

EFFET DES SYSTEMES DE GESTION SUR L'EROSION ET LE STOCK DU CARBONE DANS LES MONTS DU TELL OCCIDENTAL D'ALGERIE

Morsli Boutkhal*, Mazour Mohamed, Mededjel Nadja*, Halitim Amor*** et Roose Eric****.**

* INRF Tlemcen, Algérie. Email :morbinrf @ yahoo.Fr.

** Université de Tlemcen, Algérie. Email : mohamed_mazour @yahoo.fr

*** Université de Batna, Algérie

**** IRD Montpellier France. Email:Roose@mpl.ird.fr

Résumé

Les problèmes d'érosion et de dégradation des sols dans les montagnes méditerranéennes de l'Algérie sont très préoccupants. Plusieurs stratégies pour conserver le sol et gérer les eaux se sont succédées : des stratégies traditionnelles bien adaptées aux conditions écologiques et socio-économiques, la défense et restauration des sols « DRS » développée entre 1940-80 qui privilégie les interventions mécaniques pour réduire l'érosion et d'autres approches suivies par les forestiers plus ou moins mal perçues par les populations rurales et aujourd'hui abandonnées.

Le mode de gestion est le facteur le plus important où l'homme peut intervenir pour modifier ce phénomène. Ce travail vise justement l'effet de certains systèmes de gestion très fréquents dans cette zone, sur le ruissellement et les pertes en terre, en carbone organique et en éléments minéraux. Cinq systèmes ont été étudiés: sol nu, sol cultivé, sol en jachère, sol avec une gestion sylvopastorale et gestion pastorale. Les études ont été menées sur des parcelles de 100 m² et sur quatre types de sols représentatifs de montagnes méditerranéennes. A Mascara, pour les systèmes cultivés les résultats montrent que le ruissellement annuel (Kram) fut modeste, il est cependant plus élevé sur sol nu jusqu'à 6,8% en moyenne alors qu'il n'atteint qu'à peine 2,7% en jachère non pâturée et entre 1,4 et 3,9 en moyenne pour les autres traitements. Quant à Tlemcen, il atteint 6,23% en moyenne sur sol nu, 5,6 en moyenne en système traditionnel et 4,67 en moyenne en système amélioré. Le ruissellement max pour une forte averse (K_{rmax}) a atteint 38,6% sur sol nu et en système cultivé, 42,1 en système sylvopastoral et 38% sur sol rouge fersiallitique pâturé. Les quantités de terre érodées en système cultivé sur sol nu ont atteint 9,2 t/ha/an et varient 0,2 à 3 t/ha/an pour les autres traitements. Pour les systèmes sylvopastoraux et pastoraux l'érosion est relativement modeste : de 0,5 à 1,9 t/ha/an en système traditionnel et de 0,4 à 1,4 t/ha/an en mise en défens.

Les teneurs en carbone organique (C) du sol sont faibles : 0,63 à 3,33 % dans les 10 premiers cm et 0,6 à 1 % dans les 30 premiers cm. Les stocks en carbone organique durant les années de mesures dans les dix premiers cm du sol ont diminué de 10 à 25% pour les sols nus, de 8% sur les systèmes traditionnels et de 16 à 22 % sur les matorrals et les jachères pâturés. Par contre sur les systèmes améliorés (matorral et jachère en défens, blé intensif, cultures en billons,...) les stocks ont augmenté de 5 à 28%.

Les terres érodées sont 1,3 à 4 fois plus riches en carbone organique (Co). Les billons et la jachère non pâturée semblent efficace pour la réduction de l'érosion et l'augmentation des stocks du Co. L'étude de la distribution des sols a montré qu'une partie des matériaux érodés reste piégée sur le versant. L'érosion crée une redistribution de la fertilité du sol dans le paysage. La compréhension de cette dynamique en fonction des systèmes de culture peut aider à une meilleure gestion de l'hétérogénéité des potentialités et à restaurer les stocks du carbone (C) dans le sol, tant pour des questions de durabilité, que pour des objectifs environnementaux.

Mots clés : Système de gestion - Erosion- Ruissellement- Carbone organique- Sol- Algérie.

INTRODUCTION

L'érosion est un phénomène bien connu : ses manifestations et ses formes sont variables. Ils sont observées depuis des siècles autour du bassin méditerranéen depuis des poètes romains jusqu'aux géographes, pédologues, hydrologues et agronomes plus récents (Cormary et Masson, 1964; Dumas 1965, en Tunisie; Heusch, 1970; Laouina, 1992 au Maroc; Roose et al, 1997; Kouri, Vogt, Gomer, 1997, en Algérie). En Algérie aujourd'hui, ce phénomène prend de plus en plus d'ampleur et constitue une préoccupation majeure du pays. Les zones de montagne qui constituent un enjeu socio-économique important restent les plus touchées par ce phénomène érosif. Ainsi les équilibres entre la végétation, le sol et l'eau se trouvent perturbés (Benchetrit, 1972). Le défrichement, le surpâturage, la mise en culture des terres en forte pente et les séquelles de la colonisation sont autant de facteurs liés à l'homme qui ont accentué le phénomène de dégradation.

En conséquence, environ 6 millions d'hectares sont exposés aujourd'hui à une érosion active et en moyenne 120 millions de tonnes de sédiments sont emportés annuellement par les eaux (Heddadj, 1997). Les pertes annuelles des eaux dans les barrages sont estimées à environ 20 millions de m³ dues à l'envasement (Remini, 2000). La subsistance des populations est de plus en plus menacée par l'accélération de ce phénomène.

Sur ces zones de montagne et sur les sols continuellement cultivés puis abandonnés, la dégradation s'accroît chaque jour et même si les marques de l'érosion ne sont pas toujours visibles, elle apparaît clairement au niveau des rendements qui chutent à cause de la diminution de la fertilité. Les sols cultivés, juste après les récoltes, sont souvent livrés sans protection aux différents agents de dégradation : l'agressivité des orages, le surpâturage, la dessiccation des sols. Les dégradations sont d'autant plus marquées que les sols sont dénudés et en pente et les horizons de surface décapés. Ce n'est qu'à partir du mois de novembre que les sols commencent à être labourés et au mois de janvier certaines cultures commencent à couvrir le sol. Le mode de gestion des terres est le facteur important où l'homme peut intervenir pour protéger le sol et améliorer la productivité.

Depuis les années 1980, une nouvelle stratégie de développement rural : GCES (gestion durable de l'eau et de la fertilité des sols) a été développée dans le cadre d'une coopération de recherche entre l'INRF (Institut National algérien de la Recherche Forestière) et l'IRD (Institut français de Recherche pour le Développement) avec la collaboration de l'Université de Tlemcen qui tient mieux compte de la participation paysanne et de ses priorités. En effet la population a connu une croissance sans précédent et la pression sur le milieu naturel s'accroît chaque jour. Au lieu de lutter contre les forces de ruissellement, la GCES propose de disperser cette énergie, stocker les eaux de surfaces dans le sol, améliorer le statut organique des sols, augmenter la couverture végétale du sol par une gestion des résidus de culture et en jachère courte et améliorer la couverture végétale naturelle par des mises en défens réglementées.

Au vu de la complexité de l'érosion et ses conséquences dans le Tell occidental de l'Algérie et la tendance actuelle à la reconversion des systèmes de production, un programme de recherche sur le ruissellement, l'érosion et les pertes de fertilité a été lancé dans les montagnes de Beni-Chougrane et de Tlemcen dans le cadre de projets nationaux de recherche financés par l'état algérien. L'objectif étant d'évaluer l'influence des systèmes de gestion traditionnels et améliorés sur les processus de ruissellement et d'érosion et sur la dynamique du carbone. La nécessité de ces projets est motivée par les résultats déjà acquis

par les équipes de recherche de l'INRF, de l'IRD et celles des universités de Tlemcen et de Mascara dans le cadre d'une convention bilatérale.

MATERIELS ET METHODES

La zone d'étude est située dans le Nord ouest algérien, dans les monts de Beni-Chougrane-Mascara et de Tlemcen (figure 1). Ces derniers sont très dégradés et sont représentatifs du tell occidental au vu de la diversité de leurs caractéristiques et des différents aménagements dont ils ont fait l'objet.

Ces montagnes sont caractérisés par :

- Un climat de type méditerranéen semi-aride avec des pluies annuelles qui varient de 280 mm à 500 mm. Ces pluies sont caractérisées par une irrégularité spatio-temporelle et par un régime de courte durée et à forte intensité (l'intensité maximale peut atteindre 84 mm/h en 30 mn).

- Un relief très escarpé et fortement disséqué, ayant souvent de fortes pentes et un réseau de drainage très dense.

- Une lithologie caractérisée par des roches en majorité tendres (marnes et grés tendres) ce qui prédispose ces zones aux différents processus d'érosion.

- Des formations végétales très dégradées, caractérisées par de faibles densités de recouvrement et de mauvaises conditions de régénération.

Si les facteurs naturels jouent un rôle important dans les processus érosifs dont les conséquences sur la fertilité des sols en particulier sont fâcheuses, il n'en demeure pas moins que l'accélération de ces phénomènes dépend largement des formes de gestion tel que l'utilisation de l'espace, le choix des assolements, les techniques culturales, la fertilisation, la gestion des eaux ...

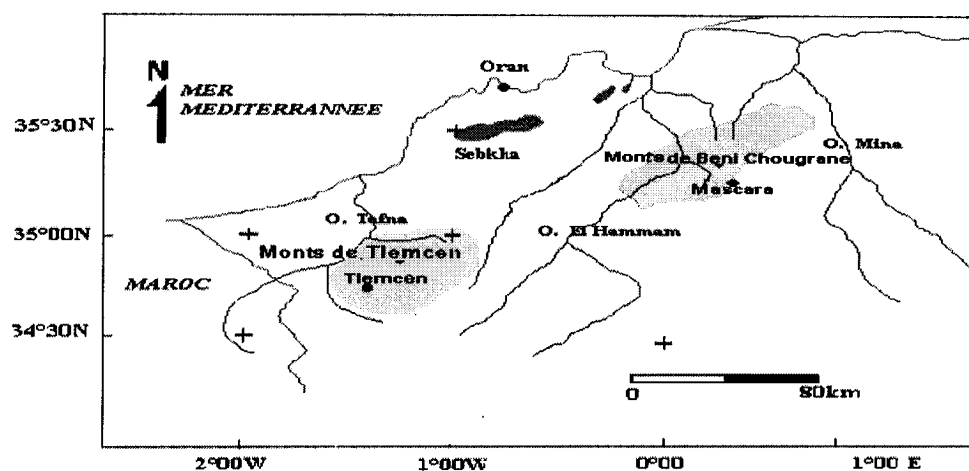


Figure 1. Carte de situation des monts du Tell occidental de l'Algérie

Les mesures ont été menées sur une période de dix années dans quatre types de sol, les plus représentatifs des montagnes méditerranéennes d'Algérie du Nord ouest: le sol brun calcaire argileux (SBA), le sol brun calcaire limoneux (SBL), le sol brun calcaire sur roche calcaire (SBC) et le sol rouge fersiallitique sur grés (SRF).

Ces sols sont riches en calcaire sauf pour les sols rouges fersialitiques, le complexe adsorbant est saturé et dominé par le calcium et le magnésium. Le taux des matières

organiques est faible et décroît de la surface vers la profondeur. Le rapport C/N montre une bonne évolution des matières organiques (tableau 1).

Tableau 1. Principales caractéristiques analytiques des sols

Type de sol	Sol brun calcaire Limoneux –SBL		brun calcaire sur marne SBA		Sol brun calcaire sur calcaire SBC		Sol rouge fersialitique
Profondeur (cm)	0-15	15-45	0-15	15-45	0-10	10-30	0-10
Calcaire total%	25,2	32,5	19,6	24,5	10,82	15,38	3,23
Argile%	17,2	16,1	57,1	57,2	20,18	28,31	37,31
Limoneux totaux%	56,2	60,4	32,6	33,1	56,23	49,23	20,48
Sables totaux%	25,8	23,3	10,1	9,1	22,13	21,51	41,37
Densité apparente	1,5	1,6	1,3	1,5	1,12	1,23	1,5
IS.	2 à 3	-	0.4 à 0.8	-	-	-	-
M.O %	1,79	1,29	2,00	1,85	4,59	3,24	1,78
CO%	1,04	0,75	1,16	1,08	2,67	1,86	1,04
C/N	11,55	10,70	10,50	10,80	11,12	11,62	11,55
Azote total %	0,09	0,07	0,11	0,10	0,24	0,16	0,09
P2O5 (olsen) ppm	10	4	13	6	-	-	-
pH eau	7,5	7,6	8,2	8,1	7,2	7,5	7,0
Complexe absorbant méq/100g de terre							
Ca++	22,3	24,2	28,4	26,4	25,3	27,8	17,3
Mg++	2,8	2,7	10,6	9,4	0,92	1,2	1,6
K+	0,9	0,8	1,1	1,0	1,13	1,0	1,2
Na+	0,3	0,3	0,2	0,2	0,34	0,65	0,31

L'approche méthodologique repose sur l'analyse du ruissellement, de l'érosion et de la dynamique du carbone au niveau des parcelles expérimentales de cent mètres carrés de type Wischmeier. Vingt sept parcelles de 100 m² furent installées : dix sept à Tlemcen en 1989, et dix à Mascara en 1993 réparties comme suit :

- 9 parcelles sur sol brun calcaire limoneux : 5 parcelles à Mascara et 4 à Tlemcen
- 3 parcelles sur sol rouge fersialitique à Tlemcen (Gourari)
- et 15 parcelles sur sol brun calcaire argileux sur marnes : 5 à Mascara et 10 à Tlemcen.

Le dispositif permet d'analyser l'effet des systèmes de gestion des terres les plus fréquents et les plus dominants : sol nu, sol cultivé, sol en jachère et sol sous végétation naturelle pâturée (matorral dégradé) et quelques améliorations, sur les risques de ruissellement et d'érosion et sur la dynamique et la séquestration du carbone.

Les systèmes de gestion analysés sont les suivants :

- Système cultivé en céréales (PC) sur sol brun calcaire limoneux (SBL) et sol brun calcaire argileux (SBA).
- Système cultivé en petit pois avec billons (PP) sur SBL.
- Système cultivé en pois chiche (PPC) sur SBA.
- Jachère non travaillée et pâturée (JP) sur SBA et SBL.
- Jachère protégée (mise en défens) est laissée sans intervention particulière (JNP) sur SBL et avec une amélioration par une légumineuse sur SBA (système de gestion rare).
- Matorral pâturé (MP) sur SBL et une amélioration par mise en défens (MDC).

- Matorral pâturé et une amélioration par mise en défens (MDR) sur sol rouge (SRF).
- Sol nu (PS), parcelle standard qui correspond aux normes de Wischmeier.

Les parcelles étudiées sont installées sur des versants dont la pente varie en fonction des sites (15 à 40 %).

Le ruissellement et les pertes en terre ont été mesurés après chaque pluie, à l'aide de dispositifs de cuves installés en aval de chaque parcelle (trois cuves en série et partiteurs). Les pertes en terre englobent les suspensions et les sédiments lourds.

Les stocks de carbone organique (C) ont été calculés sur la base de densités apparentes (prélèvement au cylindre avec trois répétitions) et des prélèvements d'échantillons moyens du sol (8 pour chaque parcelle pour les 10 et 30 premiers cm (0-10 et 0-30 cm) du sol. Ils ont été effectués en fin d'été (septembre). Le C est déterminé par la méthode de Anne.

Pour connaître les pertes de C par érosion, des prélèvements sur les terres fines érodées et sur les suspensions (MES) ont été effectués après chaque pluie pour les périodes 1995-96 et 2000-2001. Le carbone des éléments grossiers et solubles n'a pas été pris en considération. Le C des terres érodées analysé regroupe celui des éléments fins de la fosse à sédiments et des suspensions (MES) dans les cuves. Pour les MES, un échantillon de un litre est prélevé des cuves, après homogénéisation des eaux de ruissellement. La précision des mesures est de l'ordre de 10 % pour la détermination du ruissellement et de l'érosion. La détermination du carbone organique est faite par la méthode Anne et les éléments minéraux par la méthode Internationale.

RESULTATS

Les précipitations

Les pluies moyennes annuelles varient de 240 à 550 mm dans le Tell occidental algérien d'où une variabilité relativement importante durant les trois dernières décennies. Un déficit chronique a été enregistré et atteint globalement plus de 50% par rapport à la moyenne calculée sur la période 1913-1971.

Le tableau 2 montre les valeurs moyennes des pluies déterminées sur trois périodes distinctes : 1913-1971, 1971-2001 et 1990-2001. Il en ressort une diminution des moyennes pour la période récente à laquelle appartient notre période de mesure.

Tableau 2. Ecart des pluies annuelles par rapport aux moyennes annuelles déterminées sur trois périodes de mesures.

Année		1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2001	2001
Pluie max. Jour. mm/24h	Tlemcen	30,6	44,7	26,1	35,1	41,9	33,8	25,1	35,7	20	26,6	
	Mascara	-	-	-	56,4	48,2	48,2	45,4	23,8	25,2	53,5	67,3
Pluie moyenne Annuelles mm	Tlemcen	371	243	268	256	541	260	349	260	253	413	422
	Mascara	-	-	-	242	320	470	240	259	256	215	310
Ecart/moyenne (%) 1913-1971	Tlemcen : 496 mm $\sigma = 100$	-25	-51	-46	-48	+9	-48	-30	-48	-49	-17	-15
	Mascara: 511 mm $\sigma = 143$	-	-	-	-53	-37	-8	-53	-50	-50	-58	-40
Ecart/moyenne (%) 1971-2001	Tlemcen : 347mm $\sigma = 110$	+7	-30	-23	-26	+56	-25	+1	-25	-27	+19	+22
	Mascara: 380 mm $\sigma = 102$	-	-	-	-36	-15	+24	-26	-35	-33	-30	-18
Ecart/moyenne (%) 1990-2001	Tlemcen : 331 mm $\sigma = 100$	+12	-27	-19	-23	+63	-21	-5	-21	-24	+25	+27
	Mascara: 294 mm $\sigma = 85$				-18	+8	+60	-19	-12	-13	-27	+5

Le ruissellement et l'érosion

Les ruissellements moyens sont en général assez modestes tout au long de la période de mesure : le coefficient de ruissellement moyen annuel (Kram) sur sol nu varie de 2 à 9,8 % sur sol brun calcaire argileux cultivé, de 2 à 7,6 % sur les sols bruns calcaires limoneux sous végétation naturelle (matorral dégradé) et de 9,9 à 14,4 sur les sols rouges fersiallitiques déstructurés et tassés par le surpâturage; alors que le K_{rmax} a atteint des valeurs relativement élevées : 19,4 sur les parcours, 38,6 sur les sols cultivés et 42,1 % pour les sols nus. Sous végétation naturelle, les taux de ruissellement sont les plus bas particulièrement pour les traitements de mis en défens (tableau 3 et 4).

Tableau 3 . Ruissellement (Kram & K_{rmax} %) et érosion (t/ha/an) sur parcelles expérimentales à Mascara (1993-1998).

	Pluie (mm)	Kram %					K _{rmax} %					Erosion (t/ha/an)				
		PS	JNP	PC	PPP	PJP	PS	JNP	PC	PPP	PJP	PS	JNP	PC	PPP	PJP

Système cultivé (céréales-légumineuses et jachère pâturée); sol brun limoneux sur grés.
Pente : 20% ; L= 22,2 x 4,5 m ; SL = 2,22 ; 8 % de cailloux ; R_{USA} = 46 ± 14,6 ; Z = 640 m.
Parcelle standard : témoin nu labouré sarclée chaque mois.

Moyenne	306	6,5	2,7	2,2	2,0	3,9	28,0	13,4	10	8,8	21,4	5,9	0,6	0,7	0,5	0,96
Ecart type	87	0,8	1,0	0,7	0,5	0,6	2,3	7,9	3,1	2,4	3,6	2,7	0,5	0,2	0,3	0,5

Système cultivé (céréales-légumineuses et jachère); sol brun vertique sur marnes.
Pente : 40% ; L= 22,2 x 4,5 m ; SL = 2,22 ; 5 % de cailloux ; R_{USA} = 46 ± 14,6 ; Z=670m.
Parcelle standard : témoin nu labouré sarclée chaque mois.

		PS	JNP	PPC	PC	PJP	PS	JNP	PPC	PC	PJP	PS	JNP	PPC	PC	PJP
Moyenne	306	3,8	1,7	2,1	1,4	21	21	10,5	12	8,1	11	4	0,6	1,4	0,9	0,96
Ecart type	97	1,76	0,89	0,86	0,92	0,64	10	6,78	7,6	8,0	6,2	2,27	0,1	0,5	0,3	0,3

SBL=sol brun limoneux, SBA = sol brun argileux, PS = parcelle standard, JNP = jachère protégée, PC = parcelle cultivée en céréales, PPP = petit pois en billons, PJP = jachère pâturée, PPC = pois chiche, Z = altitude.

Les résultats montrent que l'érosion en nappe est modeste et varie significativement selon les systèmes de culture et les types de sol. Les taux les plus élevés sont enregistrés en automne. Les pertes en terre sont plus élevées sur un sol nu que sur un sol cultivé. Par contre, elles demeurent relativement faibles sur jachère non pâturée et matorral mis en défens où le taux de couverture permanente est élevé (tableau 3 et 4).

Tableau 4. Ruissellement (Kram & Krmax %) et érosion (t/ha/an) sur parcelles expérimentales à Tlemcen (1991-2001).

	Parcelle Standard			Système traditionnel			Système amélioré			
	Pluies	Kram	Krmax	Erosion	Kram	Krmax	Erosion	Kram	Krmax	Erosion
	(mm)	(%)	(%)	(t ha ⁻¹ an ⁻¹)	(%)	(%)	(t ha ⁻¹ an ⁻¹)	(%)	(%)	(t ha ⁻¹ an ⁻¹)
Hériz : Système agropastoral (blé- jachère pâturée); sol vertique gris sur marnes. Pente : 15% ; L= 22,2 x 4,5 m ; SL = 2,22 ; 7% de cailloux ; R _{USA} = 33 ± 9,7; Z=524 m. Parcelle standard : témoin nu ; labourée ; sarclée chaque mois. S. trad. : blé-jachère trad., travail dans le sens de la pente. S. amélioré : blé intensif avec engrais (NP).										
Moyenne	330	6,2	20,3	2,0	5,6	16,7	1,36	4,67	14,6	0,95
Ecart type	97	2,23	10,8	1,8	1,8	7,30	1,2	2,29	5,9	0,88
Madjoudj :Système sylvopastoral (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; R _{USA} = 58 ± 11,4 Z=725 m ; Parcelle standard ; S. trad. : Matorral dégradé, pâturé ; S. amélioré : Matorral en défens (oliviers, genêts, chênes).										
Moyenne	387	3,9	22,4	3,55	2,4	10,9	0,52	2,2	112	0,4
Ecart type	77	1,3	11,7	1,42	1,6	4,6	0,26	1,4	4,6	0,27
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; R _{USA} = 63 ± 10,8 ; Z=976m P. standard ; S trad. : Matorral dégradé, pâturé ; S amélioré : Matorral dégradé, mis en défens.										
Moyenne	411	12,7	27,5	3,4	11,0	20,9	1,9	11,2	18,8	1,4
Ecart type	76	2,13	5,32	1,37	3,21	7,45	0,55	3,36	6,89	0,53

Le Carbone : teneurs, stocks et pertes

Les teneurs en carbone

Les teneurs en carbone organique dans les dix et trente premiers cm pour les différents types de sols étudiés à Mascara et à Tlemcen sont variables en fonction des systèmes de gestion (tableau 5). Elles varient de 0,65 à 0,96 sur système pastoral, de 0,74 à 1,23 sur système agropastoral et de 2,26 à 3,38 sur système sylvopastoral.

Tableau 5. Teneurs en carbone organique (C %) sur 10 et 30 cm de profondeur du sol pour les différents types de sol et systèmes de gestion.

	Sol brun limoneux pente 20 %					Sol brun calcaire Argileux pente 40 %					Sol brun calcaire Pente 21%			Sol rouge fersialitique Pente 10%		
	PS	PC	PP	PJP	PJNP	PS	PC	PPC	PJP	PJNP	PS	MP	MDC	PS	MP	MDR
Mascara (1996)																
C % 10cm	1	1,03	1,03	1,03	1,23	1,02	1,2	1,1	1,13	1,23	-	-	-	-	-	-
Ecart type	0,04	0,10	0,13	0,13	0,16	0,03	0,08	0,10	0,20	0,22	-	-	-	-	-	-
Da (g/cm ³)	1,51	1,52	1,50	1,53	1,44	1,35	1,35	1,32	1,36	1,31	-	-	-	-	-	-
C% 30 cm	0,65	0,75	0,74	-	0,9	0,75	0,9	0,82	0,88	1,05	-	-	-	-	-	-
Ecart type	0,02	0,05	0,05	-	0,10	0,06	0,08	0,08	0,10	0,12	-	-	-	-	-	-
Da (g/cm ³)	1,66	1,65	1,66	-	1,58	1,40	1,39	1,41	1,43	1,39	-	-	-	-	-	-
Tlemcen (2001)																
C %10 cm	-	-	-	-	-	0,80	0,90	-	-	1,03	1,86	2,30	3,33	0,63	0,68	0,94
Ecart type	-	-	-	-	-	0,03	0,03	-	-	0,03	0,08	0,17	0,12	0,04	0,03	0,02
Da (g/cm ³)	-	-	-	-	-	1,31	1,30	-	-	1,30	1,12	1,16	1,12	1,49	1,51	1,50

Les stocks en carbone

Les stocks en carbone ont été évalués sur les profondeurs 0 -10 et 0 -30 cm pour les deux types de sols étudiés à Mascara. Ceux mesurés en 1998 sur 0 -10 cm étaient de 13,5 à 13,8 t/ha sur sol nu, de 14,7 à 17,6 t/ha sur sol cultivé et s'élevaient à 18,9 t/ha sur jachère mise en défens. Ils diminuent de la surface vers la profondeur du sol (figure 5 et 6).

Les stocks de carbone dans la région de Tlemcen varient entre 9,4 et 37,9 t/ha en fonction des différents types de sol et des systèmes de gestion. Ceux évalués sur l'épaisseur des 10 premiers cm sont relativement importants sur le système sylvopastoral et les jachères mises en défens et atteignent le maximum en 2001 (figure 5 et tableau 6).

Pour les systèmes cultivés et parcours, les stocks varient globalement entre 10 et 15 t/ha en moyenne pour tous les types de sol.

Tableau 6. Stocks en carbone (t/ha) sur 0-10 cm en fonction des systèmes de gestion des sols à Tlemcen.

	Système cultivé (Heriz)			Système sylvopastoral (Madjoudj)			Système pastoral (Gourari)		
	Sols bruns calcaires			Sols bruns sur calcaire			Sols rouges fersialitiques		
	Sol nu	B/J tradié	Blé intensif	Sol nu	Matorral pâturé	Matorral en défens	Sol nu	Matorral pâturé	Matorral en défens
1991	12,12	12,24	12,48	29,1	29,9	29,9	11,2	11,9	12,6
1992	11,04	14,04	12,36	24,6	33,6*	29,7	10,4	13,5	13,5
1993	10,2	13,92	12,44	25,8	33,1*	32,4	10,9	12,9	13,8
1994	10,44	12,87	12,8	23,9	32,4*	33,0	10,81	12,7	13,9
1995	11,28	13,80	12,92	22,8	31,8	35,2	10,50	12,8	14,4
1996	10,12	13,68	13,14	22,38	29,2	36,9	10,20	11,3	14,1
1997	9,68	13,30	13,02	21,8	27,2	35,8	9,70	11,9	13,9
1998	10,12	12,24	13,01	21,8	25,3	37,9	10,20	11,3	13,8
1999	9,96	11,76	13,24	21,3	25,9	36,9	10,5	10,5	13,9
2000	10,8	13,20	13,48	21,4	28,56	37,5	9,5	9,8	13,6
2001	10,52	12,09	13,48	20,9	25,9	37,4	9,4	10,3	14,14

* mis en défens avec litière importante en surface.

Les pertes en carbone

La perte en carbone par érosion en nappe, sur sol en pente, varie en fonction des systèmes de gestion : de 20 à 136 kg/ha/an sur sol nu, de 17 à 41 kg/ha/an sous sol cultivé et de 19 à 41 kg/ha/an sous jachère pâturée et jachère mise en défens et sous matorral dégradé de 18 à 34 kg/ha/an (tableau 7 et 8).

Les MES recueillies dans les cuves de stockage des eaux de ruissellement sont constituées en grande partie de limons fins, d'argile et de MO. Les concentrations en MES varient de 0,7 à 8 g/l et semblent liées à l'agressivité des pluies. La teneur en C organique dans les MES varie de 2 à 8% suivant la concentration de cette dernière

Tableau 7. Perte en carbone par érosion superficielle sur système cultivé, sylvopastoral et pastoral en 2000-2001 à Tlemcen.

Utilisation	Sol brun calcaire argileux Système cultivé			Sol brun calcaire limoneux S.sylvopastoral			Sol rouge fersialitique Système pastoral		
	PS	Trad.	B/J Blé intensif	PS	MP	MDC	PS	MP	MDR
Carbone du sol en parcelle (%)	0,8	0,9	1,03	1,86	2,3	3,33	0,63	0,68	0,94
Carbone des terres érodées (%)	1,06	1,68	2,06	2,01	3,9	4,8	0,98	1,45	1,80
Indice de sélectivité	1,33	1,86	2,0	1,08	1,61	1,44	1,55	2,13	1,91
Pertes en C (kg/ha/an)	20	27	33	78	28	34	31	26	18

Tableau 8. Perte du carbone organique (C) par érosion superficielle en fonction des systèmes de gestion -agropastoral (95-96) à Mascara.

Sol Utilisation	Sol brun limoneux, Pente : 20%					Sol brun argileux, Pente : 40%				
	PS	PC	PP	PJP	PJNP	PS	PC	PP	PJP	PJNP
Carbone du sol en parcelle (%)	1,00	1,03	1,03	1,02	1,23	1,02	1,16	1,10	1,13	1,23
Carbone des terres érodées (%)	1,60	2,80	2,90	2,60	4,80	1,40	2,30	2,70	2,60	3,50
Indice de sélectivité	1,60	2,71	2,81	2,54	3,90	1,37	1,98	2,45	2,30	2,84
Pertes en C (kg/ha/an)	136,0	22,40	17,40	41,60	19,20	95,2	30,2	41,8	33,0	21,00

DISCUSSION

Les précipitations

Les dix dernières années ont été particulièrement déficitaires jusqu'à 250 mm au dessous de la moyenne déterminée sur une période assez longue : 1913-1971. En effet, les déficits changent en fonction des périodes de référence sur lesquelles ont été calculées les moyennes (tableau 2). L'ampleur des déficits et leur fréquence sont variables en fonction de ces périodes : pour la période 1913-1971, la moyenne calculée est de 496 mm largement supérieure à celles des périodes 1971-2001 et 1990-2001 qui sont respectivement de 347 et 331 mm. Ce qui fait que les pluies enregistrées lors de la dernière décennie (période de mesures) sont déficitaires avec une fréquence supérieure à 90% par rapport à la moyenne de l'ancienne période et une fréquence supérieure à 50% par rapport aux périodes récentes. Peut on dire qu'il s'agit là d'une variation naturelle du module pluviométrique annuel ou d'une tendance à la baisse de longue durée qui pourrait s'expliquer par la dégradation des facteurs du milieu naturel ?

Les montagnes telliennes de l'ouest sont caractérisées par une forte torrencialité. Seltzer (1948) a signalé des intensités maximales enregistrées à Hassi Zahana situé à 10km des stations de Bounakhla (Tlemcen) atteignant 91mm/h en 45 minutes le 19/10/1935 et 122mm/h en 15 minutes le 21/10/1931. En l'an 2000, une intensité de 84mm/h en 30 minutes a été observée dans la région de Tlemcen.

D'autre part, les précipitations mensuelles sont également très irrégulières et concentrées sur quelques jours des mois les plus pluvieux, laissant apparaître des sécheresses relatives au cours de la saison pluvieuse même. Les précipitations de la fin d'été et d'automne sont les plus dangereuses pour les sols alors que les records journaliers se vérifient habituellement pendant les mois d'Avril ou de Mai.

Non seulement les hauteurs de pluies ont été modestes mais aussi leurs intensités. Par conséquent l'agressivité climatique (R_{USA}) qui varie de 30 à 85 en moyenne selon les stations a été faible. Le rapport $R_{usa}/\text{module pluviométrique annuel}$ est de l'ordre de 0,10 à 0,12 dans toute la région.

Le ruissellement et l'érosion

Globalement le ruissellement annuel (K_{ram}) a été modeste durant la période 1991-2001. Cependant il a dépassé les 40% durant quelques averses exceptionnelles. Il commence généralement après 22 mm de pluie si le sol est sec ou après seulement 4 mm si le sol est humide, encroûté ou compact. Ceci montre l'influence de l'humidité préalable du sol et de l'état de surface (sol totalement fermé et aplati). Les pluies fines de faible intensité, permettent une certaine infiltration et un risque de ruissellement réduit.

Ces seuils de hauteur limite et le volume ruisselé dépendent en partie des caractéristiques des pluies (intensités, mais aussi le volume de pluies tombant après saturation du sol) et surtout de l'état de la surface du sol. Roose et al, 1997 ont signalé des taux de ruissellement variant entre 32 et 80% obtenus sur des terres compactées et encroûtés. Les pluies qui ont engendré du ruissellement sur la parcelle standard (PS) représentent 65% du nombre total des averses. Le ruissellement peut se déclencher même pour des pluies de hauteur ou d'intensité très faible, surtout lorsque les pluies sont consécutives. Le ruissellement est souvent favorisé par certains facteurs écologiques du milieu tel que les états de surface, le couvert végétal et la topographie.

Pour les systèmes cultivés, les fréquences les plus élevées s'observent durant la période octobre-février où les conditions favorables du ruissellement sont réunies (pluies abondantes et relativement intenses, sol nu, croûte de battance...) ainsi que lors de périodes fortement arrosées (figure 2).

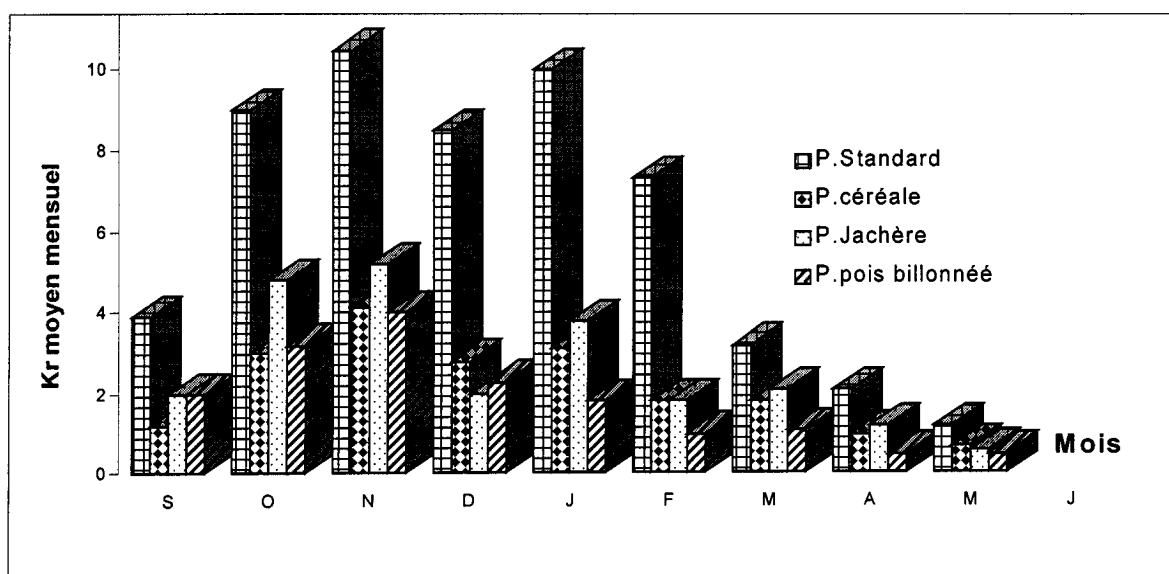


Figure 2. Ruissellement mensuel sur différents systèmes de gestion à Mascara (1993-1998).

Les ruissellements sont fréquents et abondants sous végétation naturelle dégradée (matorral dégradé), ceci peut s'expliquer d'une part par des états de surface caractérisés par une pierrosité élevée, une couverture végétale faible et des sols très peu profonds et fortement tassés par le pâturage : $K_{rmax} = 19,4\%$, mais l'érosion reste tout de même modeste. Par contre, sur le même système dans la parcelle nue de référence, l'érosion a atteint $6,1 \text{ t/ha/an}$ (tableau 7).

Dans les parcours, le ruissellement s'est déclenché dans plus de 80% des mesures (Mazour, 1992). Ce sont les sols ayant conservé une bonne partie de leur couvert végétal qui ont initié le moins de ruissellement. Par contre tous les sols nus ou relativement décapés connaissent des ruissellements importants. Ainsi ils peuvent être considérés comme source importante de la dégradation des terres situées en aval comme ils peuvent engendrer des crues importantes à l'origine de graves manifestations d'érosion par ravinement.

La figure 3 qui montre les variations inter annuelles des coefficients de ruissellement

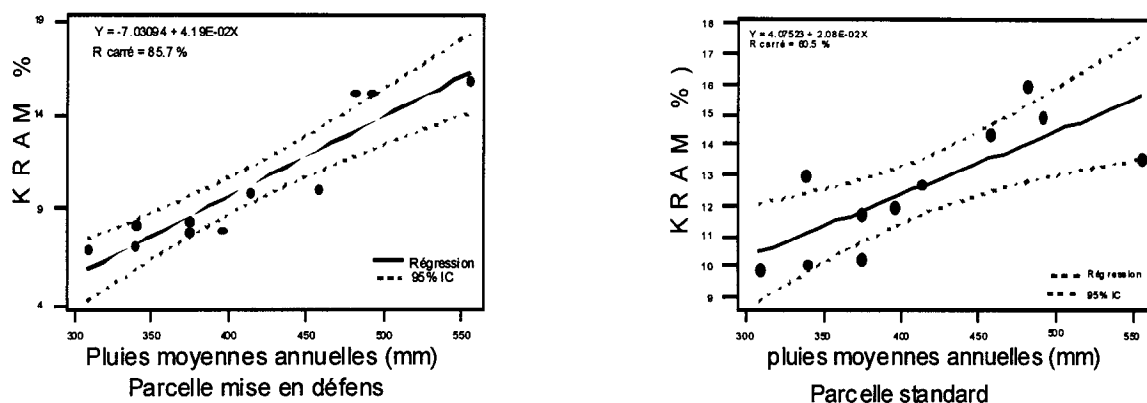


Figure 3. Evolution interannuelle du ruissellement annuel moyen en fonction des pluies annuelles, système pastoral (Tlemcen).

Les résultats obtenus durant les dix années de mesures montrent des valeurs relativement modérées de l'érosion en nappe dans le nord ouest algérien. Celle-ci reste globalement inférieure à 6 t/ha/an . Ces mesures d'érosion sur parcelles expérimentales de 100 m^2 sur les sols représentatifs des montagnes méditerranéennes sont en concordance avec ceux trouvés par Mazour, 1992; Arabi et Roose, 1993; Gomer, 1992; Chebbani, 1996; Morsli, 1996 et Roose et al, 1996 en Algérie, et aussi Laouina et al, 2000 et Mouffadal, 2002 au Maroc. Ceci est dû en partie à la résistance des sols riches en argile et en calcaire. En région méditerranéenne, l'érosion en nappe reste modeste étant donné la richesse de la surface du sol en argiles et en calcaire (Roose et al, 1996, Kouri, 1994). Selon Heusch, 1970 et Demmak, 1982, l'érosion en nappe sur les versants n'apporte qu'une petite contribution ($0,2$ à 10 t/ha/an) aux sédiments transportés par les oueds.

En système cultivé et au début de la saison pluvieuse, la différence du point de vue érosion n'est pas importante entre les différents traitements. Ce n'est que lorsque le sol est labouré et que l'herbe commence à couvrir le sol, que la différence devient nette. L'évolution du couvert végétal durant la saison des pluies et son interaction avec les techniques culturales influencent l'aptitude du sol au ruissellement et à l'érosion. Ces observations sont confirmées par les résultats obtenus sous pluies simulées (Morsli et al, 2001).

Le ruissellement et l'érosion sont relativement importants sur sol nu et les jachères pâturées et relativement faible sur les systèmes améliorés (intensification et mise en défens). L'amélioration des techniques culturale ont un effet positif : la parcelle traitée en billons (PP),

s'est comportée, au début de la saison des pluies, comme celle du PS. Mais après la réalisation des billons, qui se fait très tardivement (janvier), le ruissellement et l'érosion ont sensiblement diminué. Les billons par leur micro relief diminuent significativement le ruissellement et permettent de piéger l'eau et d'améliorer l'infiltration. D'autre part les billons non entretenus peuvent accentuer le ruissellement : lors d'une pluie saturante de 75mm, les billons ont été rompus et le phénomène érosif s'est accentué.

L'érosion dangereuse est due principalement au ruissellement exceptionnel. Ce dernier creuse les ravines, augmente les débits de pointe des oueds et provoque les glissements, l'érosion des berges et l'envasement rapide des barrages (Roose et al, 2000). L'analyse des facteurs d'érosion et les résultats obtenus montrent que la coïncidence érosivité maximum et fragilité maximum du milieu cultivé s'observe principalement au début de la saison pluvieuse.

La relation entre ruissellement et érosion n'est pas stable durant l'année (Meddi et al, 2001). Des relations significatives (tableau 9) sont obtenues en fonction des saisons.

Tableau 9. Relations entre l'érosion, la lame d'eau écoulée et les facteurs explicatifs.

Saison	Expression	Coefficient de corrélation (R)
Automne	$Lr=0,29P-2,06$	0,97
	$E=471,9P^{0,25} - 6,4431$	0,90
	$E= 244,65\text{Log.}(Lr)+309,91$	0,84
Hiver	$Lr=0,11P+0,041IPA-0,64$	0,92
	$E=64,25P-4,53IPA-2,04$	0,88
	$E=64,25Lr+1,45IPa+33,02$	0,95
Printemps	$Lr=0,12P+0,031IPA-0,42$	0,98
	$E=3,42P+53,3$	0,69
	$E=31,69Lr+72,26$	0,77

P : la pluie en mm ; I : l'intensité moyenne de la pluie en mm/h ; Lr : la lame d'eau ruisselée
E : l'érosion en kg/ha ; IPA : l'indice représentant l'état d'humidité du sol (pluie des cinq jours précédant le jour considéré).

Même si les pertes en terre restent en général modérées par rapport aux seuils de tolérance admis (2 à 12 t/ha/an), cette érosion en nappe élimine continuellement la mince pellicule organo-minérale de la surface du sol qui reste la source essentielle de la fertilité. Les pertes réelles sont probablement supérieures du fait qu'elles tendent à diminuer avec le temps. Ceci modifie profondément les stocks du carbone et la dynamique de l'eau au niveau des horizons superficiels.

Le Carbone : stocks et pertes

Le sol constitue le plus grand réservoir superficiel du carbone et apparaît ainsi comme potentiellement important dans le contrôle des stocks et des flux du carbone. Les matières organiques du sol (MOS) jouent un rôle prépondérant dans la fertilité des sols et dans la réduction du gaz à effet de serre en tant que source ou puit de carbone vis-à-vis de l'atmosphère (Hien, 2002) et ont un grand impact sur le bilan hydrique (Sentis, 2002). La teneur du C peut être fortement modifiée, dégradée ou améliorée par les changements d'utilisation du sol (Batjes, 1996). Les terres du Maghreb font l'objet de modifications majeures d'usage des sols (Coelho, 2002) et en particulier celles de l'Algérie.

Variabilité des teneurs en carbone dans sols

L'analyse pédologique au niveau des versants étudiés montre une certaine variabilité spatiale du carbone organique du sol (SOC). Sa teneur sur les différents types de sol, varie de 0,6 à 3,33 % sur l'horizon de surface. Cette variabilité est liée généralement à la biomasse, à un degré moindre à la texture ($r = 0,65$) et surtout à la position sur le versant : en pente, les teneurs sont de l'ordre de 1%, par contre dans les replats et les bas fonds où on peut parfois rencontrer des sols enfouis, la teneur de carbone est élevée et peut dépasser les 3%.

Les teneurs en carbone organique des 10 premiers cm pour les différents types de sol sont globalement faibles et ne dépassent que rarement les 2%. Ces faibles taux s'expliquent en partie par l'érosion et l'exploitation minière des sols. Les systèmes de gestion des sols ont joué un rôle dans la variabilité et l'évolution des teneurs en carbone (figure 4).

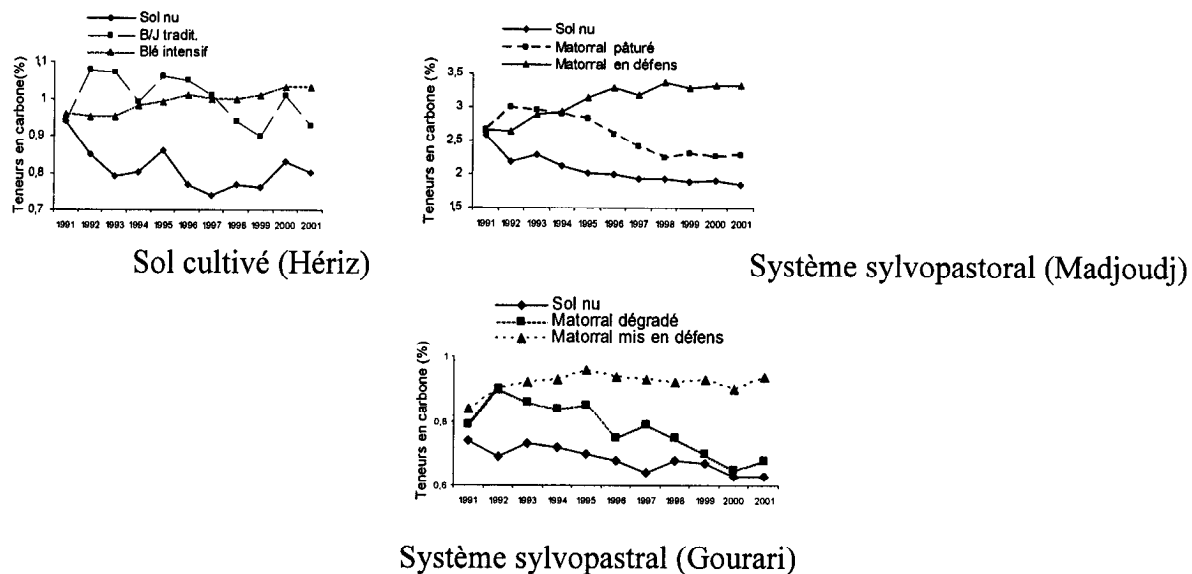


Figure 4. Evolution des teneurs en carbone organique en fonction des différents systèmes de gestion dans la région de Tlemcen 1991-2001.

D'autre part, les teneurs diminuent de la surface vers la profondeur. Cette diminution varie de 14 à 35 % en fonction des systèmes de gestion et des types de sols (Tableau 5). A l'horizon C, les teneurs chutent jusqu'à 60%. Sur les sols limoneux, la diminution est assez brutale, le taux de carbone décroît très rapidement avec la profondeur, par contre dans les sols argileux, la diminution est progressive vers la base du profil. Ceci est dû au brassage constant des horizons par les mouvements verticaux. Les teneurs sont relativement plus élevées sur sol argileux que sur sol limoneux à Mascara. Les teneurs du carbone au niveau mondial varient selon la texture et la minéralogie (Batjes, 1996).

Sur les systèmes améliorés (intensification et mise en défens), les teneurs en carbone des sols en place ont sensiblement augmenté, ce qui laisse supposer une restitution de la matière organique issue de la biomasse au sol en présence d'une érosion superficielle modérée. Par contre sur les sols nus et les parcours, nous enregistrons une diminution de la teneur en carbone due essentiellement au décapage en surface par l'érosion (figure 4).

L'exposition des versants semble avoir aussi un effet sur les taux de matière organique : les teneurs sur les versants nord sont relativement élevées et diffèrent selon les systèmes d'utilisation des terres (tableau 10). Nous observons une nette opposition des versants entre les faces sud où des traces de ravinement sont mieux exprimées et les versants exposés au

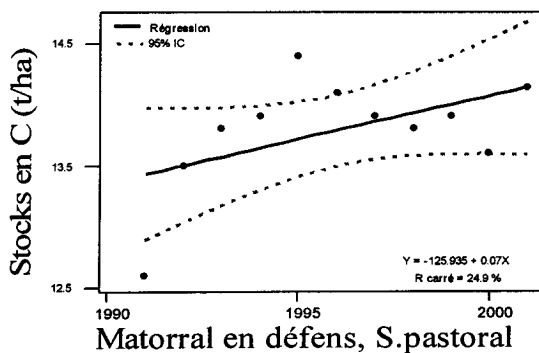
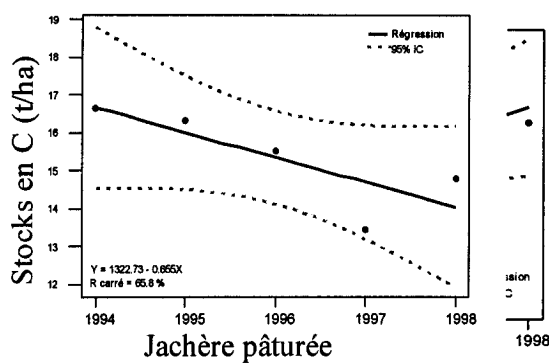
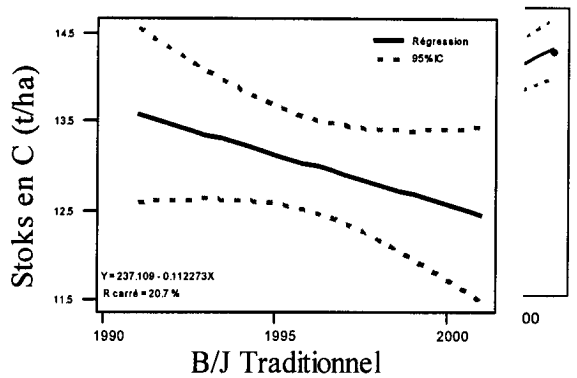
nord. Les versants sud les moins arrosés et les plus érodés sont exposés à des conditions favorables de minéralisation de la matière organique. La minéralisation des MOS est le facteur principal de la variation du stock du carbone dans le sol (Blanchart et al, 2002).

Tableau 10 .Effet de l'exposition sur les teneurs en carbone organique sur sol nu, cultivé et parcours dans les monts de Tlemcen.

Exposition	sol nu teneur %	sol cultivé teneur %	Parcours teneur %
Exposition nord	1,2	2,1	2,8
	0,4*	0,5*	0,6*
Exposition sud	0,7	0,9	1,5
	0,5*	0,6*	0,6*

* : écart type

Les stocks en carbone organique dans les dix premiers cm du sol ont diminué de 10 à 25% pour les sols nus, de 5 à 8% sur les systèmes traditionnels et de 16 à 22 % sur les matorrals et les jachères pâturés. Par contre sur les systèmes améliorés (matorral et jachère en défens, blé intensif, cultures en billons,..) les stocks ont augmenté de 5 à 28% (figure 5 et 6).



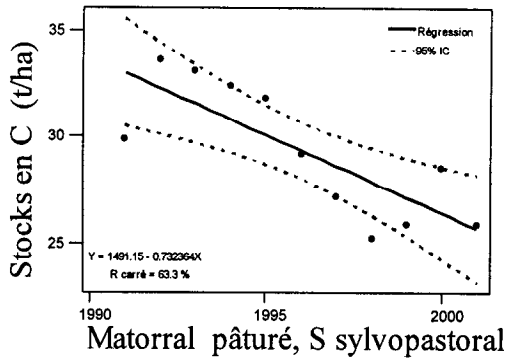


Figure 5. Evolution des stocks de carbone dans le sol en fonction des systèmes de gestion (Matorral pâturé, S sylvopastoral)

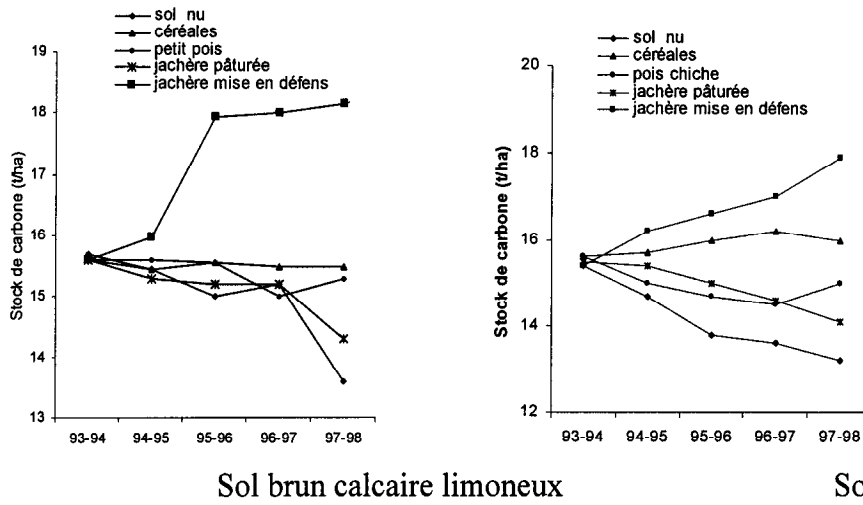


Figure 6. Evolution du stock de carbone en fonction des systèmes de gestion à Mascara.

La jachère non pâturée réduit l'érosion jusqu'à 95 % par rapport au sol nu et augmente les stocks en C de 22%. Selon Tribak (1988), la jachère réduit efficacement l'érosion, cependant, elle ne reste pas sans effet négatif sur le ruissellement. La végétation naturelle (matorral) mise en défense a permis l'augmentation du stock en carbone du sol de 28%.

Parfois il est possible, de restaurer les sols au moindre coût en laissant faire la nature mais tout en la contrôlant. Une technique, comme la mise en défens a donné des résultats positifs sur la régénération et la production de biomasse. Elle est très pratiquée, ces dernières années, à grande échelle dans les parcours semi- arides algériens.

Le travail minimum du sol et le billonnage sur les zones cultivées, de pente inférieure à 20%, ont une influence très marquée sur le risque de dégradation, ils retardent le déclenchement du ruissellement et augmentent l'infiltration et maintiennent les stock du C. Mais, lors des fortes pluies et en fortes pentes, les billons peuvent être rompus et donnent naissance à des rigoles qui peuvent évoluer vers des ravineaux. Cette technique, si elle est bien menée et améliorée (billons isohypses, entrecoupes, micro-relief accentué...) peut diminuer considérablement le ruissellement et l'érosion et permet ainsi un bon stockage du carbone et de l'eau dans les inter billons. Le billonnage isohypse est une technique très efficace dans la lutte anti-érosive (Azontode, 1996).

Les sols nus et les jachères et matorrals pâturés présentent un grand risque pour le ruissellement et les stocks en carbone. Les fortes diminutions dans le stock de carbone dans le sol (8 à 25%) sont dues en grande partie à l'érosion, à la minéralisation et à l'exploitation continue et irrationnelle des ressources naturelles.

Les pertes en carbone et sélectivité

Les pertes en carbone par l'érosion en nappe varient de 17 à 136 kg/ha/an et sont fonction des systèmes d'utilisation des terres. Ces pertes restent encore faibles par rapport aux stocks. Mais les pertes totales peuvent dépasser les 28% et le risque devient encore plus grand pour ces sols peu profonds.

En plus du décapage de l'horizon de surface, l'érosion entraîne des pertes sélectives en carbone et en éléments minéraux. Les pertes sélectives sont de 1 à 3,9 fois supérieures à celles auxquelles on pourrait s'attendre s'il n'y avait qu'un décapage du sol en place. La matière organique est la plus légère et par conséquent la première à être transportée en grande quantité par le ruissellement. De même, l'azote et le potassium sont perdus en quantités non négligeables. Le bilan est généralement sous estimé puisque on n'a pas pris en considération les éléments en solution.

L'indice de sélectivité du carbone (CER), varie selon le mode de gestion. Il varie de 0,98 à 1,6% sur un sol nu, de 1,86 à 2,8% sur un sol cultivé, de 2,4 à 3,9 % en jachère et de 1,44 à 2,13 sous matorral. Cette sélectivité est relativement plus élevée sur les parcelles en jachère protégée où la surface du sol est couverte par une mince litière. Cette dernière réduit la vitesse du ruissellement et par conséquent le transport est limité aux particules les plus légères de l'horizon de surface, beaucoup de débris végétaux sont observés dans les sédiments.

La granulométrie révèle un entraînement préférentiel des particules les plus fines provenant probablement de la destruction des agrégats par le splash, surtout pour le SBL. Le faible taux des M.O des sols ne fait qu'accentuer ce phénomène. Le taux argile/limons a augmenté de 10 à 20% sur les terres érodées. L'érosion entraîne la formation d'un voile de sable et de gravier en surface (Arabi et al, 2002). Ces résultats démontrent l'effet sélectif de l'érosion en nappe surtout sur les sols couverts et les sols limoneux mais les pertes du C organique restent encore faibles par rapport aux stocks.

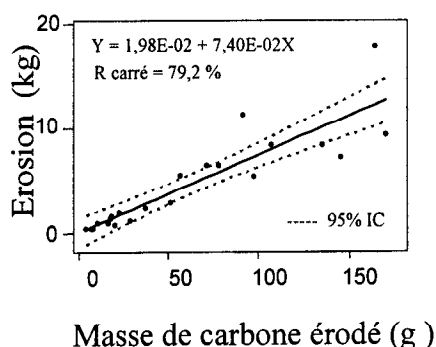


Figure7. Relation entre l'érosion, la teneur du C et la masse du carbone des terres érodées des sédiments - Mascara 95-96.

La figure 7 nous montre que la masse du carbone érodé est plus liée à l'érosion de sol ($r = 0,79$) qu'à la teneur en carbone des sédiments érodés ($r = 0,38$). Les pertes en carbone par érosion dépendent plus des volumes de terres érodées que des variations des teneurs au cours des saisons (Bep et al, 2002).

D'une façon générale, les grandes pertes de carbone se produisent pendant les plus grandes averses, celles-ci produisent de grandes quantités de terres érodées qui sont caractérisées par des teneurs modérées à faibles en carbone : les eaux de ruissellement abondantes caractérisées par de fortes énergies creusent le sol en profondeur et emportent les terres des horizons profonds pauvres en carbone.

Les faibles quantités de terre érodée contenant des teneurs élevées en carbone sont produites lors des petites averses sur des surfaces de sol très couvertes (matorral protégé) : les ruissellement moins important découpant seulement l'horizon de surface riche en carbone, sont à l'origine d'une érosion sélective. Le CER est plus élevé en Automne, les teneurs en carbone des sédiments sont ainsi plus élevés.

La masse du carbone érodé est également liée à la richesse du sol en carbone, qui est lui-même lié à l'utilisation des sols. Les systèmes produisant beaucoup de biomasse et de litière (les jachères et les matorrals protégés) ont augmenté d'une part la teneur en carbone du sol et des sédiments et ont diminué d'autre part le ruissellement et l'érosion. Cette diminution est due à la couverture du sol par la litière et à l'amélioration de la stabilité structurale et de la porosité du sol

La figure 8 montre les variations saisonnières de l'érosion et des teneurs en carbone des sédiments en fonction de trois utilisations de sols : la jachère nue, la jachère protégée et le système céréalier.

A l'échelle de l'année, il y a une variation des teneurs en carbone des terres érodées au cours des saisons (figure 8).

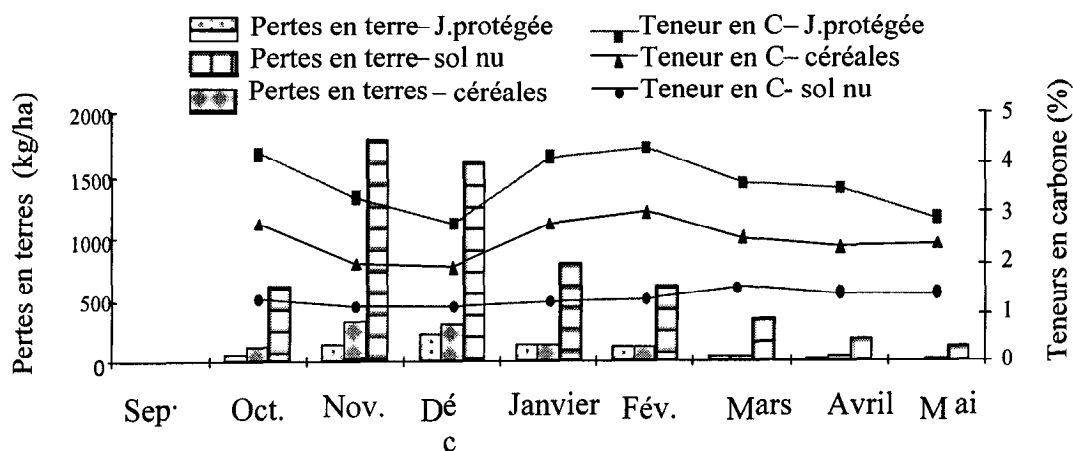


Figure 8. Variations saisonnières de la masse de terres érodées et la teneur en carbone des sédiments sur sol limoneux (SBL) à Mascara (1995-1996)

Au début de l'automne, les pertes en C sont plus importantes et même le CER est élevé lors des premières pluies du au balayage des matières organiques accumulées en surface : en 2001, lors d'un orage de 60 mm, des sédiments de 30cm d'épaisseur de 10 à 30 %

de MO ont couvert de grandes superficies en aval d'un micro bassin versant dans les monts de Beni Chougrane. De l'automne jusqu'au début de l'hiver, les ruissellement se distinguent par des concentrations élevées en terre et les pertes en C sont moins sélectives. En hiver les pertes en C sont plus sélectives mais les flux totaux restent modérés par rapport à ceux de l'automne. Au printemps, les pertes sont moins importantes et moins sélectives par rapport à l'hiver pour les sols cultivés. En automne, la plus part des systèmes de gestion étudiés favorisent l'érosion des sols avec un appauvrissement en surface d'éléments fins qui sont riches en C.

Les sols bruns limoneux présentent un plus grand risque de dégradation que les sols bruns vertiques. Ces derniers, par leur comportement particulier (gonflement et retrait) permettent un bon stockage de l'eau et du C : Les eaux infiltrées par les fentes de retrait emportent vers les profondeurs des quantités appréciables de terre fine de la surface qui est très riche en matière organique. Le sol brun vertique, peut constituer un grand puit pour le carbone.

Les terres de fond (TDF) constituent plus de 80 % des sédiments érodés et le carbone exporté est plus élevé sur les systèmes caractérisés par une richesse en matière organique à la surface du sol, telle que la jachère mise en défens et les matorrals. La teneur en carbone des terres érodées est supérieure à celle des sols en place dans des proportions qui varient de 20 à 50%. Les plus fortes proportions sont enregistrées dans les systèmes sylvopastoraux en défens et pastoraux en défens (figure 9).

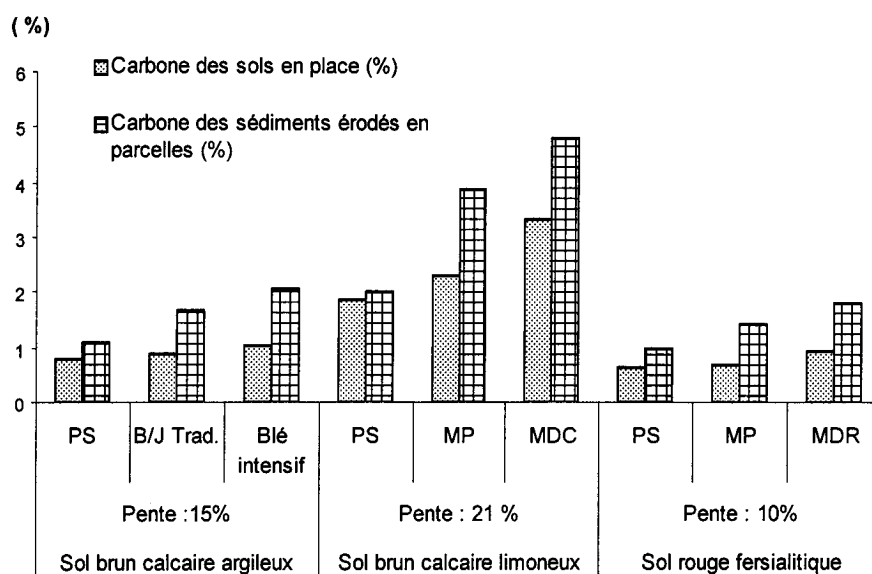


Figure 9. Pertes en carbone des sédiments érodés en fonction des systèmes de gestion des sols, de pentes et de types de sol - Tlemcen (2000-2001)

Les terres arrachées sont redistribuées dans les champs ou entraînées dans les talwegs. L'étude de la distribution des sols et des matières organiques (Morsli, 1996) a montré qu'une partie des matériaux érodés reste piégés dans le versant. La quantité de terre retenue dans le versant dépend des conditions topographiques et des modes de gestion des sols. Des dépôts importants sont observés dans les zones de ralentissement (replat, concavité...), l'érosion crée une redistribution de la fertilité des sols. D'après Lal (2002), une partie du C érodé au niveau

des dépressions est protégée et séquestrée. Une hétérogénéité des rendements s'observe d'ailleurs le long des toposéquences. L'érosion apparaît donc, comme l'un des facteurs essentiels de la dynamique actuelle du carbone.

La compréhension de cette dynamique peut aider à mieux gérer cette hétérogénéité des potentialités du sol et à restaurer les stocks du CO dans le sol tant pour des questions de durabilité que pour des objectifs environnementaux.

CONCLUSION

Les résultats obtenus montrent que le ruissellement et l'érosion restent globalement faibles. Seuls quelques événements pluviométriques exceptionnels sont à l'origine des dégradations spectaculaires. Ceci confirme les résultats déjà obtenus par de nombreux auteurs en Afrique du Nord.

Cette érosion demeure modérée, mais elle altère fortement la mince pellicule organo minérale de la surface du sol qui est la source essentielle de la fertilité. Les pertes du C sont de 17 à 136 kg/ha/an en fonction des systèmes de gestion et de type de sol.

Bien que l'érosion soit décapante, les analyses des terres érodées révèlent une sélectivité des particules fines et surtout en C. Des quantités importantes de matière organique fraîche sont transportées surtout en automne. Les pertes en C, par érosion en nappe sont liées significativement à la masse des terres érodées et sont faibles par rapport aux stocks des dix premiers cm. Mais les pertes totales peuvent dépasser les 28% et le risque devient encore plus grand pour ces sols peu profonds s'il n'y a pas d'améliorations des pratiques de gestion de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols.

Les systèmes de gestion traditionnels analysés, montrent que l'utilisation continue des sols ne présente pas de grand risque comme celui des sols nus et/ou abandonnés et des jachères prolongées et pâturées. La culture en billons, la jachère et les parcours mis en défens s'avèrent intéressants à la fois pour la réduction de l'érosion et pour la production de la biomasse.

Les améliorations et les innovations (fertilisation, semences sélectionnées, arboriculture, agroforesterie, techniques culturales...), introduites dans les systèmes de production traditionnels, dans le cadre de la GCES, ont eu un effet appréciable sur la productivité (les rendements ont été multipliés par 2 à 4 fois sur parcelles améliorées), l'érosion et les stocks du carbone (augmentation jusqu'à 28% des stocks). De même, les techniques anti-érosives (aménagement des ravines, cordons de pierres, plantations en courbe de niveau) expérimentées dans la zone ont montré leur efficacité dans la réduction de l'érosion et le piégeage des sédiments et de carbone.

Dans les zones où les travaux d'expérimentation sont avancés, la GCES a démontré qu'il est possible de développer la production (intensification et diversification) tout en conservant l'environnement (Arabi et Roose, 1992 ; Hamoudi et al, 2003 ; Mazour, 2002 et Roose et al, 1996).

Actuellement, en Algérie où les terres font l'objet de modification majeurs d'usage des sols et de reconversion, les grands projets nationaux de développement rural s'appuient sur la logique de la GCES, celle du développement rural avec la participation des communautés

rurales : les plantations arboricoles, l'amélioration des techniques culturales et de la gestion de l'eau, et même l'agroforesterie et les parcours réglementés sont les actions les plus développées à l'échelle nationale.

Les solutions éventuelles pour freiner la dégradation des terres se situeraient surtout dans l'amélioration de la gestion de l'eau, facteur limitant, (billons, cuvettes, madjen, retenues collinaires, couverture du sol par les résidus de récolte), et de la production de la biomasse des sols (intensification et diversification des productions, arboriculture, agroforesterie, cultures couvrantes et gestion des parcours) avec le renforcement des techniques anti-érosives (aménagement biologiques et mécaniques des ravines et des versants : seuils, cordons en pierres, plantation en courbes de niveau, barrages semi perméables).

Toutes les pratiques visant l'accumulation du carbone dans les sols cultivés de façon permanente, auront un effet très positif sur la restauration des sols dégradés, la réduction de l'érosion et la séquestration du carbone d'où l'effet sur la réduction de l'effet serre.

Il est reconnu, en Algérie, qu'il existe un besoin de recherche au sujet de l'impact des mesures de conservation et de gestion des sols sur le SOC et la séquestration du carbone.

BIBLIOGRAPHIE

- Arabi M., et 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.
- Arabi M., et Roose E., 2002 : Influence des systèmes de production du sol sur l'érosion, le stock et les pertes en carbone en moyenne montagne Méditerranéenne du NO de l'Algérie Résumés des actes du Coll. *Intern Gestion de la Biomasse, Erosion et Séques. du Carbone*, Montpellier. p.20.
- Azontonde A., 1996 : Dégradation et restauration des terres de barre au Benin Cah.Orstom ser. Pédol. volumeXXVIII n°2 1992 ;17-226
- Batjes N.H. ,1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science* 47 :151 – 163.
- Benchetrit M., 1972: L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement en Algérie. Paris, PFU, 126p.
- Bep Z. B., Boli Z. B. et Roose E., 2002. Pertes de carbone par érosion hydrique et évolution des stocks de carbone sous rotation intensive coton / maïs sur des sols ferrugineux sableux du Nord Cameroun. Résumés des actes du Coll. *Intern gestion de la Biomasse, Erosion et Séquestration du Carbone*, Montpellier.p.9.
- Blanchart E., Roose E., Khamsouk B., Dorrel M., Laurent J.Y., Larre-Larroui Ch., Rangon L., Tisot JP. et Louri J. 2002. Comparaison des pertes de carbone par érosion et drainage aux variations du stock de C du sol en deux années : Cas d'une rotation bananiers-cannes-ananas-sol nu sur un nitisol argileux sur cendres volcaniques de Martinique. Colloque international au Centre Agropolis Montpellier, 23/28/9/2002.
- Campbell C. A and R. P Zentner, 1993. Soil organic matter as influenced by crop rotations and fertilizer. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 1034-1040.
- Chebbani R. 1996. Etude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser (Tlemcen). Thèse de Magister INA, ALGER, 135 p.
- Cerri C., Moraes J C SA, Bernoux, M., 2002 : Influence du semis direct sur la séquestration du carbone et l'érosion au Brésil. Résumés des actes du Coll. *Intern « Gestion de la Biomasse, Erosion et Séques. du Carbone »*, Montpellier.p.97.

- Coelho C.O.A., Laouina A., Ferreira, A.J.D., Regaya, K.Chaker, M., Nafaa, R., Naciri, R., Boulet, A., Carvalho, T., 2002. The dynamics of land use changes in Moroccan and Tunisian sub-humid and semi-arid regions and the impact on erosion rates and overland flow generation. Résumés des actes du Coll. *Intern gestion de la Biomasse, Erosion et Séques. du Carbone*, Montpellier.p.85.
- Cormary, Y., et J.M. Masson. 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 perte de sol de Wischmeier. *Cahier ORSTOM Pédol.* 2: 3-26.
- Gomer D., 1992 .*Ecoulement et érosion dans des bassins versants à sols marneux sous climat semi-aride méditerranéen*. GTZ – ANRH 1992 ; 207 p.
- Demmak, A., 1982: Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie Thèse de Doc. Ing. Paris VI, 323p.
- Dumas, J.1965. Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques. *Cah.ORSTOM Pédol.*3, 4: 307-333.
- Hamoudi A., Morsli B., 2000: Erosion et spécificité de l'agriculture de montagne réflexion sur la conservation et la gestion de l'eau et du sol au milieu montagneux. *Revue la foret Algérienne* 2003, 12 (04) :18-25.
- Heddadj D., 1997 . La lutte contre l'érosion en Algérie. *Bull Réseau Erosion* 97 : 168 -175
- Heusch B., 1970: l'érosion du Pré rif occidental : une étude quantitative de l'érosion hydrique. *Ann. De la recherche forest.du Maroc*, Tome 12, Rabat, pp 9-176.
- Hien E., 2002 : Effet de la déforestation et de l'érosion sur le statut organique du sol : cas d'un sol ferrugineux tropical sableux du SO du Burkina Faso. Résumés des actes du Coll. *Intern gestion de la Biomasse, Erosion et Séques. du Carbone*, Montpellier.p. 83
- Kouri, L., H. Vogt, D. Gomer. 1997. Analyse des processus d'érosion hydrique linéaire en terrain marneux. Bassin versant de l'oued Mina, Tell Oranais, Algérie. *Bull. Réseau Erosion*, ORSTOM Montpellier, 17: 64-73.
- Kouri L., Vogt H. 1993. Gully processes and types in maris, Oued Mina bassin, Algeria. Workshop " Soil Erosion in Semi-Arid Mediterranean Areas October 28-30TH1993, Taormina. European Society For Soil Conservation (ESSC). Centro Studi di Economica Applicata all Ingeneria (CSEI) Catania, Italy. Book of Abstracts p. 14.
- Laouina, A.1992. Recherches actuelles sur les processus d'érosion au Maroc. *Bull. Réseau Erosion* , ORSTOM Montpellier, 12: 292-299
- Laouina A, Nafaa R, Coelho C, Chaker M, Carvalho T, Boulet AN, Ferreira A.2000. Gestion des eaux et des terres et phénomènes de dégradation dans les collines de Ksar El Kebir, Maroc. *Bull Réseau Erosion* 20 : 256 -274.
- Lal Rattan 2002 : Influence of soil erosion on carbon dynamics in the world Résumés des actes du Coll. *Intern gestion de la Biomasse, Erosion et Séques. du Carbone*, Montpellier.p.7
- Mazour M, Roose E. 2002 . Influence de la couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion des sols sur parcelles d'érosion dans les bassins versants du Nord-ouest de l'Algérie. *Bull Réseau Erosion* 2002 ; 21 : 320 - 330.
- Mazour M., 2004. Etude des facteurs de risque du ruissellement et de l'érosion en nappe et conservation de l'eau et du sol dans le bassin versant de l'Isser – Tlemcen. Thèse de Doctorat d'état, Université de Tlemcen ; 184 ; 131p.
- Meddi M., Morsli B., 2001:Etude d'érosion et du ruissellement sur bassins versants expérimentaux dans les monts de Beni-Chougrane (Ouest d'Algérie).*Z.Gemorph.N.F* 45/4 /443.452.
- Mouffadal K. 2002. Les premiers résultats des parcelles de mesures des pertes en terre dans le bassin versant de Oued Nakhla dans le rif occidental. *Bull Réseau Erosion* 2001 ; 21 : 244 -254

- Morsli B., 1996: Caractérisation, distribution et susceptibilité des sols à l'érosion (cas des montagnes de Beni-Chougrane) Thèse de Magister INA, ALGER, 170p
- Morsli B., Meddi M., Boukhari A., 2002 . Etude de ruissellement et du transport solide sur parcelle expérimentale. Utilisation de la simulation des pluies. *Actes du Séminaire sur la gestion de l'eau*. Univ Mascara Algérie 2002 : 80-88.
- Remini B. 2000 .L'envasement des barrages. *Bull Réseau Erosion* 20 : 165 -171.
- Roose, E., M. Arabi, K. Brahamia , R. Chebbani, M. Mazour, B. Morsli. 1993. Recherche sur la réduction des risques d'érosion par la GCES en moyenne montagne médit. algérienne. *Cah. ORSTOM Pédol*, 27, 2: 289-307..
- Roose E., Chebbani R., Bourougaa L., 2000. Ravinement en Algérie typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation *Rev. Secheresse* 2000 ;11 (4) : 317 -26.
- Seltzer P. 1948. Le climat de l'Algérie. Institut de météorologie de l'Algérie.
- Sentis Pla I. Soil organic matter effects on runoff and erosion in dryland vineyards of NE Spain. Résumés des actes du Coll. *Intern gestion de la Biomasse, Erosion et Séques. du Carbone*, Montpellier. p.104.
- Tribak. A. 1988 : L'érosion du Prérif oriental : Contribution à l'étude de la dynamique actuelle dans quelques bassins prériefains au nord de Taza (Maroc). Thèse Doc Univ. Joseph Fourier Grenoble. 258p. France.
- Wischmeier WH, Smith DD. 1978 ; Predicting rainfall erosion losses. A Guide to soil conservation planning, Washington. USDA-ARS, Handbook 1978 ; 537 ; 58 p.