

Influences du système de production et du sol sur l'érosion en nappe, le ruissellement, le stock du sol et les pertes de carbone par érosion en zone de montagne méditerranéenne (Médéa, Algérie).

Mourad ARABI* et Eric ROOSE**

*Station INRF, 26001 Ain D'heb, Médéa, Algérie. Fax 025 58 27 77

Email : arabi_m@hotmail.com

**Centre IRD-BP 64501-F 34394 Montpellier cedex 5, France, Fax : (33)(0).467.416.294

Email: roose@mpl.ird.fr

Résumé

Pour faire face à de graves problèmes d'érosion dans les montagnes méditerranéennes du nord de l'Algérie, l'Institut de Recherches Forestières algérien (INRF) et l'Institut français de Recherches pour le Développement (IRD ex- ORSTOM) ont développé un programme de recherche en coopération pour étudier l'influence d'une nouvelle approche de lutte antiérosive, la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES), entre 1985 et 1995.

Dans cette étude, sont présentés les résultats des mesures d'érosion ainsi que les pertes en carbone par érosion à la station INRF d'Ouzera, en moyenne montagne méditerranéenne (près de Médéa, à 90 km au sud d'Alger, vers 900 m d'altitude, sous une pluviosité moyenne de 650 mm).

Les résultats de quatre années de mesures montrent que les systèmes de production améliorés (agro-pastoral, arboriculture en sec, vigne de cuve et sylvopastoral) ont réduit le ruissellement et l'érosion en nappe ($E = 0,1$ à 3 t/ha/an) malgré les fortes pentes testées (12 à 40 %). Les sols de la région (vertisols calciques, sols rouges fersiallitiques et sols bruns calcaires sur colluvions) sont très résistants à la battance des pluies car ils sont riches en argile saturée en calcium ou bien protégés par un mulch en cailloux ($K_{usle} = 0,002$ à $0,02$). Le ruissellement annuel moyen est modéré ($K_{ram} = 0,6$ à 20%) : par contre le ruissellement journalier (K_{rmax}) peut dépasser 70 % lors de certains épisodes pluvieux tombant sur des sols nus, encroûtés ou saturés provoquant de graves dégâts de ravinement en aval. Le ruissellement (surtout le K_{rmax}) a été lui aussi réduit par les améliorations du système de culture.

Les teneurs en carbone des sédiments varient de 0,9 à 2,2 % en fonction de la richesse en matières organiques des horizons superficiels ($C_{sol} = 0,5$ à 1%). Les pertes en carbone particulaire dans les terres érodées sont très faibles et varient de 0,1 à 10 kg C /ha/an en fonction des pertes en terre et de la couverture végétale. L'indice de sélectivité du carbone érodé ($CER = C_{sédiment} / C_{sol}$ sur 10 cm) est peu marqué (1,1 à 1,8) dans les sols cultivés, mais atteint 2,1 et 3,1 sous matorral selon sa densité. Les plus forts indices de sélectivité ont été obtenus sous matorral et sous cultures améliorées. Ces valeurs confirment le caractère sélectif de l'érosion en nappe quand le sol est bien protégé par la végétation basse et la litière. Cependant, sur fortes pentes l'érosion linéaire et surtout l'érosion par les instruments aratoires (non sélectifs) semblent les processus les plus actifs dans l'évolution de ces paysages de montagne.

Les stocks de carbone calculés pour une épaisseur de 30 cm sont souvent faibles pour les sols cultivés de la région (stock SOC sur 30 cm = 59 t/ha sous culture à 120 t/ha sous matorral). La faiblesse du taux de matières organiques des sols s'explique par la dégradation de la végétation dans cette région depuis les premières colonisations romaines, exploitation encore intensifiée de nos jours. On a aussi remarqué que les mesures innovantes et améliorations (fertilisation et travail du sol adaptés, rotation céréales - légumineuses, cultures intercalaires sous verger et vigne, enrichissement des parcours) introduites dans les systèmes de production traditionnels ont eu, au bout de quatre années de GCES, un effet appréciable sur le stockage du carbone dans le sol.

Mots-clés : Algérie, Montagne méditerranéenne, Utilisation des terres, Erosion, Indice de sélectivité de l'érosion, Stock de carbone des sols.

Influences of land use and soils on sheet erosion, runoff, the soil stock and carbon losses by erosion in the Mediterranean mountains (Médéa, northern Algeria).

Abstract

To face severe erosion problems in Mediterranean mountains in degraded fields as well as in gullies, wadies and fast sedimentation in the reservoirs, a cooperative research between INRF and ORSTOM (presently IRD) on the sustainable management of water, biomass and soil fertility (GCES in French), strategy developed between 1985 and 1992 in semi-humid Mediterranean mountains (near Médéa, 90 km south of Alger, 900 m altitude, 650 mm average yearly rains). In this paper, are presented a summary of the erosion measurements and new data on carbon losses by erosion at the scale of runoff plots (about 100 m²). The data of 4 years measurements showed that improved farming systems (cereals/leguminous pasture, orchard not irrigated, vineyard and sylvopastoral systems) have finally increased the production but decreased a little runoff and erosion problems ($E = 0.1$ to 3 t/ha/an) in spite of steep slopes. The soils of the region (grey calcareous vertisols, red fersiallitic soils and brown calcareous soils) are rich in clay saturated in calcium and well protected by stones ($K_{usle} = 0.002$ to 0.02). But runoff can pass over 70 % during certain rainy episodes falling on bare, encrusted or saturated soils, provoking severe problems of gullies and flooding of wadies. Carbon content of sediments varied from 0.9 to 2.2 % in relation to the richness of SOC of upper horizons (10 cm) ($SOC = 0.5$ to 1 %). Losses of POC in sediments are low (0.1 to 10 kg C/ha/year) in relation to low erosion severity. The carbon enrichment ratio ($CER = C_{\text{sediments}}/C_{\text{SOC on 10 cm}}$) is not very developed (1.1 to 1.8) for cultivated soils, but attained 2.1 to 3.1 under matorral more or less covered. The highest enrichment ratios of POC were observed under dense matorrals and improved cropping systems. These data confirm the selectivity of sheet erosion when the soil surface is well protected by vegetation. However, on steep slopes, gully erosion and tillage erosion by agricultural instruments (not selective) seem more active processes in the evolution of mountainous landscapes. Carbon stocks calculated for a soil thickness of 30 cm are often weak for the cultivated soils in the region (stock SOC 30 cm = 59 t/ha to 120 t/ha). The weakness of the soil organic matter content is explained by the vegetation degradation in this region since the roman colonisation, intensified nowadays by present overexploitation. We can also notice that innovations (fertilization and cultural practices well adapted, rotation cereals - leguminous, intercropping under orchard/vineyard) introduced in the traditional production systems had, at the end of four years of GCES effort, a substantial effect on the SOC storage.

Key words : Algeria, Mediterranean mountains, Land use, Erosion, Enrichment ratio, SOC stocks.

1. INTRODUCTION

Suite aux colonisations successives et à l'augmentation rapide de la population en Algérie septentrionale, de vastes régions de montagnes à végétations naturelles furent affectées aux parcours et aux cultures. Or on sait que les terres forestières mises en cultures perdent en quelques années la moitié de leurs réserves en humus (Sabir et al, 2002). Le taux de boisement en Algérie serait passé de 30% sous domination romaine à 11% actuellement (In Nowairi cité par Ibn Khaldoun, Boudy, 1948 ; Gsell, 1913). Avec la disparition du couvert forestier qui faisait écran à l'action calorifique des rayons solaires, le sol se réchauffe et l'humus est vite minéralisé entraînant l'émission massive dans l'atmosphère de gaz carbonique. Plus grave encore, les incendies et autres feux de brousse dont sont victimes les formations forestières, dégagent chaque année d'importantes quantités de méthane et d'oxyde nitreux, gaz à effet de serre à potentiel de réchauffement global très élevé (300 fois supérieur au CO₂). Par ailleurs, la baisse de la matière organique du sol sous un

certain seuil (0.8 à 1.5 % selon la teneur en argile), entraîne l'effondrement de la macroporosité, la dégradation de la structure et la diminution de la capacité d'infiltration (Roose, Barthès, 2001). Il s'en suit une augmentation des risques de ruissellement et d'érosion qui, à leur tour, accélèrent les fuites d'éléments nutritifs. La fertilité physique et chimique de la terre diminue d'autant plus vite que les apports compensatoires par la biomasse sont négligeables voire inexistants : presque tous les résidus de culture sont utilisés pour le bétail, ou brûlés.

De 1940 à 1980, des moyens mécaniques et financiers importants furent déployés par la DRS pour reforester les hauts des bassins versants, mettre en défens les terres dégradées, cultiver en banquettes les versants et corriger le réseau hydrographique sans toutefois parvenir à réduire les risques d'érosion ni à restaurer le potentiel de productivité des sols (Demmak, 1986 ; Arabi et al, 1991). Mais depuis 1985, les recherches entreprises dans le cadre d'une convention entre l'Institut National de Recherche Forestière (INRF) et l'Institut français de Recherche pour le Développement (IRD, ex ORSTOM) à Médéa ont montré que les améliorations par la GCES apportées aux systèmes de production traditionnels, sur 15 parcelles expérimentales d'une centaine de m², ont permis de réduire les risques érosifs, de restaurer la productivité des sols et surtout d'accroître significativement les revenus des cultures (Roose et al, 1993). Parallèlement au développement de l'agriculture de montagne, nous avons cherché à appréhender l'impact du mode de gestion des terres et en particulier celui des améliorations apportées aux sols (labours dressés grossiers, fertilisation équilibrée, restitutions organiques, jachère fourragère de légumineuses, cultures associées en rotation sous verger, reforestation du matorral) sur l'évolution du stock de carbone dans le sol. Autrement dit, les alternatives proposées à celles des cultures de la région peuvent-elles relever le taux de matière organique nécessaire à la réhabilitation des sols dégradés et à l'augmentation du rendement des cultures sans pour autant dégrader le milieu? Dans cette communication, nous présentons une synthèse des résultats obtenus sur les parcelles expérimentales de l'INRF de Médéa sur l'érosion, le ruissellement et la stockage du carbone dans le sol.

2. MILIEU ET CADRE EXPERIMENTAL

Les parcelles expérimentales de mesure de l'érosion et du ruissellement (80 à 220 m²), qui servent de cadre à cette étude sont situées en moyenne montagne méditerranéenne, à une altitude variant entre 900 et 1200 m autour de station INRF d'Ouzéra (36°14' de latitude Nord, 2°51 de longitude Est) proches de Médéa, à 90 km au sud d'Alger. Le paysage présente une succession de plateaux marno-gréso-calcaires, de pentes raides (12 à 40 %) et de versants fortement entaillés à la base par les oueds.

Les sols formés sur ces colluvions de marnes et de grès calcaires sont liés à l'hétérogénéité du substratum et influencés par la position topographique (Pouget, 1974 ; Aubert, 1987). On rencontre successivement :

- des lithosols jaune clair d'apport sur éboulis de grès calcaire riche en calcaire total, mais pauvres en matières organiques, sur forte pente (40%);
- des vertisols gris plus ou moins foncés sur marnes gréseuses, bien structurés en surface, mieux pourvus en matières organiques (1.5 à 2 %), saturés en calcium, pH 7 à 8, très résistants à la battance, mais sensibles au ravinement et aux mouvements de masse, pente 12% ;
- des sols rouges fersiallitiques sur des grès tendres, pauvres en matières organiques, fragiles et instables en surface, fer total 2 %, fer libre/fer total 55%, pente 35% ;
- des sols bruns calcaires sur des colluvions de grès calcaire, horizon humifère riche en M.O. (2 à 3 %), mais au profil peu profond, souvent décapés et ravinsés, pente 35 %)

Dans cette zone méditerranéenne semi-aride montagneuse (Atlas blidéen), la couverture forestière a diminué de 18 à 13% entre 1982 et 1991, alors que la vigne et les vergers ont crû de 2 à 7 % et de 8 à 14%. Cette évolution est caractéristique des zones de développement de

l'agriculture de ces montagnes. Les pratiques culturales sont réduites à deux labours pour contrôler les adventices suivis d'un cover crop pour enfouir les engrais (N33, P45, K90) et réduire la taille des mottes.

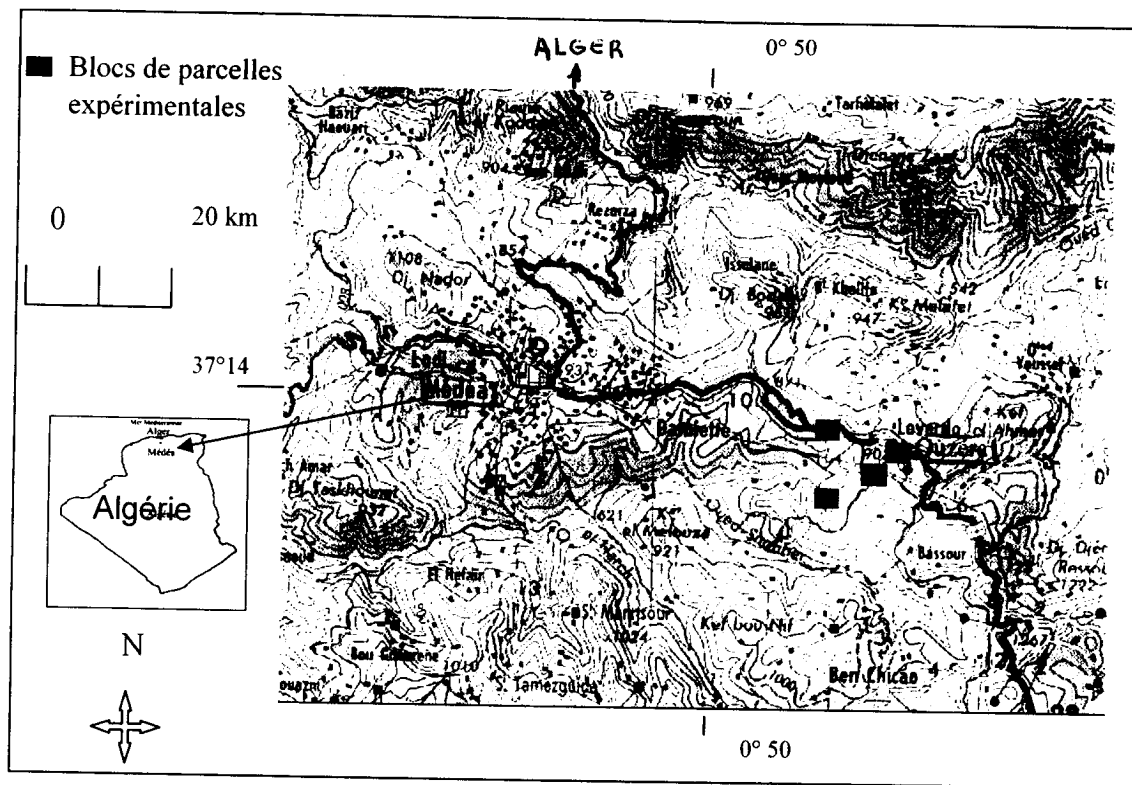


Figure 1. Carte de localisation des parcelles d'érosion à Ouzera près de Médéa
Localization of the survey and the runoff plots of Médéa.

Le climat est méditerranéen sub-humide à hiver frais et été torride. Les précipitations ont été particulièrement déficitaires durant ces dernières 40 années, 650 mm à Médéa contre 800 mm (moyenne de 1913 à 1953 : Seltzer) et les pluies agressives ont été peu nombreuses surtout au printemps. Pour la période 1974-90, à peine 5 % des averses dépassent 20 mm/jour et l'indice d'agressivité des pluies Rusa est modeste (35 à 55). Ces résultats sont proches de ceux de Heusch (1970) au Maroc et Cormary et Masson en Tunisie (1964).

Le dispositif expérimental s'inspire des parcelles d'érosion mises au point aux USA (Fournier, 1967 ; Wischmeier et Smith, 1978 ; Roose, 1988). Il comprend 15 parcelles de 22 m de long et une largeur variant entre 4 à 10 m (selon l'hétérogénéité de l'état de surface du sol), réparties en quatre blocs situés sur vertisol (pente 12 %), sols bruns calcaires sur grès ou sur colluvions et sol rouge fersiallitique (pente 30 à 40 %). Ce dispositif comprend un champ protégé par des tôles fichées dans le sol et en aval un canal transmettant le ruissellement et sa charge à deux cuves reliées par un partiteur à 3 ou 9 tubes. Les terres de fond sont piégées dans la première cuve (1m³) et les suspensions fines débordent avec le ruissellement dans la seconde (1 à 3 m³). Ce dispositif permet de comparer les risques de ruissellement et d'érosion pour les pluies décennales sur une jachère nue cultivée à ceux de quatre systèmes de production (un verger d'abricotiers, une vieille vigne sur terrasses en courbes de niveau, un système agropastoral blé-pâturage et un matorral surpâturé). Dix parcelles ont été retenues pour le bilan du carbone. Dans chaque station définie par un type de sol, une pente et un système de production on compare le comportement d'un témoin absolu (jachère à

sol nu travaillé dans le sens de la pente) à un témoin régional (système de production traditionnel) et à un ou deux systèmes améliorés. Les améliorations portent sur le travail du sol (labour conservatoire en mottes), les herbicides, les pesticides, et graines sélectionnées, une fertilisation minérale adaptée à chaque cultures, une jachère de légumineuses, des tentatives d'enrichissement des parcours en arbres ou en herbes, des rotations plus intensives et des cultures intercalaires sous vergers.

Les paramètres mesurés sont la pluie (hauteur, intensité, érosivité), le ruissellement annuel moyen (Kram en % des pluies) et le ruissellement maximal pour une averse importante (K_{rmax} %), l'érosion en nappe (charge en suspension et charge totale exprimée en t/ha/an). Les sols sont prélevés en début de campagne agricole en 1988, 1993 et 2002 à raison de 6 carottes sur la diagonale de chaque parcelle pour réaliser un échantillon composite par parcelle/traitement. Les échantillons de terres érodées ont été mélangés pour obtenir suffisamment de matière. Les analyses de sols ont porté sur la granulométrie de la terre fine (méthode Robinson) pour chaque échantillon moyen du sol en place et des terres érodées, sur la concentration du carbone à deux niveaux de profondeur (0-10 cm et 0-30 cm) (Walkley & Black), et la densité apparente (cylindres de 250 cm³).

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Les médianes des résultats annuels de ruissellement et d'érosion sont réunis au tableau I. Les résultats d'analyses (sols en place et terres érodées) sont consignés au tableau II. L'évolution du stock de carbone organique apparaît au tableau III et à la figure 2. On pourra trouver plus de détails sur l'érosion et la production des cultures dans l'article de Roose et al, 1993.

Les pluies

Les précipitations ont été particulièrement déficitaires (ex. 408 et 440 mm) et les pluies agressives ont été peu nombreuses surtout au printemps. Alors que la moyenne sur vingt années atteint 650 mm., les résultats des observations en 1988-92 sont représentatifs d'une région à 530 mm de pluie.

Le ruissellement

Sous cultures le ruissellement annuel moyen fut peu élevé (Kram = 0.5 à 4 %) tandis que le ruissellement maximal pour une grosse averse a atteint 8 à 36 %. Sur des sols nus, le Kram est encore modeste (10 à 18 %) en comparaison avec des situations semblables en régions tropicales (Kram = 25 à 80 % en Côte d'Ivoire)(Roose, 1972 et 1973). Cependant, sur les sols nus, compactés ou saturés, le ruissellement peut dépasser 70 % durant l'hiver. De là proviennent les risques de ravinement, les crues des oueds, le sapement des berges et les glissements de terrain.

Le premier facteur qui explique la faiblesse du ruissellement en ces régions montagneuses, ce sont les pluies déficitaires et peu agressives observées durant les années 1988 à 1995. Lorsque il manque 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 ainsi que le volume ruisselé. Le second facteur qui réduit le ruissellement est le couvert végétal et les techniques culturales. Sous végétation naturelle (matorral pâturé), de 20 à 80% de la surface du sol sont couverts de litière et de végétation basse : le ruissellement, bien qu'assez fréquent à cause des chemins tracés par le bétail, ne fut jamais très élevé. Cependant des terres de parcours dégradées, des terres nues compactées et des vignes non entretenues peuvent manifester des ruissellements de l'ordre de 30 % lors des averses importantes (Arabi, 1991). D'ailleurs, dans la montagne où les forêts sont pâturées, il n'est pas rare d'observer des ravines provenant des sentiers empruntés par le bétail, des parcours dégradés, ou même des jeunes plantations forestières surpâturées.

Généralement, le ruissellement démarre après 20 mm de pluie si le sol est sec et après 3 mm si le sol est compact ou humide. La pluie d'imbibition dépend à la fois de la hauteur et de l'intensité

des pluies, de l'humidité préalable des premiers cm de sol, de l'état de surface (s'il est fissuré ou fermé par la battance, du taux de cailloux, des mottes et du couvert végétal). Les forts ruissellement ne surviennent que si toutes ces conditions sont réunies, généralement entre novembre et mars, même si les intensités des pluies ne sont pas très élevées.

Tableau I. Ruissellement annuel (Kram %), ruissellement maximal pour une forte averse (Kmax %) et érosion (E en t/ha/an) sur les versants de l'Atlas blidéen : Ouzera 1988-92.

Mean and maximum runoff rate , mean erosion on hillsides of Blidean Atlas.

Systèmes de production	Traitements	Erosion t/ha/an	Kram %	Kmax %
Agropastoral sur vertisol Cailloux = 4% Pente = 12%	Nu,standard	2,3	21	80
	Traditionnel	0,23	2,4	14
	Amélioré 1	0,05	1	5
	Amélioré 2	0,04	0,9	5
Sylvopastoral brun calcaire Cailloux=16% Pente = 40%	Nu,standard	2,7	12	33
	Matorral dégradé	2	15	24
	Naturel	0,03	1	4
	Enherbé	0,05	0,6	2
Arboriculture Fersial. rouge Cailloux = 0% Pente = 35%	Nu,standard	12	20	40
	Traditionnel	0,9	5	13
	Amélioré	0,1	0,7	3
Vigne sur brun calcaire colluvial Cailloux=20% Pente = 35%	Nu,standard	2,5	12	32
	Traditionnel	0,2	2	8
	No-tillage	0,04	6	17
	Rotation Blé/fèves	0,01	0,2	2

Cailloux = % de cailloux dans l'horizon 0-10 cm , en % du poids sec

L'érosion en nappe et en rigole

L'érosion est faible ($E = 30$ à 400 kg/ha/an) sous matorral évoluant en forêt du fait des litières et végétations basses. Elle a été très modeste sur les diverses cultures testées ($E = 0,04$ à 3 t/ha/an) et même sur les jachères nues travaillées ($E = 0,7$ à 18 t/ha/an) malgré de pentes fortes (12 à 40 %). En effet, l'agressivité des pluies a été faible ($Rusa < 50$) et les sols sont très résistants à la pluie ($K = 0.002$ à 0.025), riches en argile saturée de calcium et souvent caillouteux. Ces résultats sont du même ordre que ceux observés par divers auteurs en région méditerranéenne (Heusch, 1970 ;Roose, 1972 ; Laouina, 1997, Moufaddal, 2002) au Maroc, (Clauzon et Vaudour, 1969 ; Martin, 1975) en Provence, (Delhumeau, 1981 ; Delhoume, 1987) en Tunisie.

L'érosion du carbone

Les pertes en carbone par érosion ont été très modérées durant cette période (0,1 à 10 kg C/ha/an) car les pluies ont été déficitaires et l'érosion en nappe peu intense. Elles varient en fonction du système de culture et des sols de 0,4 à 2,3 kg de C/ha/an sous rotation blé/jachère pâturée, de 0,6 à 1,1 kg C/ha/an sous matorral, 1,3 à 10 kg sous abricotiers et 0,1 à 1,8 kg de C/ha/an sous

vigne. En général les pertes en carbone ont diminué sur les parcelles améliorées. Les teneurs en carbone du sol varient peu (0,52 à 0,96 % en fonction des sols au départ).

Tous les sédiments semblent légèrement plus riches en carbone (0,9 à 1,2 %) que le sol, mais surtout sous le matorral (2 à 2,2 %) : des éléments de la litière se sont peut-être introduits dans les sédiments forestiers. Cependant il n'est pas possible de distinguer statistiquement des différences entre les traitements car tous les échantillons récoltés ont été mélangés pour produire un seul échantillon composite par traitement.

Les plus forts indices de sélectivité du carbone (rapport entre la terre érodée et le sol en place) (Tab. II), ont été obtenus sous forêt/matorral naturel et sous cultures améliorées. Ces valeurs confirment le caractère sélectif de l'érosion quand le sol est bien protégé par la végétation. Mais dans ces paysages montagneux surpâturés, on observe très souvent des rigoles dans les champs/jachères et des chemins d'eau évoluant en ravines. Sur fortes pentes l'érosion, agit par entaille linéaire, en s'attaquant à des horizons inférieurs moins riches en humus que l'horizon de surface. L'érosion en nappe observée sur les parcelles d'érosion ne peut déplacer que les particules les plus légères (la matière organique, les colloïdes argileux et limoneux ainsi que les nutriments) tandis que l'érosion en rigole décape non sélectivement le sol.

Si l'érosion en nappe ne semble pas le processus le plus actif sur les versants méditerranéens, l'érosion linéaire et surtout l'érosion aratoire (par les instruments aratoires) semblent bien plus efficaces dans l'évolution des paysages de montagne (Roose et Bertrand, 1971; Roose, 1972 ; Arabi et Roose, 1989 ; Roose et al, 1993 ; Roose et al, 2001). Même si l'érosion en nappe est maximale (18 t/ha/an soit 1,3 mm de sol), il faudrait 1,5 siècles pour décaper 20 cm de terre par érosion en nappe, alors qu'en 30 années le verger d'abricotiers a perdu 30 cm sur la moitié de sa surface : cela pourrait s'expliquer par le déplacement de terre par deux labours croisés en automne et au printemps :

$$\text{Erosion aratoire} = E. \text{ totale (150 mm)} - E. \text{ nappe (1.3 mm} \times 30 \text{ ans} = 39 \text{ mm)} / 30 \text{ ans} = 3,7 \text{ mm/an}$$

Tableau II. Indices de sélectivité des pertes en carbone par érosion en nappe : Médéa 1988 à 1992 .
Carbon enrichment ratio by sheet erosion (CER) : INRF stations of Médéa 1988/92.

Systèmes de production	Traitements	Erosion t/ha/an	Sol en place (0-10cm)			Terres érodées		Indice de sélectivité
			Dap	Argile	Carbone g/kg	Carbone g/kg	C. érodé kg/ha/an	
Agropastoral sur vertisol Cailloux = 4% Pente = 12%	Blé/jachère							
	Traditionnel	0,23	1,3	71	7,2	10,1	2,3	1,4
	Amélioré 1	0,05	1,3	64	5,2	9,2	0,5	1,8
	Amélioré 2	0,04	1,3	65	6,8	9	0,4	1,3
Sylvopastoral brun calcaire Cailloux=16% Pente = 40%	Matorral							
	Naturel	0,03	1,4	43	9,6	20,1	0,6	2,1
	Enherbé	0,05	1,5	50	7,1	22,1	1,1	3,1
Arboriculture Fersial.rouge Cailloux = 0% Pente = 35%	Abricotiers							
	Traditionnel	0,9	1,5	51	7,1	11,4	10,2	1,6
	Abr.+blé/lég	0,1	1,5	41	8,0	13,4	1,3	1,7
Vigne/terrassettes Brun calc.col. Cailloux=20% Pente = 35%	Vigne							
	Trad.labour	0,2	1,1	42	8,3	8,9	1,8	1.1
	V+ blé/lég	0,04	1,1	39	8,2	9,8	0,4	1.2
	Vigne/otill.	0,01	1,1	50	8,8	12,0	0,1	1,4

Le stock de carbone du sol (Tableau III)

Les stocks de carbone du sol exprimés en kg par mètre carré et calculés pour une épaisseur de 30 cm sont en général faibles pour les types de sol de la région : ils ont diminué de 3.4 - 11.1 kg C/m² en 1988, avant l'installation du dispositif, à 2,1 -10,8 kg C/m² en 1992 et surtout en 2002 (Stock 30 cm =1,3 à 5,9 kg c/m²). La faiblesse du niveau s'explique par l'exploitation excessive de ces forêts sous climat méditerranéen, par l'évolution rapide de la population qui double tous les 25 ans et par le mauvais choix des stratégies d'aménagement employées de nos jours. Ainsi, sous nos parcelles en milieu sylvopastoral, les incendies de forêt de l'année 2000 ont fait chuter la concentration en carbone des parcelles en matorral naturel et enherbée de 10 kg/m² à 6 - 3 kg/m² (fig. 2) presque aussi faible que sous parcelle dégradée par le pâturage. Par contre, les mesures innovantes et améliorations (fertilisation, rotation céréales- légumineuses, cultures intercalaires sous verger, enrichissement des parcours) introduites dans les systèmes de production traditionnels ont eu, au bout de quatre années de GCES, un effet appréciable sur le stockage du carbone dans le sol (+ 0.2 à 2 kg de C/m² en 4 ans). Aussitôt que l'insécurité du pays a augmenté (1992 à 2002), les stocks de carbone ont diminué de 0,3 à 6 kg de C /m² en dix ans .

Tableau III. Evolution du stock de carbone dans les sols de 1988 → 1992 → 2002
Evolution of the carbon stock in the soils from 1988 to 2002.

Système de production	Traitements	Da	Stocks de carbone (0-30cm) kg C/m ²		
			1988	1992	2002
Agropastoral sur vertisol Cailloux = 4% Pente=12%	Nu standard	1,3	4,2	2,1	1,3
	Traditionnel	1,3	4,8	3,4	1,2
	Amélioré 1	1,3	4,3	4,7	2,3
	Amélioré 2	1,3	4,5	4,9	2,4
Sylvo-pastoral Brun calcaire Cailloux=16% Pente = 40%	Nu standard	1,8	10,0	5,2	1,5
	Mat.dégradé	1,7	10,2	7,7	2,8
	Mat.naturel	1, 4	9,4	8,9	5,9
	Mat.enherbé	1,5	11,1	10,8	3,5
Arboriculture Fersial.rouge Cailloux = 0% Pente = 35%	Nu standard	1,6	4,6	3,5	3,5
	Traditionnel	1,5	4,1	3,8	3,7
	Amélioré	1,5	4,4	5,7	5,1
Vigne/brun calcaire colluvial. Cailloux = 20% Pente = 35%	Nu standard	1,2	3,4	2,7	2,5
	Traditionnel	1,1	3,4	2,7	3,7
	Amélioré1	1,1	3,5	3,7	3,9
	Amélioré2	1,1	3,7	3,7	2,9

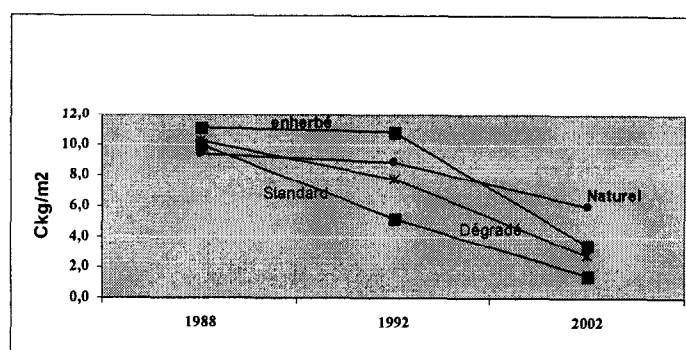


Fig.2. Evolution du stock de carbone dans le sol brun calcaire sous matorral.
Evolution of the soil carbon stock. INRF station of Médéa 1988-2002

4. CONCLUSION

Ce document résume les résultats de quatre années de mesure de l'érosion, du ruissellement et de l'évolution du carbone dans 4 sols pour quatre systèmes de production, sur des versants en pentes raides, représentatifs d'une zone sub-humide de moyennes montagnes méditerranéennes.

En introduisant un ensemble de techniques culturales améliorées, les auteurs ont montré qu'il est possible de réduire les risques de ruissellement et d'érosion, d'améliorer significativement l'infiltration, la production sans dégrader l'environnement (Roose et al, 1993).

Ils constatent en outre une faible perte en carbone par érosion et une augmentation notable du stock de carbone dans les sols au bout de quatre années d'effort de GCES. Par contre l'instabilité actuelle du pays a provoqué la chute rapide des stocks de carbone du sol vu les incendies de forêt et la tendance d'exploiter les sols avec le minimum d'investissement pour réduire les risques de rapine.

L'érosion en nappe sur les terres cultivées s'est avérée peu sélective (CER = 1.1 à 1.6) sauf sous couvert de matorral (CER = 2 à 3) et sous couvert végétal des cultures améliorée (CER = 1.4 à 1.8).

L'intensification de l'agriculture de montagne semble donc possible sans augmenter les risques de dégradation de la fertilité des sols, à condition d'améliorer le bilan hydrique et nutritif des champs cultivés.

BIBLIOGRAPHIE

- ARABI M., ROOSE E., 1989. Influence de quatre systèmes de production de moyenne montagne méditerranéenne algérienne. Bull. Réseau Erosion, 9 :39-51.
- ARABI M., 1991. Influence de quatre systèmes de production sur le ruissellement et l'érosion en milieu montagnard méditerranéen (Médéa, Algérie). Thèse Géogr., Univ. Grenoble, 272 p.
- AUBERT G., 1987. Tournée d'étude pédologique dans la zone d'Ouzera. Bull. Réseau Erosion 8 : 97- 99.
- BOUDY P., 1948. Economie forestière nord africaine. Larose ed, Paris II, fasc.1,
- CLAUZON G. , VAUDOUR J., 1969- Observations sur les effets de la pluie en Provence. Annales de Géogr.,13, 4: 390-405.
- CORMARY Y., MASSON J.M., 1964. Etude de la conservation des eaux et du sol au centre de recherche du génie rural de Tunisie: application à un projet type de la formule de pertes de sol de Wischmeier. Cah. ORSTOM Pédol. 2: 3-26.
- DELHUMEAU M., 1981. Etude de la dynamique de l'eau sur parcelles du bassin versant de l'Ouest de Sidi Ben Nacer. ORSTOM Tunis, ES.185 : 80 p.
- DELHOUME J.P., 1987. Ruissellement et érosion en bioclimat méditerranéen semi-aride de Tunisie Centrale. In « Processus et mesure de l'érosion », Editions C. N. R. S. Paris : 487 – 507.

- DEMMAK A., 1982.** Recherche d'une relation empirique entre les apports solides et les paramètres physico-climatiques des bassins algériens. AISH, 144 : 403-414.
- FOURNIER F., 1967.** La recherche en érosion et conservation des sols sur le continent africain. Sols Africains, 12, 1 : 5-53.
- GSELL S., 1913.** Histoire ancienne de l'Afrique du Nord. Hachette Paris, 8 Vol. Tome I: Les conditions du développement historique. Les temps primitifs. La colonisation phénicienne et l'Empire de Carthage. pp 40-158.
- HEUSCH B., 1970.** L'érosion du Pré – Rif. Une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du Pré – Rif occidental. Annales de la station de Recherches Forestières de Rabat ; Tome 12, 176 p.
- IBN KHALDOUN, 1382.** En-Nawaïri. Conquête de l'Afrique septentrionale. Trad. de Slane, en annexe à l'Histoire des Berbères, tome I : 314-397.
- LAOUINA A., 1998.** Dégradation des terres dans la région méditerranéenne du Maghreb. Bull. Réseau Erosion, 18 : 33-53.
- MARTIN C., 1975.** L'érosion des sols sur roches métamorphiques en milieu méditerranéen provençal. Rev. Géomorphologie Dynamique, 24: 49-63.
- MORSLI B., MAZOUR M., MEDEJEL N., HALITIM A., ROOSE E., 2004.** Effet des systèmes de gestion des terres sur l'érosion et le stock de carbone dans les Monts du Tell Occidental, Algérie. In « Les Actes du colloque « Land use, erosion & C sequestration » Montpellier, 23-28/9/2002, sous presse, 22 p.
- MOUFADDAL K., 2001.** Premiers résultats des parcelles d'érosion dans le bassin du NAKHLA dans le Rif occidental (Maroc). Bull. Réseau Erosion 21 : 244-254.
- POUGET M., 1974.** Etude agro-pédologique de la région d'Ouzera. A. N. R. H. Alger ; 72 p.
- REVEL J.C., COSTE N, CAVALIE J., COSTES JL., 1990.** Premiers résultats expérimentaux sur l'entraînement mécanique des terres par le travail du sol dans le Terrefort toulousain (France). Cah. Orstom Pédol., 25, 1-2 : 111-118.
- ROOSE E., BERTRAND R., 1971.** Contribution à l'étude de la méthode des bandes d'arrêts pour lutter contre l'érosion hydrique en Afrique de l'Ouest. Agronomie Tropicale, 26 ; 11:1270–1283.
- ROOSE E., 1972.** Comparaison des causes de l'érosion et des principes de lutte antiérosive en région tropicale humide, tropicale sèche et méditerranéenne. In « Les Actes des Journées d'étude du CIGR », Firenze, 12-16 Septembre 1972 : 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., 1988.** Protocole standard pour les parcelles de mesure de l'érosion en nappe et rigole dans un champs, en accord avec le modèle empirique de perte en terre (USLE de Wischmeier) ORSTOM Paris, 11 p multigr.
- ROOSE E., ARABI M., BRAHAMIA K., CHEBBANI R., MAZOUR M., MORSLI B., 1993.** Erosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. Réduction des risques érosifs et intensification de la production agricole par la GCES : synthèse des campagnes 1984-95 sur un réseau de 50 parcelles d'érosion. Cah. ORSTOM Pédol. 28, 2 : 289-308.
- ROOSE E., BOUROUGA L, CHEBBANI R., 2001.** Le ravinement en Algérie : typologie, Facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. Sécheresse, 11, 4 :317-326.
- SABIR M., ROOSE E., 2002 .** Influences du couvert végétal et des sols sur le stock de carbone du sol et les risques d'érosion et de ruissellement dans les montagnes méditerranéennes du Rif occidental (Maroc). In « Land use, erosion & carbon sequestration : abstracts. » Roose et al (eds) Colloque Montpellier, 23-28/9/2002, p.58.
- SELTZER P., 1960.** Le climat de l'Algérie. Université d'Alger , 2 tomes.
- WASSMER P., 1981.** Recherches géomorphologiques au Rwanda. Etude de l'érosion des sols et de ses conséquences dans la préfecture de l'Ibuvé. Thèse Géographie, Univ. Strasbourg, 144 p.
- WISCHMEIER W.H., SCHMITH D.D., 1978.** Predicting rainfall erosion losses. A guide to soil conservation planning. Washington, USDA , Handbook n° 537, 58 p.