pluies de plus de 80 mm tombant en un ou deux jours.

Les données du tableau I montrent qu'il est difficile de conclure sur l'aptitude des types de sols à ruisseler, car les pluies ont été très différentes d'une année à l'autre, et les observations de durée variable. De plus, les caractéristiques de la surface des sols et leur histoire sont plus importantes que le type pédogénétique. Les sols vertiques sont très peu perméables une fois le profil humecté et les argiles gonflées. Les sols fersialitiques rouges sont généralement perméables, mais, une fois dégradés, les horizons sableux pauvres en matière organique se tassent et le ruissellement devient aussi fort que sur les sols argileux. Les sols les plus perméables semblent les sols bruns calcaires souvent caillouteux.

TABLEAU I
Classement de l'aptitude à ruisseler des sols nus labourés
(K_{rmax} % observés et pluie d'imbibition si sol sec ou humide)
*Runoff capacity of bare tilled soils : maximum runoff coefficient (%)
and imbibition rainfall on dry or humid soil*

Station	Pluie (mm)	Vertisol gris	Fersialitique rouge	Calcaire brun	Rendzine brune (12 cm)
Médéa	650	80	40	33	-
Tlemcen	500	27-39	30	29	-
Mascara	450	30	-	28	-
Oued Mina	300	15	-	-	13
Pluie d'imbibition (mm)		3 à 20	4 à 10	6 à 22	6 à 14

La pluie d'imbibition nécessaire pour déclencher le ruissellement est de l'ordre de 10 à 22 mm sur sol sec et de 3 à 6 mm sur sol humide. Ces seuils de hauteur limite dépendent surtout de l'humidité préalable et de l'état de la surface du sol (déficit de saturation des dix premiers centimètres du sol, tassement par le bétail, fissures de dessiccation, trous de vers de terre, croûtes de battance ou de sédimentation, litière et canopée dressée, cailloux et mottes résiduelles créées par le travail du sol).

Comme d'autres auteurs, nous avons observé que le labour profond et grossier augmente temporairement l'infiltration. Par exemple, lorsqu'on a remplacé le labour par un sarclage par herbicide sous le vignoble de Ouzera, l'horizon superficiel s'est tassé et le ruissellement a été multiplié par trois, alors que les pertes en terre ont diminué. Du fait de cette amélioration temporaire, le labour a réduit le ruissellement et l'érosion durant ces années déficitaires. Mais, lors des années humides (et des averses ou séries

d'averses exceptionnelles), leur capacité de stockage et d'infiltration en eau peut être dépassée par l'abondance des pluies : surtout sur forte pente, les risques d'érosion sont plus élevés sur les sols travaillés, car le labour a réduit leur cohésion.

L'érosion en nappe et en rigole

Les pertes en terre mesurées sous végétation naturelle sont très réduites ($E = 30$ à 400 kg/ha) du fait des litières et végétations basses, et du même ordre que les observations en parcelle d'érosion sous les garrigues méditerranéennes (CLAUZON et VAUDOUR, 1969 ; MARTIN, 1975 ; DELHOUME, 1981). Cependant, sur le sol fersialitique tassé, l'érosion en nappe a atteint 2 t/ha/an la première année sous matorral dégradé, valeur peut-être surestimée à cause des perturbations de la surface lors de l'installation des tôles de bordure. Dans ces paysages surpâturés, on observe très souvent des chemins d'eau évoluant en ravines dangereuses.

L'érosion en nappe a été très modérée sur les diverses cultures testées ($E = 0,04$ à 3 t/ha/an) et même sur les jachères nues travaillées ($E = 0,7$ à 20 t/ha/an) malgré des pentes fortes (10 à 45 %). En effet, l'agressivité des pluies a été faible ($R_{USA} < 50$) et les sols sont très résistants ($K = 0,002$ à $0,025$), riches en argile saturée de calcium et souvent caillouteux. à titre de comparaison, sur les sols ferrallitiques sableux très résistants de basse Côte d'Ivoire (pluie : 2 000 mm), ROOSE (1973, 1980) a mesuré sur jachère nue des pertes en terre de 500 à 700 t/ha/an sur les mêmes dispositifs. Pour des pluies quatre fois plus abondantes et vingt fois plus agressives, les pertes en terre sont trente-cinq fois plus importantes à Abidjan avec 22 % de pente qu'à Ouzera sur un versant de 35 % de pente.

L'érosion en nappe, bien que sélective vis-à-vis des particules légères (matière organique, argile et limon) et des nutriments, ne semble pas le processus le plus actif sur les versants méditerranéens : même en comptant les plus fortes pertes observées sur sol rouge et 35 % de pente à Ouzera, soit 20 t/ha/an (= 1,3 mm de sol), il faudrait vingt-cinq siècles pour décaper l'horizon humifère sur 20 cm.

L'érosion en rigole et l'érosion mécanique sèche (par les instruments aratoires), qui ne sont pas sélectives, semblent bien plus actives dans l'évolution de la couverture pédologique des versants montagnards méditerranéens : le décapage de l'horizon humifère est plus fréquent que son appauvrissement en particules fines (A + L) et peut se faire en une génération. Par exemple, il manque 30 cm de sol entre les arbres d'un verger planté il y a trente ans près de la station d'Ouzera (soit 15 cm sur toute la surface de la parcelle). Même si on cumule pendant trente ans l'érosion mesurée à la parcelle nue près de ce verger (15 t/ha/an = 1 mm), l'érosion en nappe ne dépasserait pas 3 cm, tandis que la reptation de l'horizon cultivé atteindrait 12 cm (labour croisé au tracteur deux fois l'an). Ce processus de reptation par le travail du sol (*tillage erosion*

des Américains) est encore très mal connu (WASSMER, 1981, au Rwanda ; REVEL *et al.*, 1989-1990, en France) et fut souvent confondu avec l'érosion en nappe : sa vitesse de décapage augmente avec la fréquence des passages et la puissance des outils aratoires ainsi qu'avec la pente (ROOSE et BERTRAND, 1971 ; ROOSE, 1994). Le travail du sol participe activement à la formation des talus en bordure des champs.

DISCUSSION

L'érodibilité des sols

L'érodibilité (Kusle) des quatre types de sols testés sous pluies naturelles déficitaires pendant deux à six ans (tabl. II) a été calculée d'après l'équation de WISCHMEIER et SMITH (1978) :

$$K_{USA} = E/R_{USA} \times SL \times 2,24$$

L'indice d'érodibilité des sols varie de $K = 0,002$ à $0,033$. L'érodibilité serait donc très faible d'après l'échelle mondiale où K augmente de 0,01 à 0,70 avec la fragilité des sols. Cependant, l'érosion augmente avec les années et avec l'agressivité des pluies : on peut donc s'attendre à une majoration de l'érodibilité des sols de Tlemcen, Mascara et Taasalet.

L'érosion sur jachère nue a été la plus forte sur sol fersialitique (5 à 20 t/ha/an), moyenne sur les sols vertiques gris ($E = 0,5$ à 6 t/ha/an) et faible sur les sols bruns calcaires ($E = 0,5$ à $3,6$ t/ha/an) et les rendzines ($E < 2$ t/ha/an). Le classement des sols en fonction des risques (par ordre décroissant) est donc un peu différent :

- risques de ruissellement : vertisols, sols fersialitiques, sols bruns calcaires, rendzine ;
- risques d'érosion en nappe : sols fersialitiques, vertisols, sols bruns calcaires, rendzine.

En réalité, si les vertisols sont résistants à la battance, une fois réhydratés le ruissellement est si fort qu'il provoque du ravinement.

TABLEAU II
Érodibilité (Kusle x 1 000) de quatre types de sols nus travaillés soumis aux pluies naturelles
Erodibility of four types of bare tilled soils subjected to natural rainfalls (expressed in Kusle x 1 000)

Station	Fersialitique rouge	Vertisol gris-brun	Brun calcaire brun + cailloux	Rendzine gris foncé
Ouzera	11 à 20	13 à 33	2 à 4	-
Tlemcen	25	25 à 10	10	5
Mascara	-	2	13	-
Oued Mina	-	5 à 10	-	2

L'effet de pente

Il est difficile de comparer sur les versants les risques de ruissellement et d'érosion en fonction de la pente, car les sols varient en même temps que les pentes, sauf dans la zone de Tlemcen où la pente augmente de 15 à 30 % sur un sol vertique gris sur marne.

Le tableau III montre clairement que, sur les jachères nues, les ruissellements moyen et maximal ont tendance à diminuer lorsque la pente augmente et que l'érosion est davantage liée au type de sol qu'à la pente. Ce résultat étonnant a déjà été observé au Maroc sur vertisol (HEUSCH, 1970) et en Côte d'Ivoire sur sol ferrallitique (ROOSE,

1973). HEUSCH (1970) a aussi montré que, sur vertisols, la position du champ dans la toposéquence a parfois plus d'importance pour l'érosion que la pente elle-même.

Or la plupart des études du risque d'érosion sont actuellement basées sur l'occupation des sols, l'érodibilité des sols ou des roches et la pente (pourcentage et longueur) (LE LANDAIS et FABRE, 1996). Nos résultats remettent en question certaines conclusions de ces études et l'utilisation classique des équations de Ramser, SACCARDY (1950), Bourgeat et autres selon lesquelles la fréquence des terrasses doit augmenter avec l'inclinaison de la pente (LEFAY, 1986).

TABLEAU III
Influence de la pente et du type de sol sur le ruissellement et l'érosion sur une jachère nue.
D'après ARABI et ROOSE (1992) et MAZOUR (1992)
Influence of slope and of the soil type on runoff and erosion on bare soil.
After ARABI and ROOSE (1992) and MAZOUR (1992)

Type de sol	Surf. couv. par les cailloux (%)	Pente (%)	Kram (%)	Krmax	E (t/ha/an)
Ouzera					
Vertisol gris	4	12	21	86	2,3
Sol fersiallitique rouge	0	30	20	57	12,0
Sol brun calcaire colluvial	20	35	12	36	2,5
Sol brun calcaire sur versant	16	40	11	34	2,7
Tlemcen					
Sol vertique gris	5	15	10	39	5,7
Sol vertique gris	4	20	6	25	2,4
Sol vertique gris	3	30	7	27	2,5

Influence de l'amélioration des systèmes culturaux (tabl. IV)

L'amélioration du couvert végétal (densité, fertilisation, rotation avec des légumineuses, cultures intercalaires sous la vigne et les abricotiers) a réduit plus ou moins fortement les risques d'érosion et de ruissellement. Mais le résultat le plus important concerne l'amélioration très significative des rendements des cultures et des revenus des agriculteurs.

À Ouzera, où les expériences sont plus avancées, les rendements observés sur les parcelles d'érosion soumises aux systèmes traditionnels sont aussi médiocres que sur les champs des paysans voisins : 7 q/ha pour le blé d'hiver, 28 q/ha pour le raisin et 8 q/ha pour les abricots, les abricotiers étant malades. Sur les parcelles d'érosion situées juste à côté, grâce aux techniques culturales améliorées, les rendements ont atteint, en culture pure, 48 à 65 q/ha pour le blé, 40 q/ha pour le raisin, 10 q/ha pour les abricots, et en plus, en cultures associées, 34 q/ha de fève et 30 q/ha de blé.

En même temps, la production de paille, de feuilles de légumineuses et autres résidus de culture a augmenté

significativement (de 0,2 à 2 ou 3 t/ha/an) : cette biomasse supplémentaire peut à son tour améliorer la production animale ainsi que la disponibilité en fumier et compost, si nécessaire pour entretenir la fertilité du sol, la stabilité structurale, la capacité d'infiltration et la résistance à l'érosion.

Il est vraisemblable que l'amélioration des rendements ne sera pas aussi spectaculaire sur les grandes surfaces en milieu paysan que sur les petites parcelles de 100 m², mais le premier pas est franchi qui consistait à démontrer qu'il est possible à la fois d'intensifier l'agriculture de montagne et de réduire les risques de dégradation de l'environnement rural. Des résultats similaires ont été obtenus par quelques paysans à Ouzera et à Tlemcen sur des champs d'un hectare (MAZOUR, 1992).

L'étape suivante consiste à démontrer que ces changements sont rentables pour le paysan, condition essentielle pour que l'effort d'intensification soit accepté avec la lutte antiérosive. Si on soustrait du chiffre d'affaires le prix des intrants supplémentaires (graines sélectionnées, engrais, pesticides, herbicides, travail supplémentaire pour les soins à la culture et à la récolte), il reste au paysan un

TABLEAU IV
Effet de l'amélioration des systèmes culturaux sur le ruissellement,
l'érosion, le rendement et le revenu annuel net à Ouzera (1 dollar US = 30 dinars).
D'après ARABI et ROOSE, 1992
*Effects of the improvement in crop systems on runoff, erosion, production
and annual net income at Ouzera (after ARABI and ROOSE, 1992)*

Systèmes		Kram (%)	Krmax (%)	Érosion (t/ha/an)	Rendements (q/ha)	Revenus nets (dollars US)
Agropastoral sur vertisol	Traditionnel	2,4	14	0,23	7 b + 2,3 p	250
	Amélioré	0,9	5	0,05	48 b + 22 p + 70 f + 27 rc	2 500
Sylvopastoral sur sol brun	Dégradé	15	25	2,0	---	17
	Reforesté	0,6	2	0,05	--	forfait
	Enherbé	1,0	4	0,03	---	forfait
Verger sur sol rouge	Traditionnel	5,0	12	0,9	11 a	605
	Amélioré	0,7	3	0,1	10 a + 64 f + 33 b + 19 rc	3 000
Vigne sur sol brun colluvial	Traditionnel	2	8	0,2	29r	2 500
	Amélioré	0,2	2	0,01	37 r + 37 f/29 b + 4 rc	5 100

b = blé, p = paille, f = fèves, rc = résidu de culture, a = abricot, r = raisin.

revenu net par hectare largement supérieur à celui qu'on peut obtenir avec les cultures traditionnelles :

- pâturage extensif en zone forestière : 17 dollars ;
- blé d'hiver traditionnel suivi d'une jachère pâturée : 250 dollars ;
- rotation intensive blé-légumineuse fourragère : 2 400 dollars ;
- rotation intensive blé-fève : 2 500 dollars ;
- verger d'abricotiers ou vigne traditionnelle : 605 à 2 500 dollars ;
- verger ou vigne intensive avec culture intercalaire : 3 000 à 5 100 dollars.

Ces résultats montrent qu'en intensifiant le système de production on a multiplié par dix le revenu à l'hectare en produisant des céréales et on l'a multiplié par trois si on cultive déjà des vignes.

Avec un tel bénéfice, les paysans peuvent saisir l'intérêt qu'il y a pour eux à changer de système de production (du blé extensif à la vigne intensive avec blé intercalaire) et à adopter les techniques culturales améliorées, parmi lesquelles sont proposées les techniques antiérosives les mieux adaptées aux conditions écologiques et économiques du paysan. Bien que nous n'ayons pas développé d'action de vulgarisation, les paysans vivant à proximité de nos parcelles expérimentales ont copié avec succès nos méthodes améliorées à Ouzera. Par contre, dans les zones sinistrées par le manque de pluie ces dernières années (moins de 350 mm), le risque d'échaudage en année sèche réduit l'extension de ces pratiques intensives (coût des intrants non valorisés).

CONCLUSION

Les résultats obtenus à partir de l'observation du ruissellement, de l'érosion en nappe, des rendements de biomasse et des revenus nets sur un réseau de 50 parcelles d'érosion réparties dans quatre sites bioclimatiques différents confirment largement les premiers résultats obtenus à la station INRF de Ouzera (ARABI et ROOSE, 1992), à savoir qu'il est techniquement possible d'intensifier la production en montagne méditerranéenne et d'améliorer les revenus des paysans, sans dégrader l'environnement. Mais les résultats les plus récents montrent que cela n'est vrai qu'à condition de recevoir suffisamment de pluies (plus de 400 mm bien répartis).

Or les précipitations et leur agressivité ont été largement déficitaires pendant les années 1984 à 1995 dans la région septentrionale de l'Algérie. Toutefois, même en année normale (1991), le ruissellement moyen et les pertes en terre furent modérés sous matorral pâturé, de même que sous culture (Kram < 10 % et E < 3 t/ha/an) ; seules quelques grosses averses tombant sur un sol saturé ou tassé ont donné lieu à des ruissellements très abondants (30 % à plus de 80 % des pluies). Il se confirme donc que la source des transports solides qui menacent la durée de vie des barrages n'est pas à rechercher dans les phénomènes d'érosion en nappe, mais bien dans le ravinement des versants, les glissements de berge (en particulier autour des lacs) et l'érosion des oueds en crue.

Cependant, la masse d'eau de ruissellement ne peut provenir uniquement de la surface occupée par les ravines et les oueds (moins de 10 %) : elle provient en majorité des

terres saturées, soit superficielles ou découpées, soit tassées par le surpâturage (parcours dégradés ou pistes), ou encore encroûtées par la battance des pluies. On ne peut donc faire l'économie de l'aménagement de toute la surface des bassins versants d'où proviennent les eaux des crues. Mais, au lieu de concentrer les eaux superficielles excédentaires dans des canaux qui risquent de déborder ou de glisser lorsque les versants sont saturés, et de creuser des ravines aux exutoires, nous proposons d'étaler les eaux en nappes et de dissiper leur énergie sur la rugosité des sols, grâce à des haies vives et des talus enherbés (méthode traditionnelle très répandue mais à améliorer) (ROOSE, 1994).

Autre observation importante : la pente n'est pas le facteur essentiel du risque érosif. Malgré des versants très raides (10 à 45%), les risques d'érosion en nappe ont été très modestes. De plus, en région méditerranéenne, les pentes sont liées à la lithologie et au type de sol : les roches dures protègent souvent des pentes fortes et des sols résistants tandis que les roches tendres donnent des sols fragiles sur des pentes plus douces ; les pertes en terre peuvent donc être supérieures sur les pentes modérées. Les sols de montagne, souvent superficiels, sont mélangés à

divers fragments de roche qui vont augmenter leur résistance à la battance des gouttes de pluie et au cisaillement du ruissellement. Par ailleurs, dans les paysages jeunes, l'érosion tend à décaper les sols cultivés plutôt qu'à appauvrir les profils en particules fines : en conséquence, les horizons superficiels sont généralement riches en argiles saturées en calcium et caillouteux, donc peu érodibles. Enfin, le bord des oueds et le bas des collines semblent souvent gravement attaqués par le ravinement remontant, le soutirage et les mouvements de masse.

Il est donc révolu le temps des « conservationnistes » qui aménageaient des bassins versants de plusieurs milliers d'hectares avec une seule méthode (la banquette et ses variantes), sans se soucier de la couverture végétale, ni des techniques culturales, en s'appuyant sur le seul facteur topographique ! Les structures de gestion des eaux de surface peuvent jouer un rôle utile, une fois qu'on a défini le système de production et les risques réels de ruissellement et d'érosion. Chaque versant exige une étude approfondie si on veut intervenir pour stabiliser durablement le paysage et valoriser le travail des hommes qui en vivent.

BIBLIOGRAPHIE

- ARABI (M.), 1991 — *Influence de quatre systèmes de production sur le ruissellement et l'érosion en milieu montagnard méditerranéen (Médéa, Algérie)*. Thèse géographie, univ. Grenoble, 272 p.
- ARABI (M.), ROOSE (E.), 1989 — Influence de quatre systèmes de production de moyenne montagne méditerranéenne algérienne. *Bull. Réseau Érosion*, 9 : 39-51.
- ARABI (M.), ROOSE (E.), 1992 — « Water and Soil fertility management (GCES). A new strategy to fight erosion in Algerian mountains ». In : *7th ISCO Conference Proc.* 3, 3 : 341-347.
- AUBERT (G.), 1987 — Érodibilité des sols de la région d'Ouzera. *Bull. Réseau Érosion*, 8 : 97-99.
- BRAHAMIA (K.), 1993 — *Essai sur la dynamique actuelle dans la moyenne montagne méditerranéenne : bassin versant de l'oued Mina (zone de Taassalet), Algérie*. Thèse doct. géographie, univ. Grenoble, 241 p.
- CHEBBANI (R.), MEDEDJEL (N.), BELAÏDI (S.), 1995 — Application de la GCES dans la région de Tlemcen, Algérie. *Bull. Réseau Érosion*, 15 : 489-497.
- CLAUZON (G.), VAUDOUR (J.), 1969 — Observations sur les effets de la pluie en Provence. *Annales de Géographie*, 13 (4) : 390-405.
- DELHOUME (J.-P.), 1981 — *Études en milieu méditerranéen semi-aride : ruissellement et érosion en zone montagneuse de Tunisie centrale (Djebel Semmama)*. Campagnes 1975 à 1979. Tunis, Orstom/DRE, 187 p. (In : *Processus et mesure de l'érosion*, 1987, CNRS : 487-507).
- DEMMAK (A.), 1982 — Recherche d'une relation empirique entre les apports solides et les paramètres physico-climatiques des bassins. *AISH*, 144 : 403-414.
- GRÉCO (J.), 1979 — *La défense des sols contre l'érosion*. Paris, La Maison Rustique, 183 p.
- HEUSCH (B.), 1970 — L'érosion du Pré-Rif. Une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du Pré-Rif Occidental (Maroc). *Annales Recherches Forestières au Maroc*, 12 : 9-176.
- HEUSCH (B.), 1986 — Cinquante ans de banquettes de DRS en Afrique du Nord : un bilan. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 22 (2) : 153-162.
- KALMANN (R.), 1976 — *Le facteur climatique de l'érosion dans le bassin du Sebou*. Rabat, projet Sebou, 40 p.
- KOUIDRI (R.), ARABI (M.), ROOSE (E.), 1989 — Premiers résultats de quantification du ruissellement et de l'érosion en nappe sur jachère en Algérie. *Bull. Réseau Érosion*, 9 : 33-38.
- LAOUIA (A.), 1992 — Recherches actuelles sur les processus d'érosion au Maroc. *Bull. Réseau Érosion*, 12 : 292-299.
- LEFAY (O.), 1986 — *Étude de l'efficacité des travaux de DRS en Algérie*. Mémoire stage, Cnearc/Orstom/INRF, 50 p.
- LE LANDAIS (F.), FABRE (G.), 1996 — Plan d'aménagement anti-érosif du bassin versant de l'oued Ouergha (Maroc). Risques d'érosion et système d'information géographique. *Bull. Réseau Érosion*, 16, sous presse.
- MARTIN (C.), 1975 — L'érosion des sols sur roches métamorphiques en milieu méditerranéen provençal. *Rev. Géomorphologie Dynamique*, 24 : 49 - 63.

- MAZOUR (M.), 1992 — Les facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin versant de l'oued Isser : Tlemcen, Algérie. *Bull. Réseau Érosion*, 12 : 300-313.
- MONJAUZE (A.), 1962 — *Rénovation rurale : rôle et dispositifs d'infiltration*. Alger, Délégation générale, département des Forêts, service de DRS, 16 p.
- MORSLI (M.), 1995 — *Les sols de montagne et leur susceptibilité à l'érosion. Cas des monts de Beni-Chougrane*. Thèse de magistère, Ina, Alger, 170 p.
- PIHAN (J.), 1978 — *Annuaire des valeurs mensuelles de l'indice d'érosivité de Wischmeier relatives aux stations officielles de la Météorologie nationale*. Rennes, Laboratoire Inra/ Université Haute-Bretagne, 110 p.
- PLANTIÉ (L.), 1961 — *Technique franco-algérienne des banquettes de DRS*. Oran, Délégation générale, département des Forêts, service de DRS, 22 p.
- POUGET (M.), 1974 — *Étude agro-pédologique de la région de Ouzera*. Alger, ANRH, 72 p.
- PUTOD (R.), 1956 — La protection des vignes contre l'érosion. *Rev. Agron. Afrique du Nord*, 19 : 567-576.
- REVEL (J.-C.), COSTE (N.), CAVALIÉ (T.), COSTES (J.-L.), 1989-1990 — Premiers résultats expérimentaux sur l'entraînement mécanique des terres par le travail du sol dans le Terrefort toulousain (France). *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 25 (1-2) : 111-118.
- ROOSE (E.), 1968 — *Protocole standard pour les parcelles de mesure de l'érosion en nappe en accord avec le modèle USLE de Wischmeier*. Montpellier, Orstom, 12 p.
- ROOSE (E.), 1972 — « Comparaison des causes de l'érosion et des principes de LAE en régions tropicale humide, tropicale sèche et méditerranéenne ». In : *Journées d'études du Génie rural*, Florence, Italie : 417-441.
- ROOSE (E.), 1973 — *Dix-sept années de mesure de l'érosion sur un sol ferrallitique sableux de Côte d'Ivoire*. Thèse doct.-ing., fac. Sciences, Abidjan, n° 20, 125 p.
- ROOSE (E.), 1987 — Évolution des stratégies de lutte antiérosive. Nouvelle démarche proposée en Algérie : la GCES. *Bull. Réseau Érosion*, 7 : 91-96.
- ROOSE (E.), 1994 — Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bull. Pédol. FAO*, 70, 420 p.
- ROOSE (E.), ARABI (M.), 1994 — Intensification de l'agriculture sans dégradation en montagne méditerranéenne. *Bull. Pédol. FAO*, 70 : 363-370 (« Introduction à la GCES »).
- ROOSE (E.), BERTRAND (R.), 1971 — Contribution à l'étude des bandes d'arrêt pour lutter contre l'érosion hydrique en Afrique de l'Ouest. *Agron. Trop.*, 26 (11) : 1270-1283.
- SACCARDY (L.), 1950 — Note sur le calcul des banquettes de restauration des sols. *Terres et Eaux*, 11 : 3-19.
- WASSMER (P.), 1981 — *Recherches géomorphologiques au Rwanda. Étude de l'érosion des sols et de ses conséquences dans la préfecture de Ibuté*. Thèse 3^e cycle, univ. Strasbourg, 144 p.
- WISCHMEIER (W. H.), SMITH (D. D.), 1978 — *Predicting rainfall erosion losses. A guide to soil conservation planning*. Washington, USDA, Handbook n° 537, 58 p.

ANNEXES

TABLEAU V

Ouzera. Ruissellement annuel (Kram), ruissellement maximal pour une forte averse (K_{rmax}), érosion (E) et rendements sur les versants de l'Atlas blidéen.

D'après KOUIDRI *et al.* (1989), ARABI (1991), ARABI et ROOSE (1992)
Ouzera. Agro-pastoral system on grey vertisol with 12 % slope (1984-1995), mean and maximum runoff, erosion, crop yield and mean net income
(b = wheat, f = broad beans, m = medicago, rc = crop residues)

Système agropastoral (blé-jachère pâturée ou fourragère), vertisol gris colluvial. Pente : 12 % ; L = 22,2 x 4,5 à 10 m ; SL = 1,55 ; 2 à 4 % de cailloux, sur marnes gréseuses. Pluies 1984-1991 : 520, 579, 530, 408, 566, 440, 621 mm.

	Pluie (mm)	Kram (%)	K _{rmax} (%)	E (t/ha/an)	Rendement (q/ha)
Témoin sol nu	520	23,0	> 75	0,6	-
travaillé // pente	579	14,8	> 64	0,5	-
	540	26,9	85	1,0	-
	408	4,5	32	1,1	-
	566	20,6	86	1,0	-
	440	20,7	58	6,1	-
	621	25,8	83	3,4	-
Médiane/4 ans	533	21	80	2,3	-
Témoin régional	408	1,6	11	0,25	8 b + 2,7 p
blé-jachère pâturée	566	2,0	8	0,13	-
sans engrais	440	2,8	16	0,20	6 b + 2 p
	621	7,1	23	0,81	-
Médiane	533	2,4	14	0,23	= 250 \$
Amélioré fourrager	408	1,3	9	0,33	34 m
blé-médicago	566	0,5	3	0,01	48 b + 21 p
+ N35 P45 K90	440	0,1	1	0,01	40 m
	621	2,5	6	0,08	51 b + 25 p
Médiane	533	1	5	0,05	= 2 400 \$
Amélioré 2	408	1,2	8	0,17	55 b + 25 p
blé-fève	566	0,6	4	0,01	80 f + 30 rc
+ N35 P45 K90	440	0	0	0	41 b + 17 p
	621	2,5	7	0,07	67 f + 25 rc
Médiane	533	0,9	5	0,04	= 2 500 \$

b = blé, f = fève, m = médicago, rc = résidus de culture.

Vertisol battant : provoque beaucoup de ruissellement (> 85 % si grosses pluies).

Érodibilité : K = 0,013 (très résistant à l'érosion en nappe, mais sensible au ravinement).

Grande efficacité du couvert végétal (C de usle) : blé-jachère traditionnelle = 0,10 ; blé-fourrage intensif = 0,02 ; blé-fève intensif = 0,02.

Revenus moyens annuels : 250 \$ si blé traditionnel ; 2 400 \$ si blé + fourrage intensif ; 2 500 \$ si blé + fève intensif.

TABLEAU VI

Ouzera. Verger de montagne, sol fersialitique rouge sur grès calcaire.
 Pente : 35 % ; L = 22,2 x 10 m ; SL = 9,66 ; 0 % de cailloux.
 Pluies : 408, 566, 440, 621 mm (médiane = 533 mm)
*Ouzera. Orchard of apricot trees with companion crops,
 on red fersialitic soils (slope 35 %), 1987-1991*
 (b = wheat, f = broad beans, a = apricot, rc = crop residues)

	Kram (%)	Krmax (%)	E (t/ha/an)	Rendement (q/ha)
=Témoin sol nu	5	26	2,0	0
travaillé // pente	14	29	4,8	0
	28	50	20,4	0
	25	57	18,6	0
Médiane	20	40	12	0
Témoin régional	2	12	0,4	15 a
verger traditionnel	4	11	0,3	12 a
2 labours croisés	5	13	1,4	8 a
sol sarclé	11	17	1,9	6 a
Médiane	5	13	0,9	11 a
=				
Verger amélioré,	1,2	10	0,3	68 f+ 15 a + 25 rc
blé-fève intercalaire	0,5	3	0	35 b = 12 a = 17rc
+ NPK	0,1	1	0,1	60 f + 8 a + 20 rc
bandes enherbées	2,0	3	0,1	30 b + 6 a + 15 rc
Médiane	0,7	3	0,1	64 f/33 b + 10 a/19rc

b = blé, f = fève, a = abricot, rc = résidus de culture.

Sol fersialitique plus fragile, battant et moins de matière organique.

Érodibilité : $K_{usle} = 12/50 \times 2,24 \times 9,66 = 0,011$ à $0,020$.

La culture intercalaire a amélioré l'efficacité protectrice du verger x 2 labours perpendiculaires.

C verger traditionnel = 0,07 ; verger + culture intercalaire = 0,01.

Malgré la forte pente, l'érosion en nappe n'a pas dépassé 20 t/ha/an, mais elle augmente d'année en année.

Revenus : 605 \$ en moyenne sur vergers d'abricotiers ; 3 000 \$ si abricotiers + culture intercalaire intensive.

TABLEAU VII

Ouzera. Système sylvopastoral (forêt dégradée pâturée, à oliviers, chênes verts, pins d'Alep).
Pente : 0 % ; L = 22,2 x 10 m ; sol brun calcaire à 16 % de cailloux.

Pluies : 408, 566, 440, 621 mm (médiane = 533 mm)

*Ouzera. Sylvo-pastoral system of degraded forests on calcareous brown soil (slope 40 %),
degraded matorral, reforestation, meadow restoration and bare soil (1987-1991)*

	Kram (%)	Krmax (%)	E (t/ha/an)	Revenu (US \$)
Témoin sol nu	-	-	-	-
travaillé // pente	11,4	21	0,9	-
	11,5	34	2,7	-
	15,4	33	3,6	-
Médiane	12	33	2,7	0
Matorral dégradé	6,7	21	1,4	
pâturé traditionnel	14,9	25	1,7	
	16,6	23	2,1	
	21,2	29	2,5	Forfait
Médiane	15	24	2,0	177 \$
Matorral amélioré	0,4	3	0,04	
reforestation	0,8	2	0,02	
pins d'Alep	0,4	1	0,06	
litière complétée	1,2	2	0,08	Forfait
Médiane	0,6	2	0,05	177 \$
Matorral amélioré	1,0	7	0,04	
défrichage	1,0	4	0,02	
restauration prairie	0,5	2	0,04	
	1,7	3	0,01	Forfait
Médiane	1,0	4	0,03	177 \$

Le forfait correspond à la croissance d'un troupeau de moutons paissant sur le parcours.

Le sol brun calcaire profond et caillouteux est très résistant.

Érodibilité Kusle = $2,7/50 \times 2,24 \times 12,33 = 0,002$.

Malgré la pente très raide, les pertes en terre restent très limitées (3 t/ha/an).

Le couvert végétal, en particulier la litière, est très efficace à la fois pour protéger du risque de ruissellement ($Kr_{max} < 7\%$) et de l'érosion ($E < 0,1$ t/ha).

TABLEAU VIII

Ouzera. Vigne sur sol brun colluvial, 20 % de cailloux. Pente : 35 % ;
L = 22,2 x 4,5 m ; SL = 7,31. Pluies : 408, 566, 440, 621 mm (médiane = 530 mm)
Ouzera. Vineyard on colluvial calcareous brown soil, slope 35 % (1987-1991)

	Kram (%)	Krmax (%)	E (t/ha/an)	Rendement (q/ha)
Témoin sol nu	-	-	-	0
2 labours // pente	11,6	36	0,8	0
	7,4	16	2,3	0
	15,3	32	3,6	0
Médiane	12	32	2,5	0
Vigne traditionnelle	0,2	3	0,02	30 r
2 labours perp. pente	2,4	8	0,21	27 r
terrassettes	1,9	7	0,12	28 r
	3,3	14	0,29	32 r
Médiane	2	8	0,2t	29 r = 2 500 \$
Vigne non travaillée	0,9	19	0,02	35r
herbicides	7,2	26	0,02	31 r
terrassettes	4,8	8	0,06	25 r
	6,7	15	0,07	32 r
Médiane	6	17	0,04	31 r = 3 000 \$
Vigne améliorée	0,1	2	0,01	33 r+42 f+6 rc
travaillée perp. pente	0,4	3	0,01	38 r+28 b+3 rc
terrassettes	0	0	0	40 r+34 f+4r c
fève-blé intercalaire	0,6	1	0,01	37 r+30 b+3 rc
Médiane	0,2	2	0,01t	37 r +37 f/29 b+4 rc = 5 100 \$

r = raisin, b = blé, f = fève, rc = résidus de culture.

Sol brun calcaire caillouteux très résistant à la battance. Érodibilité : Kusle = 0,003 à 0,004.

Le travail du sol a réduit le ruissellement, mais peu changé l'érosion.

Le couvert végétal et les terrassettes ont été très efficaces :

C vigne sur terrassettes = 0,08 ; idem + non-labour = 0,002 ; idem + culture + labour = 0,001.

TABLEAU IX

Oued Mina. Ruissellement annuel moyen (Kram), ruissellement maximal lors d'une grosse averse (K_{rmax}) et érosion (E), sur les versants de l'oued Mina (zone de Taassalet).

D'après BRAHAMIA, 1993

Oued Mina. Wheat/peas and fodder on vertic brown soils or on rendzina soils. Slope of 9, 21, 30 % (1989-1992)

Frahia I. Sol brun calcaire vertique sur marne. Pente : 9 % ; L = 22,5 m ; SL = 1.
Pluies : 106, 96, 44 mm ; R_{USA} = 19,1, 15,5, 6,4 ; K calculé = 0,010.

	Kram (%)	K _{rmax} (%)	E (kg/ha/an)
1. Jachère nue, trav. à plat	1,9-0,6-0,6 (1,2)	3,6-1,1-1,0	721-27-48 (300)
2. Orge cultivée à plat	1,3-0,4-0,2 (0,8)	2,5-0,7-0,5	500-99-29 (210)
3. Pois sur billons -I- pente	1,1-0,3-0,2 (0,6)	1,9-0,7-0,5	144-82-30 (85)

K calculé = 0,010

M'Hallet. Sol brun calcaire vertique sur marne. Pente : 21 % ; L = 22,5 m ; SL = 3,9.
Pluies : 96, 86, 41 mm ; R_{USA} = 16,7, 20,8, 7,2 ; K calculé = 0,005.

	Kram (%)	K _{rmax} (%)	E (kg/ha/an)
4. Jachère nue, trav. à plat	3,2-4,4-2,3 (3,6)	7,7-15,2-4,3	870-1 105-234 (736)
5. Orge cultivée à plat	1,3-1,1-1,3 (1,2)	3,2-3,4-2,2	434-230-77 (247)
6. Pois sur billons -I- pente	0,9-0,9-1,5 (1,0)	2,0-2,9-3,5	300-126-61 (162)

Frahia II. Rendzine sur marno-calcaire. Pente : 30 % ; L = 50 m ; SL = 10,9.
Pluies : 81, 95, 188 mm ; R_{USA} = 15,3, 16,3, 70,7 ; K calculé = 0,002.

	Kram (%)	K _{rmax} (%)	E (kg/ha/an)
7. Orge cultivée à plat	3,0-0,7-3,2 (2,5)	5,8-1,5-13,0	886-63-1031 (660)
8. Bandes enherbées	1,9-0,8-2,3 (1,8)	4,7-1,5-8,9	411-54-643 (370)

Pluies très déficitaires.

Ruissellement très faible (1 à 4 % en moyenne annuelle), au maximum 15 % pour un orage sur sol nu et pente forte (> 20 %).

Érosion en nappe très modeste sur les sols labourés (E = 30 à 1 105 kg/ha).

Effet sol important, bien que tous les sols aient bien résisté à la battance en années déficitaires.

Effet pente (% et longueur) peu marqué sur l'érosion, un peu plus sur le ruissellement ; difficile de séparer ce qui revient au sol de ce qui revient à la pente.

Effet couvert végétal : C orge = 0,35 ; C pois = 0,22.

TABLEAU X

Mascara (campagnes 1993-1994 et 1994-1995). Ruissellement annuel (Kram), ruissellement maximal au cours d'une grosse averse (K_{rmax}), perte en terre (E) et rendement des cultures, sur sol brun calcaire limoneux. Pente : 20 % ; pluie : 241 et 320 mm. D'après MORSLI, 1995
Ain-Fares near Mascara. Cereals, peas, fodder and fallows on calcareous brown soil, slope of 20 %, and vertisol, slope of 45 % (1993-1995)

Coordonnées Lambert : X = 274,600 ; Y = 249,210. Altitude : 560 m.

Sol brun calcaire limoneux sur grès calcaire. Pente : 20 % ; SL = 3,59.

	Kram (%)	K _{rmax} (%)	E (t/ha/an)	Rendement (q/ha)		
				A	B	C
Jach. nue, trav. standard	6,4/-7	27/-28	2,5/-3,52			
Orge tradition. + engrais	2,2/-3	11/-13	0,6/-0,25	12	3 à 6	2
Orge sélect. + engrais	1,6/-2	10/-12	0,6/-0,65	8		
Petits pois + engrais	2,5/-2	8/-10	0,7/-0,40	4,3	2	2
Jachère nat. non travaillée	4,2/-3,1	27/-16	1,4/-0,15	19	10 en vert	

Sol brun vertique argileux (60 %) sur marne. Pente : 45 % ; SL = 15,34

				A	B	C
Jach. nue trav. standard	2,6/-6,5	18/-30	1,5/-2,65			
Blé tradition. + engrais	0,6/-3	3/-22	0,4/-1,0	7	0 à 4	1
Blé sélection. + engrais	0,7/-3	3/-22	0,4/-0,8	8,6		
Pois chiche peu dense	1,6/-3,5	15/-24	0,8/-2,1	1,1	0,7	< 0,2
Culture fourragère (<i>Sulla</i>)	1,4/-3,3	6/-22	0,6/-0,78			

A : rendement dans la parcelle d'expérimentation.

B : rendement moyen des paysans la même année et sur le même sol.

C : rendement lors d'une année déficitaire.

Fertilisation : N 20 + P 45 (= 50 kg/ha d'ammonitrate + 100 kg de superphosphate).

Avec les pluies très déficitaires, la couverture du sol a été très clairsemée pour les pois et la culture fourragère.

Grâce à la culture améliorée par les engrais, l'orge et le blé ont mieux réussi, mais sans donner aux graines sélectionnées l'occasion de démontrer leur meilleure productivité.

Facteur cultural : C blé et orge = 0,25 ; C pois et pois chiche = 0,3 à 0,5 en fonction de la sécheresse.

Érodibilité du sol calculée : $K = E / R \times SL \times 2,24$; K brun calcaire = 0,0129 ; K brun vertique = 0,0018 (soit sept fois plus résistant).

Facteur topographique : $SL = VL (0,76 + 0,53 S + 0,076 S^2)/100 = 3,59$ pour p = 20 % ; 15,34 pour p = 45 %.

Caractéristiques des sols des parcelles (sur 20 cm)

	Argile (%)	Limon (%)	SF (%)	SG (%)	MO (%)	Calc. (%)	Cailloux (%)	Is	K (érodibilité nomographe)
Brun calcaire	17	56	20	6	1,8	30	5	45,7	0,33
Brun vertique	57	36	5	2	2,5	20	-	0,57	0,17

TABLEAU XI

Ruissellement annuel moyen (Kram), ruissellement maximal (K_{rmax}) et érosion (E)
sur les versants de l'oued Isser (Sidi Abdelli, à l'est de Tlemcen).

D'après MAZOUR (1992) et CHEBBANI *et al.* (1995)

Sidi Abdelli near Tlemcen. Agro-sylvo-pastoral system on grey vertic, calcareous brown or fersiallitic red soils, slope from 10 to 30 % (1989-1993)

Heriz. Système agropastoral (blé-jachère pâturée) ; sol vertique gris sur marnes.

Pente : 15 % ; L = 22,2 x 4,5 m ; SL = 2,22 ; 5 % de cailloux. Pluies : 354 mm en 1989-1990, 321 mm en 1990-1991 et 242 mm en 1992-1993 ; R_{USA} = 25 à 36.

	Kram (%)	K _{rmax} (%)	E (t/ha/an)
Témoin nu labour + sarclage/mois	9,8/6,8	39/27	5,7/2,2
Blé-jachère tradition. travail dans le sens pente	7,5/6,1	30/13	3,0/0,9
Blé intensif + NP travail perp. pente	5,6/2,2	22/9	1,9/0,4
Blé dur-jachère	6,5/5,3	26/21	2,7/1

Cherif A. Système agropastoral (blé-blé ou jachère) ; sol vertique gris sur marnes.

Pente : 30 % ; L = 22,2 x 4,5 m ; SL = 7,31 ; 3 % de cailloux.

Pluies : 354 mm en 1989-1990, 321 mm en 1990-1991 ; R_{USA} = 25 et 39.

Témoin sol nu	6,9	27	2,5
Blé-jachère tradit. //	5,3	14	1,9
Blé intensif + NP	7,2	28	2,1

Cherif B. Système agropastoral (blé-jachère ou vesce-avoine), sol vertique gris sur marnes ;

Pente : 20 % ; L = 22,2 x 4,5 m ; SL = 3,59 ; 4 % de cailloux.

Pluies : 354 mm en 1989-1990, 321 mm en 1990-1991 ; R_{USA} = 25 et 39.

Témoin sol nu	6,1	25	2,4
Blé-jachère tradit., travaux //pente	5,6	22	1,8
Blé-vesce-avoine intensif + NP	6,5	26	3,5

Madjoudj. Système sylvo-pastoral (matorral dégradé pâturé ou en défens),

sol brun calcaire érodé. Pente : 21 % ; L = 22,2 x 4,5 m ; SL = 3,90 ; 46 % de cailloux.

Pluies : 274 mm en 1989-1990, 386 mm en 1990-1991 ; R_{USA} = 18 et 36.

Témoin sol nu	5,4	29	3,3
Matorral dégradé, pâturé	1,0	7	0,3
Matorral en défens, enrichi	0,9	6	0,3
Matorral en défens (oliviers, genêts, chênes)	1,1	5	0,4

Gourari. Système pastoral (matorral très dégradé à Diss et Chamerops),

sol rouge fersialitique. Pente : 10 % ; L = 22,2 x 4,5 m ;

SL = 1,17 ; 42 % de cailloux. Pluies : 555 mm en 1990-1991 ; R_{USA} = 80.

Témoin sol nu, travaillé, sarclé	13,6	27	5,2
Matorral très dégradé, pâturé	15,2	25	2,1
Matorral très dégradé, mis en défens	15,8	30	1,9

La GCES appliquée à l'aménagement des versants cultivés et aux ravines dans les montagnes méditerranéennes semi-arides algériennes : 289-308

Photos : E. Roose

Les abricotiers ne protègent pas la terre durant les pluies les plus agressives de l'hiver et du printemps. De plus, le double labour croisé pousse les terres arables vers l'aval de telle sorte qu'au bout de 30 ans il manque 30 cm de terre entre les arbres.



L'aménagement de ce verger (bande enherbée entre les arbres) et l'introduction d'une culture associée (blé/fève) ont réduit les pertes en terre et en eau et amélioré le couvert

végétal en saison pluvieuse ainsi que les revenus nets des paysans. Cette stratégie de protection de l'environnement montagnard par l'intensification de la production est beaucoup mieux acceptée que les terrassements conventionnels.



Sur le versant calcaro-marneux surpâturé de Souagui, le ruissellement lors des averses exceptionnelles a creusé une série de ravines parallèles. Les transports de sédiments (100 à 300 t/ha/an) lors des plus grosses averses correspondent à l'arrachement des altérites (10-15 mm) formées sur les versants en V.



Après fixation du fond de ravine par quatre types de seuils, les versants qui tendent vers la pente d'équilibre se sont revégétalisés naturellement. La ravine stabilisée fonctionne comme une « oasis linéaire », havre de verdure dans ce milieu particulièrement aride en été.



L'équipe « érosion » de l'Inref a comparé divers types de seuils aux gabions conventionnels. Ces derniers coûtent cher et doivent être soigneusement construits et fixés par la végétation pour éviter que se forment des « renards », tunnels sous le seuil qui remobilisent tous les sédiments et peuvent détruire le dispositif de proche en proche.

Ce seuil léger constitué de grillage de fer ou de plastique (maille de 1 cm), appuyé sur des fers cornières de 250 cm de long, enfoncés de 50 cm dans le sol et stabilisés par des tendeurs en fil de fer galvanisé, coûte quatre fois moins cher que les gabions. Il est plus souple à utiliser en montagne et tout aussi efficace pour piéger les sédiments.

