

La lutte antiérosive, la GCES et la restauration de la productivité de sols méditerranéens dans les montagnes du nord de l'Algérie

ROOSE E.¹, ARABI M.², BOUROUGAA L. ², HAMOUDI A. ², MORSLI B. ³, MEDEDJEL N. ³, MAZOUR M.⁴, BRAHAMIA K.⁵

1. IRD, BP 64501, F 34394 Montpellier cedex5, France : courriel : Eric.Roose @ird.fr ;

2. INRF, BP. 193, Ain Dheb, Medea, 26001, Algérie : courriel :almouraddz@yahoo.fr ;

3. INRF, BP 88 Mansourah, Tlemcen, 13000, Algérie : courriel : morsli_boutkhil@yahoo.fr

4. Centre universitaire de Aïn Temouchent, BP 284, Algérie : courriel : mohamed_mazour@ yahoo.fr

5. Université Badji Mokhtar, Aménagement du Territoire, BP. 12, Annaba 23000, Algérie

Résumé

Face aux graves problèmes d'érosion observés dans les montagnes des zones méditerranéennes du Nord de l'Algérie, de gros moyens ont été développés dès 1925 pour terrasser les versants fragiles, reforester les têtes de vallée et restaurer les ravines et les oueds (DRS). Devant le manque d'efficacité de cette stratégie, une nouvelle approche (la GCES) a été proposée et testée sur 50 parcelles, une dizaine de ravines situées dans trois wilayas pour évaluer les risques d'érosion, de ruissellement et le potentiel de restauration de la productivité des principaux sols et systèmes de production. Globalement, les résultats d'une dizaine d'années de recherche montrent que l'érosion en nappe reste modérée car les sols sont peu érodibles (argileux, saturés en calcium et caillouteux), les pluies généralement peu agressives mais parfois saturantes ce qui provoque du ravinement et des inondations. Sur des pentes de 10 à 45%, l'érosion est plus décapante (érosion en rigole et aratoire) que appauvrissante en particules fines. L'intensification des systèmes de production (travail du sol réduit, l'adaptation raisonnée de la fumure, la protection du sol par une litière ou par des résidus de culture) a permis de réduire les risques de ruissellement et d'érosion, même lors des averses les plus importantes. En outre, ils ont augmenté remarquablement la production des récoltes (grains et fruits) et de biomasse (herbe et pailles) ce qui entraîne une forte amélioration des revenus nets des fermiers et l'amélioration des propriétés du sol liées à l'apport de matières organiques (séquestration du carbone). Il s'avère que la réhabilitation de la couverture végétale est plus rapide que la restauration des principales propriétés des sols : c'est tout le système de production qu'il faut repenser à l'échelle du versant et du terroir.

Mots clés : Algérie du Nord, lutte antiérosive, GCES, restauration de la productivité des sols

Abstract

Facing great erosion problems in the Mediterranean mountains of northern Algeria, heavy equipments were used since 1925 in order to grade terracing the hill slopes, greening the upper valleys and restoring the gullies and wadies : this approach was called "defends & soil restoration" (DRS). Because the check of this top-down approach, a new approach was experimented on 50 runoff plots, a dozen of gullies located in three wilayas in order to evaluate the erosion risks and the possibility to restore the productivity of the main soils and production systems in the northern Algeria. Globally the ten years data obtained by the research show that sheet erosion is moderate because soils have low erodibility (high rate of clay, saturated in calcium, and stony) , the rains are not very aggressive but sometimes so abundant that they provoke gullies and inundations. On 10 to 45% slopes tested, erosion is more scouring (tillage erosion, rills & gullies) than fine particles eroded selectively. . Intensification of farming systems (reduced tillage, rational fertilizing, soil surface protection by a litter of crop residues) allowed the erosion risk reduction, even during the main storms. More interesting for farmers, these systems increased the yield of grains & biomass, producing a large improvement of the net income, but also the soil qualities related to organic matters (carbon sequestration). It appeared the vegetation cover is easier to restore than the soils qualities. All the farming system must be thought again.

Keywords : Algeria, Soil & water conservation, land husbandry, soil restoration/rehabilitation

1. Problématique

Le bassin méditerranéen a attiré au cours des millénaires des populations nombreuses. Les colonisations successives (défrichement, agriculture, élevage, urbanisation, guerres) ont entraîné la dégradation des couvertures végétales, des sols, des rivières, du microclimat et finalement des sociétés. Le survol du Nord de l'Algérie, région la plus productive mais très fragile, montre des montagnes surpâturées, des collines dénudées, des sols décapés par l'érosion en rigole, des versants raides et des plaines lacérées par des ravines et des oueds, des barrages envasés en une trentaine d'années (Arabi et al., 2004). Qui est responsable de ces paysages désolants ? Le milieu méditerranéen réputé fragile du fait de ses reliefs jeunes, de l'alternance de roches tendres et de roches dures, de ses climats agressifs où alternent des pluies abondantes en hiver inondant des sols peu couverts et des orages violents à la fin de l'été torride ? Ou les activités dévastatrices de l'Homme rarement raisonnable quand il s'agit de s'emparer des ressources naturelles (Laouina, 1992).

Pour faire face à ces graves problèmes d'érosion, l'administration des Eaux et Forêts a développé une stratégie, la Défense et Restauration des Sols (DRS) qui comprend :

- la reforestation des hautes vallées (800 000 ha plantés depuis 1962 : Mazour, 1992) ;
- la correction torrentielle et la restauration des ravines en amont des barrages ;
- le terrassement des champs cultivés sur les versants (350 000 ha de banquettes à > de 1000 €/ha).

L'objectif était de retarder l'envasement des barrages et de protéger les aménagements, l'eau et les terres. Dès 1980, l'échec de cette approche technocratique d'équipement hydraulique des zones rurales pour le bien public était évident. Malgré 40 années d'investissements lourds dans la lutte antiérosive, la productivité des terres ne cesse de se dégrader même sur les banquettes, les barrages continuent à s'envaser, la production de bois reste faible. Le programme de terrassement des banquettes fut abandonné pour des raisons économiques (Heusch, 1986). Les forestiers poursuivent la reforestation et la correction des ravines, mais les fermiers ne reçoivent plus d'aide pour maîtriser l'érosion. En revanche l'Algérie a construit une quinzaine de barrages en dix ans, lesquels sont menacés par l'envasement à court terme, car le taux d'érosion spécifique des bassins versants est parmi les plus élevés du monde (Demmak, 1982). Actuellement, avec la crise économique, les villes industrielles connaissent des problèmes d'emplois et d'eau potable. Le gouvernement algérien souhaite maintenir la population à la campagne et intensifier l'agriculture sans pour autant accélérer la dégradation des terres, ni la pollution des eaux, ressource si précieuse en milieux semi-arides.

Depuis 1985, l'Institut national algérien pour la recherche forestière (INRF) et l'Institut français de recherche pour le développement (IRD) ont uni les efforts d'une douzaine de chercheurs pour développer un programme de formation et de recherche sur les causes et les facteurs des différents processus d'érosion et pour tester dans les montagnes semi-arides d'Algérie une nouvelle approche participative de lutte antiérosive : la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) (Roose, 1987, 1994). Il s'agit d'améliorer la couverture végétale pour réduire les risques d'érosion. Si on souhaite que les paysans participent à la protection du milieu rural et à la qualité des eaux, il faut d'abord répondre à leurs préoccupations immédiates : améliorer la productivité des terres et du travail, en gérant au mieux l'eau disponible (y compris le ruissellement), la biomasse produite et la fertilité des sols. Au lieu d'investir massivement sur les terres marginales, il s'agit d'améliorer d'abord les systèmes de production (rotation céréales-légumineuses, vigne et jardins fruitiers avec cultures en sous étage, mise en défens et enrichissement des parcours avec des légumineuses fourragères, recherche de techniques culturales adaptées aux fortes pentes, utilisation raisonnée des engrais et divers intrants). Les principaux résultats concernant les risques (potentiels et réels) de ruissellement et d'érosion ont été présentés antérieurement (Roose et al., 1993). Nous les rappellerons brièvement avant de rapporter les améliorations de la production de biomasse et de la fertilité des sols sur des champs expérimentaux de plus de 100 m² où on a suivi pendant 4 à 10 ans la réduction des pertes en eau et en terre par érosion et l'amélioration des propriétés physiques et chimiques des sols.

2. Méthodes

La comparaison des risques d'érosion et de l'évolution des propriétés des sols a été suivie pendant 4 à 10 ans sur un réseau de 50 parcelles d'érosion d'une centaine de m² représentant les quatre principaux sols, le témoin en jachère nue travaillée chaque année, les principaux systèmes de production et diverses innovations dans une zone montagneuse de l'Atlas tellien comprise entre Médéa (au centre de l'Algérie) et Tlemcen (à l'ouest) recevant en moyenne 650 à 300 mm de pluie, essentiellement en période froide. Ces innovations seront précisées pour chaque site.

Après la fin des expérimentations, les propriétés physiques ont été comparées sur le terrain au simulateur de pluie (type ORSTOM) ainsi que les stocks de carbone séquestrés dans l'horizon labouré (20cm) et les teneurs en nutriments. (Roose et Barthès, 2006 ; Morsli et al., 2006).

A la station de Ouzera-Médéa, située à 90 km au sud d'Alger, l'INRF a installé quinze parcelles d'érosion sur des pentes de 12 à 40%, vers 1000 m d'altitude, sur des vertisols gris sur marnes, très argileux, bien structurés, avec 2% de MO, saturés en calcium, sur des sols rouges fersiallitiques lessivés sur grès tendres, pauvres en MO et instables et sur des sols bruns calcaires sur colluvions, bien structurés et caillouteux. Les systèmes de production comparés à la jachère nue sont un matorral surpâturé, un verger d'abricotiers de 30 ans, une vieille vigne sur terrassettes et un système agro-pastoral traditionnel comportant un blé suivi d'une jachère pâturée (Arabi, 1991).

A Mascara, dix parcelles ont été installées sur le terroir de Ain Fares sur un sol brun calcaire limoneux de 20% de pente et sur un sol brun vertique très argileux de 45% de pente. On y a comparé la jachère nue, la jachère non travaillée, les légumineuses fourragères et les pois sur billons isohypses. Normalement les pluies atteignent 450mm, mais elles furent très déficitaires durant les expérimentations (P= 241 à 320mm) (Morsli, 1995).

Près de Tlemcen 17 parcelles furent installées dans le bassin de l'oued Isser. Au Nord sur les stations de Heriz et Cherif, sur vertisols sur marnes furent comparés les jachères nues ou traditionnelles ou à vesce-avoine, et des blés traditionnels ou intensifs.

Au sud, sur la station de Madjoudj, sur des sols bruns calcaires sur calcaire jurassique et à Gourari sur sols rouges fersiallitiques sur grès, furent testés des jachères nues, des matorrals dégradés, en défens ou enrichis de légumineuses. La pluviosité moyenne varie autour de 530 mm et on peut enregistrer tous les dix ans des pluies de 100 mm/jour au printemps (Mazour, 1992, Chebbani et al., 1995)

A Taasalet, à 60 km au nord de Relizane, huit parcelles furent installées sur sol brun calcaire vertique sur marnes (pente de 9 à 21%) et sur une rendzine sur roche mamo-calcaire (pente de 30%) (Brahamia, 1993). La comparaison porte sur la jachère nue, la culture d'orge à plat et de pois sur billons perpendiculaires à la pente. Les pluies furent déficitaires (P=250mm) si bien que l'introduction d'arbustes fourragers a échoué tandis que le labour profond et le billonnage isohypse ont réduit l'érosion et amélioré la production fourragère.

3. Les résultats sur l'érosion

3.1. Les précipitations

Toute la région a connu des années pluviales déficitaires plus ou moins graves (de 60 à 280 mm par rapport aux moyennes sur 30 ans), mais on a quand même observé de grosses averses. Non seulement la hauteur des pluies fut modeste mais aussi leur intensité et leur énergie. L'indice d'agressivité des pluies (Rusa de Wischmeier et Smith, 1960) n'a guère dépassé 50 par campagne et le rapport Rusa/ hauteur des pluies annuelles n'atteint que 0,1 alors qu'il atteint 0,4 à 0,6 en Afrique occidentale (Roose et Arabi, 1994). Il y a donc une situation paradoxale. D'une part, les climats méditerranéens sont réputés très érosifs (des paysages ravinés et des inondations catastrophiques). Mais d'autre part, les auteurs s'accordent pour constater de modestes indices d'agressivité des pluies, nettement moindres qu'en régions tropicales (Kalmann, 1976 ; Pihan, 1978 ; Roose, 1972 et 1994 ; Arabi, 1991 ; Mazour, 1992). Cela semble indiquer que les séries de pluies saturantes et la faible couverture pédologique sont à l'origine de ces phénomènes catastrophiques, plus que l'énergie des pluies orageuses, généralement limitées dans l'espace.

3.2. Le ruissellement

Le ruissellement annuel fut très discret sous matorral et jachères pâturées ($K_{ram} = 0,6$ à 4% des pluies), modeste sous cultures ($0,1$ à 7%), mais il peut dépasser 5 à 28% sur sol nu même labouré. Par contre, le ruissellement maximal lors d'une grosse averse varie beaucoup selon qu'il s'agit d'un matorral bien couvert ($K_{rmax} = 1$ à 9%), d'un parcours dégradé, surpâturé et tassé (25 à 30%) d'une terre labourée et cultivée (1 à 23%) ou d'une terre nue, tassée, encroutée par les pluies, engorgée ou peu profonde (K_{rmax} peut dépasser 50 à 85%). C'est lors de ces événements exceptionnels que se déclenchent le ravinement, les crues des oueds, les glissements de terrain et l'envasement rapide des barrages. Deux facteurs expliquent la modestie du ruissellement : les pluies déficitaires (ce sont les séries et les gros orages qui manquent pour saturer le sol) et le fort couvert végétal obtenu grâce aux bonnes techniques culturales (labour grossier, engrais, et litière entre les rangs cultivés). Par contre les parcours surpâturés, les pistes tassées par le bétail, les vignes non entretenues, les sols nus engorgés en hiver et les jachères encroutées peuvent produire plus de 30% de ruissellement lors des averses importantes.

On voit au tableau 1, que l'aptitude des sols à ruisseler dépend plus des états de surface du sol lors des averses que du type pédogénétique. Les vertisols sont presque imperméables une fois que le profil est humecté, les argiles gonflées et les fissures colmatées. Les sols rouges fersiallitiques sont généralement perméables, mais une fois dégradés, les horizons sableux pauvres en MO deviennent instables, se tassent et s'encroûtent et le ruissellement devient aussi fort que sur les sols argileux. Les sols bruns calcaires et les rendzines, souvent caillouteux, sont les sols les plus perméables.

Tableau 1. Aptitude au ruissellement des sols nus labourés : K_{rmax} % et pluies d'imbibition (P_i en mm) observés sur sols secs ou humides.

Station	Pluies (mm)	Vertisol gris	Fersiallitique rouge	Brun calcaire	Rendzine
Ouzera-Médéa	650	80	40	33	-
Tlemcen	500	27-39	30	29	-
Mascara	450	30	-	28	-
Taasalet	300	15	-	-	13
Pluie d'imbibition (mm)		3 à 20	4 à 10	6 à 22	6 à 14

Pour déclencher le ruissellement, la pluie d'imbibition varie de 10 à 22 mm quand la pluie tombe sur un sol sec et de 3 à 6 mm sur sol humide. Ces seuils de hauteur de pluie limite dépendent surtout de l'humidité préalable et de l'état de la surface du sol : tassement par le bétail, fissures de dessiccation et trous creusés par les vers de terre, croûtes de battance ou de sédimentation, litière et canopée, cailloux, agrégats et mottes créées par le travail du sol. Le labour grossier et profond augmente temporairement l'infiltration mais réduit la cohésion d'où des pertes en terre importantes lors des averses abondantes. Par contre quand on a remplacé le labour par un sarclage aux herbicides sous un vignoble à Ouzera, la surface du sol s'est tassée et le ruissellement a triplé alors que les pertes en terre ont diminué car la surface battue du sol est plus cohérente.

3.3. L'érosion en nappe et rigoles

Sous les garrigues méditerranéennes, les pertes en terre sont très réduites ($E = 0,03$ à $0,4$ t/ha/an) du fait des litières et végétations basses (Clauzon et Vaudour, 1969 ; Martin, 1975 ; Delhoume, 1981 ; Roose et al, 1993). L'érosion en nappe a aussi été 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 de fortes pentes ($p = 10$ à 45%). Cela s'explique par la faible agressivité des pluies ($R_{usa} < 50$) et la forte résistance des sols riches en argile saturée en calcium et souvent caillouteux ($K = 0,02$ à $0,25$). A titre

de comparaison, sur des sols ferrallitiques sableux de Côte d'Ivoire, Roose a mesuré sur jachère nue des pertes en terre 35 fois plus importantes (700 t/ha/an) pour des pluies 4 fois plus abondantes (Roose, 1977). L'érosion en nappe sélective (entraînant l'appauvrissement de l'horizon humifère) ne semble pas le processus le plus actif sur ces versants méditerranéens raides. L'érosion en rigole et l'érosion aratoire, qui ne sont pas sélectifs, peuvent entraîner le décapage de l'horizon humifère en une génération : le travail du sol participe activement à la formation des talus en bordure des champs.

L'érodibilité des quatre types de sols testés sous pluies naturelles varie de 0,002 à 0,033 : les sols sont donc très résistants à l'énergie des pluies comparés à l'échelle mondiale où K augmente de 0,01 à 0,70 avec la fragilité des sols. Les risques d'érosion en nappe sont donc peu différents des risques de ruissellement, sauf que les sols Fersiallitiques lessivés sont plus fragiles que les Vertisols, plus argileux. Cependant, si les Vertisols sont résistants à la battance des pluies, une fois le profil réhydraté, le ruissellement est si fort qu'il provoque du ravinement : c'est d'ailleurs sur les marnes et les Vertisols qu'on observe le plus de ravines.

L'influence des pentes est difficile à démontrer car les sols varient en même temps que la pente (sauf à Tlemcen). Au tableau II, il apparaît clairement que le ruissellement (moyen et maximum) diminue lorsque la pente augmente tandis que l'érosion est plus liée au type de sol qu'à la pente exprimée en %. Ce résultat étonnant à première vue a déjà été observé au Maroc sur Vertisol (Heusch, 1970), et sur sols ferrallitiques en Côte d'Ivoire (Roose, 1973) et sur sols bruns en Belgique (Poesen, 1984). Ces résultats remettent en cause l'utilisation classique des équations de Ramser, Saccardy (1950), Bourgeat et d'autres selon lesquelles l'érosion augmente avec la pente et que, par conséquent, il faut rapprocher les structures antiérosives.

Tableau 2. Influence de la pente et du type de sol sur le ruissellement moyen et extrême et l'érosion sur une jachère nue travaillée. D'après Roose et al., 1993.

Type de sol	Surf. couverte par les cailloux %	pente %	Kram %	Krmax %	Erosion t/ha/an
Ouzera -Medea					
Vertisol gris	4	12	21	86	2,3
Fersiallitique rouge	0	30	20	57	12,0
Colluvial brun calcaire	20	35	12	36	2,5
Brun calcaire / versant	16	40	11	34	2,7
Tlemcen					
Sol vertique gris	5	15	10	39	5,7
Idem	4	20	6	25	2,4
Idem	3	30	7	27	2,5

Influence de l'amélioration des systèmes culturaux (tableau 3)

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

A Ouzera, les rendements observés sur les parcelles d'érosion soumises aux pratiques traditionnelles sont aussi médiocres que sur les champs voisins des paysans : 7 quintaux /ha de blé d'hiver, 28 q/ha de raisin et 8 q/ha pour les abricots, sur des arbres malingres. Juste à côté, grâce aux techniques améliorées les rendements ont atteint en culture pure 48 à 65 q de blé, 40 q/ha de raisin, 10 q d'abricots et en plus les cultures associées (34 q/ha de fève et 30 q de blé).

Les revenus nets augmentent de 250 \$ US /ha sur céréales traditionnelles, à 2500 sur rotation blé/légumineuses améliorée et jusqu'à 5100 sous vigne améliorée avec sous étage en blé en rotation avec

légumineuses (fèves). Dans la région de Tlemcen, l'apport de 75t/ha de compost urbain (24% d'humidité) appliqué sur un sol brun vertique a multiplié les rendements de pois chiche par deux, en année déficitaire (Mededjel, 1995). Ces résultats obtenus sur des petites parcelles (100m²) ont été confirmés par la suite à l'échelle de l'ha dans les champs des paysans locaux.

Tableau 3. Effets de l'amélioration des systèmes cultureux sur le ruissellement, l'érosion en nappe, le rendement des cultures et le revenu annuel net à Ouzera (Arabi et Roose, 1992), à Mascara (Morsli et al., 2012), à Tlemcen (Mazour, 1992).

Systèmes		Kram %	Krmax %	Erosion t/ha/an	Rendement q/ha/an	Revenus \$ US
Ouzera-Medea						
Agropastoral	traditionnel	2,4	14	0,23	7b+ 2,3p	250
Sur vertisol	amélioré	0,9	5	0,05	48b+22p+70f+27rc	2500
Sylvopastoral	dégradé	15	25	2,0nm.....	17
Sur sol brun	reforesté	0,6	2	0,05nm.....	forfait
«	enherbé	1,0	4	0,03nm.....	forfait
Verger	traditionnel	5,0	12	0,9	11a	605
Sur sol rouge	amélioré	0,7	3	0,1	10a+64f+33b+19rc	3000
Vigne	traditionnelle	2	8	0,2	29r	2500
Sur sol brun	associée	0,2	2	0,01	37r+37f+29b+4rc	5100
Mascara						
Agropastoral	traditionnel	1,8	19	0,95	6b + 6bsp	
Sol brun vertique	amélioré	0,9	5	0,40	14b + 45 bsp	
Agropastoral	traditionnel	2,1	22	0,75	70 + 13pp + 5 bsp	
Sol brun calcaire	amélioré	0,9	5	0,06	140 + 31 pp +30 bsp	
Tlemcen						
Agropastoral	Blé intensif	4,7	14,6	0,95	48b	1920
Vertisols marneux	engrais NP Labour CES					

B= blé ; p=paille ; a=abricots ; f= fourrage ; r= raisin ; rc= résidus de culture ; O=orge ; pp= petits pois ; bsp= biomasse sèche des jachères ; nm = non mesuré

3.4. L'érosion en ravine.

Dans ces paysages surpâturés, on observe fréquemment des sentiers suivis par le bétail ou des rigoles dans les champs abandonnés, les pistes en terre ou les jachères évoluant en ravines. Alimentées par le ruissellement provenant de zones peu couvertes, tassées et/ou encroutées situées en amont, ces ravines creusées dans les couvertures pédologiques et les roches tendres (surtout marnes, argilites et schistes tendres) présentent des formes en V où les terres arrachées ou éboulées durant les périodes peu pluvieuses s'accumulent au fond des ravines, puis sont évacuées lors des averses très abondantes. Leur approfondissement est généralement très rapide ($E = 90$ à 300 t/ha/an) mais une fois atteint un certain équilibre, les versants s'enherbent et se stabilisent (Chebbani et al., 1995 ; Roose et al., 2000).

En milieu méditerranéen, il n'est pas rare de rencontrer des ravines initiées en milieu de versant au point de résurgence d'une nappe d'eau temporaire ou de ruissellement hypodermique : plus on stabilise l'amont, plus on améliore l'infiltration et plus on accélère le ravinement. C'est par l'enrochement de la tête de ravine et l'aménagement de la ravine elle-même qu'on pourra stabiliser l'évacuation de ces

excès d'eau localisés. Enfin, les oueds connaissent des crues impressionnantes qui peuvent déstabiliser les berges et créer des ravines remontantes. On peut réduire les risques de glissement de terrain par la plantation d'arbres à croissance rapide, mais il faut aussi stabiliser les ravines et les oueds.

4. La restauration des sols

Un des objectifs à moyen terme de la GCES, outre la réduction des transports solides, vise la restauration de la capacité de production des sols. La restauration de la couverture végétale est beaucoup plus spectaculaire et rapide que l'amélioration des propriétés des sols : ces recherches se sont donc étalées sur dix ans pour vérifier sur le terrain l'évolution du stock de matières organiques de l'horizon superficiel, les propriétés physiques qui y sont directement liées et la disponibilité en nutriments pour les plantes cultivées (ou simplement gérées par le pâturage et la fertilisation organique et minérale).

4.1. Le stockage du carbone

Il va dépendre à la fois de l'érosion des MO du sol (en réalité peu abondante si on maîtrise l'érosion en nappe : Roose et al, 2006), de la minéralisation des MO du sol (rapide en milieu humide et chaud, ce qui ne dure pas toute l'année en milieu méditerranéen froid l'hiver et sec l'été chaud) et surtout des apports de biomasse fraîche à la surface du sol (peu abondantes dès lors que les animaux circulent partout) et dans le sol (racines des plantes annuelles). Dans le Rif marocain, en milieu forestier naturel, le stock de carbone du sol sur 30 cm peut atteindre 100 t/ha/30cm sur les sols argileux saturés en calcium (MO = > 2 à 4 % sous la litière), mais diminue de 25% sous matorral surpâturé, et de 50% sous cultures sarclées (Sabir et al, 2004).

Après 5 à 10 ans d'expérimentation, la **teneur en carbone** de l'horizon superficiel varie de 0,6 à 1,2 % dans l'ensemble des sols testés, quelque soit le type de sol, à part à Tlemcen où le sol brun calcaire de Madjouj atteint 1,9 à 3,3% sous diverses jachères arbustives. Le mode d'utilisation de la terre affecte plus clairement le taux de carbone et le stock de carbone des dix premiers cm que le type de sol. Les taux de MO sont les plus bas sur sol nu et les plus hauts sous jachère ou matorral mis en défens. Sous culture, le taux de MOS n'est pas toujours le plus élevé sous culture améliorée, fertilisée. (Morsli et al., 2006).

Le stock de carbone organique contenu dans les dix premiers cm des sols varie de 9 à 18 t/ha, sauf sur le sol brun calcaire de Tlemcen où il atteint le double sous matorral dense. Ces sols sont situés en bas de pente et reçoivent pas mal d'eau, de débris végétaux et parfois les déjections laissées par les animaux au pâturage : ceci a permis le développement d'une forte biomasse et l'amélioration du stock de carbone du sol.

Le stock de carbone est le plus faible sous jachère nue : il est généralement amélioré sur cultures fertilisées (+5%) et sous matorral ou jachère protégée (+ 44%) : le pâturage le réduit systématiquement (- 4 à - 28%). Les valeurs de stock de MO sont souvent plus faibles (9 à 18t/ha/10cm) dans les stations testées en Algérie que dans le rif marocain où il atteint 20 à 40 t/ha sur 10cm sur des sols forestiers bruns calcaires, sauf à la station de Tlemcen où les valeurs sont équivalentes (21 à 37 t/ha) et sont peut-être le reflet d'un passé forestier plus récent. Le type et le taux de couverture végétale peuvent aussi influencer les stocks de carbone du sol.

Les pertes de stock de carbone furent suivies pendant 5 ans à Mascara et 10 ans à Tlemcen.

Sous jachère nue, le stock de carbone a perdu 160 à 820 kg de C /ha/an selon les sols.

Le pâturage des jachères ou des matorrals réduit logiquement les stocks de carbone du sol par rapport aux parcours en défens. Sous jachère et matorral en défens, le gain de stock varie de 330 à 750kg C/ha/an. Le pâturage a fait perdre près de 400 kg/ha/an et la mise en défens a permis de gagner plus de 600 kg/ha/an. Sous cultures, le stock a peu varié : - 50 à - 80kg sous légumineuses et - 30 à + 80 kg/ha/an sous céréales.

Les pertes de carbone par érosion furent modestes si on considère les fortes pentes testées : 19 à 136 kg sous jachère nue, de 0,1 à 42 kg sous cultures. Les pertes de MOS proviennent donc essentiellement du faible apport de litière fraîche qui ne peut compenser la minéralisation par les microbes. Les résidus de cultures des légumineuses étant plus riches en azote, minéralisent plus vite que les résidus de céréales. Les légumineuses sont aussi exploitées comme fourrages et laissent très peu de biomasse dans le sol. On comprend donc mieux que les associations de légumineuses avec les céréales améliorent la production végétale et les revenus des cultivateurs mais assez peu les qualités du sol. Par contre l'apport de litière plus riche en lignine des jachères forestières améliore nettement le stock de carbone de l'horizon de surface et toutes les propriétés qui y sont liées, en particulier la densité apparente, l'infiltration et la stabilité des agrégats.

Tableau 4. Stock de carbone, de nutriments et propriétés physiques du sol sur 10cm

Station, sol, traitements	Stock de C t/ha	dapp	Is (Hénin)	Infiltration mm/h
Medea, Vertisol				
Blé-jachère pâturée	9,4	1,30		
Blé-légumineuse fertilisée	8,8	1,30		
Médeea, brun calcaire				
Matorral pâturé	10,2	1,70		
Matorral enrichi en herbes	10,7	1,50		
Médeea, brun calcaire				
Vigne traditionnelle	10,0	1,20		
Vigne fertilisée + cult. associée	9,0	1,10		
Médeea, sol fersiallitique				
Abricotiers sur sol nu	10,7	1,51		
Abricotiers / blé+légumineuses	12,0	1,50		
Mascara, sol brun vertique argileux				
Jachère nue	13,8	1,35	0,8 à 1	04
Cultures	14-16	1,35	0,5 à 0,8	10
Jachère pâturée	15,4	1,36	0,6 à 0,8	09
Jachère en défens	16,1	1,31	0,4 à 0,6	14
Mascara sol brun calcaire				
Jachère nue	15,1	1,51	7 à 24	03
Cultures	15,7	1,51	4 à 8	10
Jachère pâturée	15,8	1,53	5 à 15	10
Jachère en défens	17,7	1,44	2 à 4	18
Tlemcen, sol vertique				
Jachère nue	10,5	1,31		
Blé + Jachère pâturée	11,7	1,30		
Blé fertilisé	13,4	1,30		
Tlemcen, brun calcaire				
Jachère nue	20,8	1,12		
Matorral surpâturé	26,7	1,16		
Matorral en défens	37,3	1,12		
Tlemcen, sol rouge fersiallitique				
Jachère nue	9,4	1,49		
Matorral surpâturé	10,3	1,51		
Matorral en défens	14,1	1,50		

4.2. Les propriétés physiques

La densité apparente du sol (mesurée au cylindre de 250cm³) varie 1,12 à 1,70 dans l'horizon superficiel en fonction des types de sol, du travail du sol et du couvert végétal. Dans les sols argileux vertiques, la densité apparente (d_{app}) varie autour de 1,30 entre les fissures, les sols bruns calcaires et les fersiallitiques atteignent 1,50 - 1,70. A l'intérieur de chaque groupe de parcelles (même sol), les jachères nues labourées et les céréales ont à peu près la même densité en fin de campagne, par contre, le pâturage entraîne une augmentation de la densité du sol (tassement par les sabots) et la mise en défens une diminution (activité de la faune et humification de la litière). L'amélioration de l'infiltration est liée à la diminution de la densité apparente (correspondant à une augmentation de la macroporosité de l'horizon superficiel), mais la présence d'une mince croûte de battance sur les sols nus, indétectable aux cylindres, peut modifier considérablement le ruissellement et donc l'infiltration. La pression des sabots des moutons et chèvres atteignent 2 à 3 kg/cm² et ceux des vaches, chevaux et ânes de l'ordre de 5 à 7 kg/cm² soit deux fois plus que la pression des pneus des tracteurs et remorques. On comprend pourquoi dès qu'une jachère ou une forêt est dégradée par le parcours régulier du troupeau, la surface du sol est tassée en saison des pluies et pulvérisée (la structure est détruite) en saison sèche, ce qui entraîne la désorganisation des agrégats et la destruction des macropores par où les eaux de surface pénètrent et circulent rapidement dans les sols. La mise en défens de parcours a entraîné en 5 ans une amélioration de la stabilité des agrégats, de la densité apparente, de la pluie limite d'imbibition (P_i sur sol brun vertique augmente de 17 à 27mm sur sol brun vertique et de 7 à 15mm sur sol brun calcaire) et de l'infiltration limite (F_n de 10 à 18mm/h sur sol saturé) en relation avec la surface fermée et la surface couverte des parcours (Morsli et Hamoudi, 2013).

Dans la station de Hériz (Tlemcen), les sols cultivés en blé intensif sur marnes sont pauvres en MO : leur structure est peu poreuse et peu stable. Le travail mécanisé peut contribuer au tassement du sol et exige beaucoup de précautions (Mazour, 1992).

5.3. Les nutriments

La plupart des sols testés sont riches en calcaire libre (à part les sols rouges lessivés) et les argiles saturées en calcium : donc la structure est assez stable. Le calcaire s'accumule souvent en profondeur et forme des amas friables, des nodules et des encroûtements feuilletés. Le complexe absorbant est saturé et dominé par le calcium et le magnésium. Le pH est donc légèrement alcalin, ce qui va avoir une influence sur la disponibilité en phosphore assimilable. Le taux de MO est faible du fait du labour qui accélère la minéralisation, mais sous couvert forestier (matorral), les horizons de surface sont bien pourvus en MO (3 à 4 %). Les sols étudiés en zone de culture sont carencés en phosphore assimilable ($P_2O_5 < 14$ ppm)

La mise en défens des parcours a entraîné une nette amélioration de l'azote total, du phosphore assimilable et du carbone des sols bruns calcaires et bruns vertiques (Morsli et Hamoudi, 2013, cet ouvrage). L'accroissement par 2 ou 4 de l'azote et du phosphore des parcelles améliorées proviendrait de l'augmentation de la biomasse et de sa décomposition rapide ($C/N < 12$).

6. Discussion et conclusions

Les mesures en un réseau de 50 parcelles d'érosion (100 m²) situées sur pentes fortes sur 4 sols représentatifs des montagnes moyennes du Nord-Ouest de l'Algérie ont confirmé qu'il est techniquement possible d'intensifier la production végétale dans ces milieux semi-arides (300 à 600mm) tout en réduisant les risques de ruissellement et d'érosion, même lors des plus fortes averses.

Etant donnée l'insécurité qui a régné dans certaines zones du pays, on n'a pas relevé et analysé autant d'échantillons qu'il aurait fallu pour démontrer la vitesse avec laquelle les propriétés physiques et biochimiques du sol s'améliorent.

Cependant, les résultats disponibles après 5 à 10 ans d'expérimentation, montrent bien l'influence de l'usage des terres sur leur capacité à produire et sur les propriétés physiques et

biochimiques du sol qui déterminent leur fertilité, en particulier la séquestration du carbone. Quelque soit le type de sol, les parcours et les jachères nues ou surpâturées entraînent des taux de matières organiques des sols et de NPK les plus faibles. Par contre les sols sous jachère ou matorral mis en défens ou enrichis en légumineuses qui accumulent en surface une litière morte ou un tapis d'adventices sont les moins sujets au ruissellement (bonnes propriétés physiques) et à l'érosion (accumulation d'humus et de nutriments assimilables) : ces matières organiques disponibles en surface favorisent les activités de la faune (vers de terre, termites et population microbienne) qui vit dans les horizons humifères superficiels et y organise un réseau de pores améliorant l'infiltration. Les sols cultivés évoluent plus lentement vers un enrichissement de l'horizon labouré ou vers un appauvrissement en fonction du bilan des apports de résidus de culture, d'engrais organiques et minéraux et des pertes par érosion mais surtout par exportation des graines et des pailles récoltées. Les améliorations les plus spectaculaires des propriétés des sols ont eu lieu sur des parcours et des matorrals en défens, donc des sols non labourés : cependant nous n'avons pas eu l'occasion de tester les techniques de semis direct sous litière. Il semble cependant que si techniquement cette approche semble possible, même en zones semi-arides (Mrabet, dans cet ouvrage), le manque de fourrage et les habitudes d'élevage en liberté en saison sèche, réduisent les chances de garder une litière suffisante à la surface des sols à l'époque des semis.

Ces résultats confirment les observations selon lesquelles en milieu méditerranéen, la restauration de la couverture végétale est plus rapide que la restauration de la fertilité des sols. La nutrition raisonnée des plantes cultivées en fonction du milieu accélère la production de biomasse exploitable et la restauration du taux d'humus de l'horizon superficiel des sols : la correction des carences du sol serait trop coûteuse car les stocks à pourvoir sont énormes et les nutriments risquent d'être bloqués par les carbonates et les métaux libres contenus dans ces sols. L'hétérogénéité des sols est si grande et le poids des horizons arables si élevé par rapport aux apports de nutriments, qu'il est bien difficile de le mettre en évidence. Pour des raisons économiques, il faut viser à améliorer la nutrition des plantes cultivées, plutôt que de tenter de corriger toutes les carences des sols, d'autant plus que les sols sont soumis à des pertes de nutriments par érosion, par drainage, par exportation des récoltes et surtout par minéralisation des matières organiques des sols. Ces pertes sont d'autant plus fortes que les horizons de surface sont enrichis en nutriments.

7. 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., Kedaid O., Asla T., Bourouga L., Roose E., 2004. Bilan de l'enquête sur la défense et restauration des sols (DRS) en Algérie. *Revue Sécheresse* 15 : 87-95.
- Brahamia K., 1993. Essai sur la dynamique actuelle dans la moyenne montagne méditerranéenne : bassin versant de l'oued Mina, Algérie. Thèse Géographie, Univ. Grenoble, 241 p.
- Chebbani R., Mededjel N., Belaidi S., 1995. Application de la GCES dans la région de Tlemcen, Algérie. *Bull. Réseau Erosion*, 15 : 489-497.
- Clauzon G. et Vaudour J., 1969. Observations sur les effets de la pluie en Provence, France. *Annales de Géographie*, 13, 4 : 390-405.
- Delhoume JP., 1981. Etudes en milieu méditerranéen semi-aride : ruissellement et érosion en zone montagneuse de Tunisie centrale (Djebel Semmama). Tunis, ORSTOM -DRE, 187p. ou In : Processus et mesure de l'érosion, 1987, CNRS : 487-507.
- Demmak A., 1982. Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie. Thèse doct. ing., Paris VI, 323 p.
- Heusch B., 1970. L'érosion du Pré-Rif. Etude 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 Pédol.*, 22,2 : 153-162.
- Heddadj D., 1997. La lutte contre l'érosion en Algérie. *Bull. Réseau Erosion* 17 : 168-175.
- Kalmann R., 1976. Le facteur climatique de l'érosion dans le bassin du Sebou. Projet SEBOU, Rabat, 40 p.
- Laouina A., 1992. Recherches actuelles sur les processus d'érosion au Maroc. *Bull. Réseau Erosion*, 12 : 292-299.
- Laouina A., 1998. Dégradation des terres dans la région méditerranéenne du Maghreb. *Bull. Réseau Erosion* 18 : 33-53.
- Martin Cl., 1975. L'érosion des sols sur roches métamorphiques en milieu méditerranéen provençal.

Rev. Geomorphologique Dynamique, 24 : 49-63.

Mazour M., 1992. Les facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin de l'oued ISSER : Tlemcen, Algérie.

Bull. Réseau Erosion, 12 : 300 – 313.

Mededjel N., 1995. Etude du comportement des sols à caractères vertiques sous l'apport de compost urbain et d'engrais. Documentation INRF, « Préservation et valorisation des terres de montagne », Alger : 74-77.

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.

Morsli B., Mazour M., Mededjel N., Hamoudi A, Roose E., 2004. Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et d'érosion sur les versants semi-arides du NO de l'Algérie.

Sécheresse 15, 1 : 96-104.

Morsli B., Mazour M., Arabi M., Mededjel N., Roose E., 2006. Influence of land use, soils, and cultural practices on erosion, eroded carbon and soil carbon stocks at the plot scale in the Mediterranean mountains of northern Algeria. In : "Soil erosion and carbon dynamics", E. Roose, R. Lal, C. Feller, B. Barthès, B. Stewart eds, *Advances in Soil Science*, CRC, Taylor & Francis, Boca Raton, Fl., USA : 103-124.

Morsli B., & Hamoudi A., 2013. Restauration des terres de parcours dans les Monts de Beni Chougrane (NO Algérie) : mise en défens et enrichissement en légumineuses. In : « *Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens* » E ; Roose eds, éditions IRD, Montpellier, 9 p.

Mrabet R., 2013. Potentiel du semis direct sous litière pour restaurer les sols cultivés en zones semi-arides du Maroc. In « *Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens* » E. Roose Eds, Editions IRD, Montpellier, 10 p.

Pihan J., 1978. Annuaire des valeurs mensuelles de l'indice d'érosivité des pluies de Wischmeier relative aux stations officielles de la Météorologie nationale. Rennes, Lab. INRA-Univ Haute Bretagne, 110 p.

Poesen J., 1984. The influence of slope angle on infiltration rate and Hortonian overland flow volume.

Zeit. Geom. Suppl. Bd 49: 117-131.

Roose E., 1972. Comparaison des causes de l'érosion et des principes de lutte en région tropicale humide, tropicale sèche et méditerranéenne. In : Journées d'Etudes du Génie Rural, Florence, Italie, : 417-441.

Roose E., 1977. Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en parcelles expérimentales. Travaux et Doc. de l'ORSTOM Paris, n°78, 108 p.

Roose E., 1987. Evolution des stratégies de LAE. Nouvelle démarche proposée en Algérie : la GCES.

Bull. Réseau Erosion, IRD. Montpellier, 7 : 91-96.

Roose E., Arabi M., Brahamia K., Chebbani R., Mazour M., Morsli B., 1993. Erosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. *Cah. ORSTOM Pédol.*, 28, 2 : 289-308.

Roose E., 1994. Introduction à la GCES. *Bull. Pédologique FAO*, Rome, n°70, 420 p.

Roose E., Chebbani R., Bourougaa L., 2000. Ravinement en Algérie : typologie, contrôle, quantification et réhabilitation. *Sécheresse*, 11, 3 : 317-326.

Roose E. and Barthès B., 2006. Soil carbon erosion and its selectivity at the plot scale in tropical and Mediterranean regions. In "Soil erosion and carbon dynamics", E. Roose, R. Lal, C. Feller, B. Barthès, B. Stewart eds, *Advances in Soil Science*, CRC, Taylor & Francis, Boca Raton, Fl., USA : 55-72.

Sabir M., Barthès B, Roose E., 2004. Recherche d'indicateurs des risques de ruissellement et d'érosion sur les principaux sols des montagnes méditerranéennes du Rif occidental (Maroc). *Sécheresse* 15, 1 : 105-110.

Saccardy L., 1950. Note sur le calcul des banquettes de restauration des sols. *Terres et Eaux*, 11 : 3-19.

Wischmeier W. & Smith D., 1960. Predicting rainfall erosion losses. A guide to solve conservation planning.

Washington, USDA, Handbook n° 537, 58 p.

**Restauration de la productivité
des sols tropicaux et méditerranéens
Contribution à l'agroécologie**

Version préliminaire



Eric ROOSE
Editeur scientifique

IRD Editions
INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DEVELOPPEMENT
MONTPELLIER, JUILLET 2015