

DETERMINATION DES ZONES VULNERABLES A L'EROSION PAR LA METHODE MAGNETIQUE. APPLICATION AU BASSIN VERSANT D'EL HACHEF (REGION DE TANGER, MAROC)

Mohamed Moukhchane¹, Saidati Bouhlassa², Ahmed Chalouan³ et Ahmed Boukil⁴

¹ Laboratoire Géologie Appliquée à l'Environnement, Ecole Normale Supérieure, Tétouan. lgaee@yahoo.fr

² Laboratoire de Radiochimie, Faculté Sciences, Rabat

³ Laboratoire de Géologie Structurale, Faculté Sciences, Rabat

⁴ Ingénieur forestier, Ex Chef du SAFBV, Tétouan

Resumen: Este estudio se inscribe en el marco de la búsqueda de nuevos métodos de diagnósticos rápidos, fiables y poco costosos para la identificación del fenómeno de erosión. Estos métodos servirán de base para la lucha antierosiva. Así pues, el método magnético constituye una nueva técnica de cartografía que da indicaciones preciosas sobre la degradación de los suelos. Este método consiste en establecer un mapa de las unidades homogéneas a partir de los indicadores litológicos, topográficos y de utilización del suelo, a continuación un muestreo y de las medidas de la susceptibilidad magnética de los distintos lugares seleccionados. Los resultados de este trabajo permitieron lograr dos clases de susceptibilidad magnética ($\chi_{ir} < 0.6 \mu\text{m}^3/\text{kg}$ y $0.7 < \chi_{ir} < 3.2 \mu\text{m}^3/\text{kg}$), la deducción de los factores responsables de la erosión en esta cuenca y finalmente presentar propuestas en cuanto a la lucha antierosiva capaz de eliminar este fenómeno en la cuenca d'el Hachef.

Palabras clave: Erosión, susceptibilidad magnética, SIG, unidad homogénea, cuenca, EL Hachef, Rif, Marruecos.

Résumé: Cette étude s'inscrit dans le cadre de la recherche de nouvelles méthodes de diagnostics rapides, fiables et peu coûteuses d'identification du phénomène d'érosion. Ces méthodes serviront de base pour la lutte anti-érosive. Ainsi, la méthode magnétique constitue une nouvelle approche de cartographie qui donne des indications précieuses sur la dégradation des sols. Cette méthode consiste à établir une carte des unités homogènes à partir des indicateurs lithologiques, topographiques et d'utilisation du sol, ensuite un échantillonnage et des mesures de la susceptibilité magnétique des différents sites sélectionnés. Les résultats de ce travail ont permis dégager deux classes de susceptibilité magnétique ($\chi_{ir} < 0.6 \mu\text{m}^3/\text{kg}$ et $0.7 < \chi_{ir} < 3.2 \mu\text{m}^3/\text{kg}$), la déduction des facteurs responsables de l'érosion dans ce bassin et enfin de faire des propositions en matière de lutte anti-érosive capable d'enrayer ce fléau dans le bassin versant El Hachef.

Mots clés: Érosion, susceptibilité magnétique, SIG, unité homogène, bassin versant, El Hachef, Rif, Maroc.

Moukhchane, M., Bouhlassa, S., Ahmed Chalouan, A. et Ahmed Boukil, A. (2005): Détermination des zones vulnérables a l'érosion par la méthode magnétique. Application au bassin versant d'El Hachef (region de Tanger, Maroc). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 18 (3-4): 225-233

Le phénomène d'érosion est un vieux problème relevant de l'exploitation de l'homme de son territoire. A travers l'Histoire, l'homme a essayé de remédier à ce problème avec des moyens variables en inventant des techniques de lutte anti érosive adaptées à leur environnement. Actuellement, le problème est devenu un objectif prioritaire en raison des dommages causés par la perte des sols et pesant sur les ressources naturelles des pays. La méthode utilisée a été développée par les sédimentologues pour pouvoir reconnaître l'origine des sédiments au niveau d'un bassin versant (Thompson et Olfied, 1986; Maher, 1988; Yu et Olfied, 1989). En effet la susceptibilité magnétique est utilisée pour caractériser un sédiment (Mullins, 1977).

Cette méthode a été appliquée à l'étude de deux bassins versants de la chaîne de l'Atlas: Ait Youb (40Km²) (Azenfar, 1993) et Mhasser (180Km²) (Lahlou, 1997). Dans les deux cas étudiés, la représentation de la susceptibilité magnétique des échantillons en fonction de la profondeur, a permis de mettre en évidence deux groupes d'échantillons distincts: le premier à faible variation de la susceptibilité magnétique (courbe linéaire) qui correspond à érosion faible et un deuxième à susceptibilité très variable (courbe en dent de scie) appartenant à une zone très dégradée. En outre, cette méthode appliquée dans le bassin versant Nakhla du Rif occidental, en comparant les susceptibilités magnétiques des sédiments de la retenue du barrage et des sols du même bassin versant, a permis de mettre en

évidence trois sources de sédiments qui participent, avec des taux différents, à l'envasement du barrage (Moukhchane *et al.*, 1998). Par ailleurs, cette approche a servi à valider l'étude de l'érosion par la méthode du SIG et de la télédétection dans le bassin du Tlata, voisin du bassin d'El Hachef dans la région de Tanger (Ait Fora, 1995 in Bonn, 1998).

Les premiers résultats, de cette méthode, ont permis d'appliquer cette technique dans le bassin d'El Hachef pour trouver des solutions aux problèmes d'envasement du barrage «9 avril» qui alimente en eau les centres urbains d'Azila et de Tanger (Nord Ouest du Maroc). Le choix de ce bassin relève de sa diversité lithologique, d'occupation et d'utilisation du sol, de la raideur de son relief et enfin de l'intensité des précipitations qui caractérisent cette région.

L'approche magnétique, par ses mesures rapides et fiables de la susceptibilité magnétique, est plus rapide que l'acquisition des données par des méthodes conventionnelles (modèle de Wischmeier par exemple) ou isotopique (méthode du césium 137), permet un diagnostic préliminaire, de l'état d'érosion dans un bassin donné, avant toute quantification complète des pertes en terre qu'est l'objectif principal de l'étude de ce phénomène. En effet, d'une part le modèle de Wischmeier est basé sur l'affectation de valeurs empiriques aux différents paramètres qui interviennent dans l'équation universelle de perte en terre, et d'autre part la technique du césium 137 (selon le modèle de Ritchie), qui appréhende les pertes en terre par l'intermédiaire des mesures de l'activité isotopique des échantillons des sols à l'aide d'une chaîne spectrométrique à Iodure de Sodium (NaI).

Présentation du bassin

Le bassin versant d'El Hachef, d'une superficie de 22400 hectares, est situé dans un milieu montagnard au milieu du triangle Larache-Tétouan et Tanger (Fig. 1). Son altitude oscille entre 10 (digue du barrage «9 avril») et 1080 m au niveau de jbel Bghaghza au SE du bassin. La retenue du barrage, de 300 millions de m³, occupe des centaines d'hectares et couvre la plaine de comblement d'âge soltano-rharbienne qui s'étend depuis la digue jusqu'au village de Dar Chaoui à l'Est.

Le bassin versant en question, est drainé par l'oued Haricha et ses affluents, limité au Nord par le bassin de Tlata qui domine le barrage Ibn Battota, au sud par le bassin de l'oued Kharouba et à l'Est par le bassin versant de l'oued Martil.

Le barrage «9 avril», le plus important de la région, est destiné à l'alimentation en eau potable de la zone côtière atlantique située entre Azila et Tanger et à l'irrigation des périmètres agricoles situés en aval.

Le climat du bassin est de type méditerranéen.

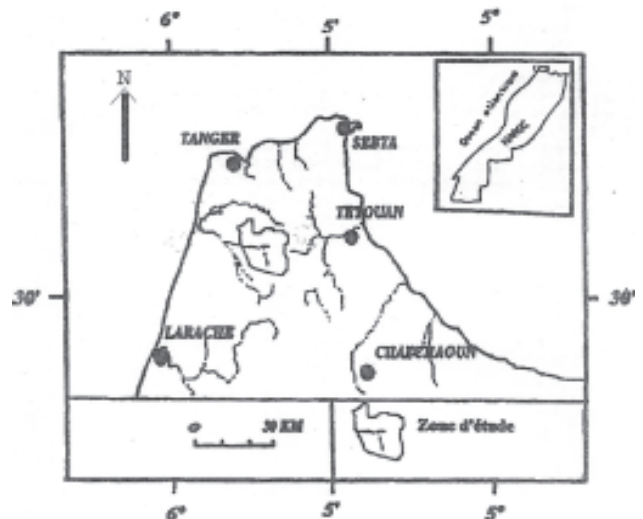


Figure 1.- Carte de situation du bassin versant d'El Hachef.

Le bassin versant est soumis à l'influence des vents d'origine atlantique ou méditerranéenne. Les précipitations moyennes annuelles atteignent 891 mm environ (station de Dar Chaoui) tandis que les températures oscillent entre des minimas de 5°C (en période froide) et des maximas de 25°C (en période chaude).

Le bassin est caractérisé par plus de 50% des terrains tendres, ce qui favorise le développement

N° Carotte	type de sol	N° Carotte	type de sol
C1	sol sableux	C40	sol limoneux
C2	sol sableux	C41	sol sable-argileux
C3	sables et graviers	C42 bis	sol calcaireux
C4	sol sableux	C43	sol argileux
C10	sol sableux	C44	sol argile-argileux
C10bis	sol argileux	C45	sol argile-sableux
C11	sol limoneux	C46	sol argileux
C12	sol argileux rouge	C47	sol argileux avec des blocs de grès
C13	sol argileux rouge	C48	sol argileux avec des blocs de grès
C14	sol calcaireux	C49	sol argileux très calcaireux
C15	sol limoneux-sableux	C50	sol sableux
C20	sol sableux	C51	sol argileux
C21	sol sableux	C52	sol argileux
C22	sol argileux	C53	sol argileux
C23	sol argileux	C54	sol argileux
C24	sol argileux	C55	sol argileux
C25	sol argileux	C56	sol argileux
C26	sol argileux	C57	sol argileux
C27	sol argileux	C58	sol argileux
C30	sol argileux	C59	terrain argileux
C31	sol argileux		
C32	sol argileux		
C33	sol argileux		
C34	sol argileux		
C35	sol argileux		
C36	sol argileux		
C39	sol karstifère		

Tableau I.- Type de sol du BV El Hachef.



Figure 2.- Carte géologique du bassin versant d'El Hachef.

d'un sol argileux qu'on trouve à l'est de Dar Chaoui et classé par Watteuw (1978) dans le bassin de Tlata voisin comme un sol peu évolué (Tableau I).

Sur le substrat gréseux et pélitique ((G)N) de Koudiat Haouch Ben Kreaa et Jbel Habib, qui surplombent le barrage, on trouve un lithosol à caractère ferrallitique (INYPISA,1988). Par ailleurs, en raison des facteurs naturels et anthropiques défavorables, ces types de substrats sur des substrats friables connaissent une dégradation importante. En fait, les sols argileux montrent des formes d'érosion variées (ravinement, rigoles et sapement de berges), alors que les sols sur les substrats gréso-pélitiques montre une dégradation qui se



Figure 3.- Carte d'occupation des sols du bassin versant d'El Hachef.

manifeste souvent par des coulées boueuses et des glissements en masses à la base des versants.

La cartographie de la lithologie, d'occupations des sols et des classes de pente du bassin

La carte géologique, dressée à partir des travaux de Delga *et al.* (1985) et l'interprétation des photo-aériennes au 1/20 000 de la partie sud du bassin (MAMEVA, 1986), montre tous les caractères tectoniques d'une chaîne disloquée (Fig. 2). Cette région comprend: l'unité de Tanger externe (i), la nappe numidienne (ii) la nappe de Tala'Lakrah (iii) et la nappe du Habt (iv). Ces nappes sont caractérisées par un faciès lithologique bien déterminé. Au niveau des fonds de la vallée affleure un substratum marneux et argileux (C5-6TE) autochtone ou para-autochtone (unité de Tanger). Par contre, sur les collines limitrophes s'érigent des nappes de charriages à faciès turbiditiques d'âge éocène-miocène inférieurs qui constituent:

- la nappe du Habt (e5-gHA) qui s'étend globalement du bassin versant d'El Hachef jusqu'à la région comprise entre Azila et Khemis Sahel sur la côte atlantique,
- et la nappe numidienne ((G)N) constituant les crêtes qui se dressent dans la partie ouest et sud du bassin.

Vers le Sud Ouest apparaît la nappe crétacé-éocène de Tlat'Lakrah ((G)TL). Il s'agit d'une alter-nance des grès numidiens et des pélites roses de Bni Ider. Cette nappe longe la limite sud depuis Koudiat Saf Jniah (SE du bassin) jusqu'aux collines de Tnine Bni Harchane à l'Est.

D'autre part, la cartographie de la végétation (Fig. 3) (CRIA, 1989) a permis de distinguer sur le substrat argileux et marneux à l'Est de Dar Chaoui, les formations olio-lentis-que; sur le substrat gréseux, dans la moitié ouest du bassin, on trouve un matorral à Quercus suber.

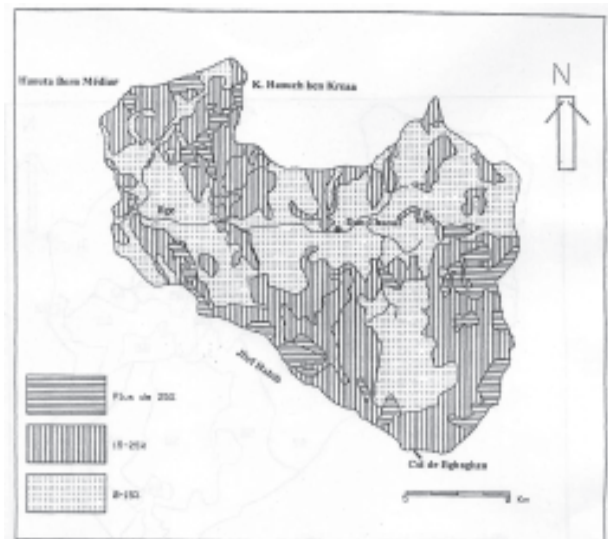
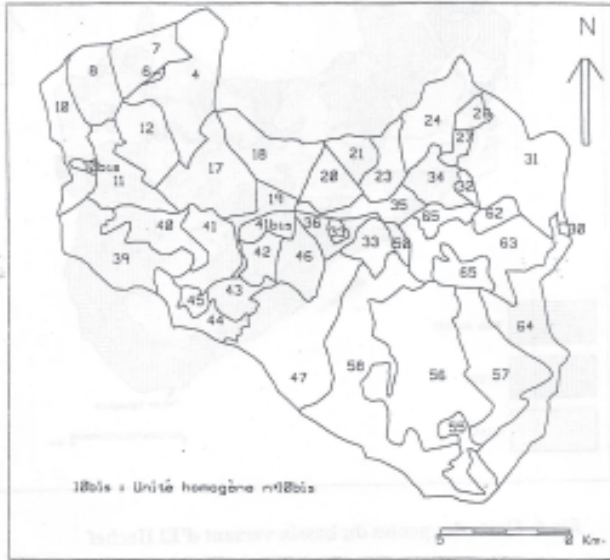


Figure 4.- Carte des pentes du bassin versant d'El Hachef.



Légende synthétique de la carte des unités homogènes

Lithologie (voir carte lithologique)	Classes de Pentas (%) et types d'occupation du sol	Unités homogènes
Terrasses fluviales	0-15% C 0-15% P	6, 11, 36, 19, 45, 50 40bis
E : Eboulis Dépôts de pente à blocs	0-15%P 0-15%C >25%P	12, 17, 18, 20, 21, 33, 35 48 7
Coûtes boueuses et Collapses	15-25%P	39
(GTL : Flyschs marno-gréseux du Tiat Lakrah	>25%P	64
mN (Marnes avec concholithes de la nappe namadienne (Barégallien) (GN : Flyschs marailliens (Aquitaines) e5-6-gHA : Argiles sombres du Habt (Eocene -Oligocene)	15-25%P	4, 8, 10, 10bis, 41, 44, 47, 58
e5-6TE (C) : Marno-calcaire à boules de l'unité de Tanger externe (Crétacé supérieur)	0-15%C 15-25%C 15-25%P	34, 42, 46 38, 43 30, 32, 43, 62, 45
e5-6TE (A) : Faciès argileux de l'unité de Tanger externe (Crétacé supérieur)	0-15%C 15-25%C	23, 31, 33 24, 27
TE : Terrains marno-argileux de l'unité de Tanger externe d'âge non différencié	15-25%C 15-25%P	56 57
0-15%, 15-25%, >25% : classes de pente C : terrain de cultures	P : terrain postgl (Subérial, maquis ou Rebroussement)	6, 11, 36... et des carottes et unités homogènes

Figure 5.- Carte des unités homogènes du bassin versant d'El Hachef.

Ce couvert végétal est composé de six types de formations: la subéraie dense (Qs+M), la subéraie claire (qs+M), le maquis dense (M), le maquis clair (m), le reboisement (RE) et des terrains de cultures (C).

Enfin, une carte des classes de pente a également été établie à 1/100 000ème montrant trois types de classes: 0-15% de 8534ha (soit 38 % de la surface totale du bassin), 15-25% de 10301ha (45%) et plus de 25% de 3955ha (17%).

Méthodologie d'évaluation de la dégradation du bassin versant

La méthode consiste à élaborer, en premier lieu, les cartes des principaux facteurs qui interviennent dans le processus de l'érosion. Il s'agit de dresser les cartes géologiques (Fig. 2), d'occupation du sol (Fig. 3) et des classes de pentes (Fig. 4), ensuite la superposition manuelle ou à l'aide du système d'informations géographiques (SIG) de ces documents, à la même échelle. On délimite sur une même carte (Fig. 5) des unités homogènes caractérisées par la lithologie, la pente et le type d'occupation du sol les plus représentatifs de ces unités. Ce nombre d'unités est fonction de la variation des 3 facteurs qui sont supposés intervenir massivement sur le phénomène d'érosion. Ce procédé a permis de découper le bassin en 43 unités homogènes de superficie variable.

Par ailleurs, pour chercher les zones sources d'érosion, nous avons réalisé un carottage dans chacune de ces unités à l'aide d'un carottier de 5.5 cm de diamètre et 35 cm de longueur. Les résultats obtenus vont permettre de suivre l'itinéraire suivi par les particules des sols, de l'amont vers l'aval du bassin versant.

Ces carottes, prélevées lors de la campagne de sondages, ont subi un séchage à 40°C, un tamisage à travers un tamis de maille égale à 2 mm et des mesures de susceptibilité magnétique à l'aide d'un magnétomètre. L'objectif de cette opération est d'éliminer l'eau des sols qui fausse les mesures magnétiques et d'effectuer des mesures sur des particules fines (< 2mm) qui contiennent des traces d'oxydes et hydroxydes de fer.

L'approche magnétique

La méthode magnétique consiste à suivre les teneurs des oxydes de fer dans les échantillons des sols par la mesure de l'effet du champ magnétique. Les mesures portent sur la réponse des sédiments prélevés lors de l'échantillonnage, aux champs magnétiques artificiels générés par le magnétomètre «Bartington» (Dearing *et al.*, 1985 et Noddy's, 1987). Les mesures consistent ainsi à placer un échantillon de 10g dans un container de 10 cm³ et effectuer trois mesures: le bruit de fond (avant et après la mesure) et l'effet du champ magnétique (Thompson *et al.*, 1975;

Sous un champ de basse fréquence (0.47KHz)	Mesures de susceptibilité magnétique				
	Mesures magnétiques			Calculs de susceptibilité magnétique	
	BF ₁	χ	BF ₂	χ' (Susceptibilité corrigée)	χ _m (Susceptibilité à faible fréquence)
	+	+	+	χ' = χ - (BF ₂ - BF ₁) / 2	χ _m = χ' / d

BF₁ : Bruit de fond avant la mesure, BF₂ : Bruit de fond après la mesure, d : densité de l'échantillon, χ_m : susceptibilité à faible fréquence.

Tableau II.- Mesures de susceptibilité magnétique.

Profondeurs (cm)	C24	C25	C27	C28	C29	C30
0	0.489	0.3108	1.7734	1.8105	2.0467	1.2114
10	1.2668	0.1675	1.8800	0.8480	2.7572	1.8105
15	0.8231	0.2677	1.3611	0.2667	0.3800	1.1071
20	0.2911	0.0302	1.788	0.7407	2.0600	1.4677
25	0.2337	0.0054	1.750	1.0051	2.1000	0.8000
30	0.3600	0.2477	1.3600	1.2461	0.1100	1.1100
35	0.2000	0.00201	1.8700	1.0001	2.1001	1.0000
Profondeurs (cm)	C31	C32	C33	C34	C35	C36
0	2.1000	0.3134	1.8070	0.0004	1.4677	0.1030
10	2.2041	0.0091	0.4007	0.4843	0.6215	0.5100
15	1.4711	0.3000	0.5014	0.4046	0.4010	0.1000
20	0.0000	0.0000	0.3044	0.210	0.3730	0.3700
25	0.0000	0.0107	0.3210	0.2007	0.3175	0.5000
30	0.4014	0.4130	0.4400	0.1071	0.4000	0.4071
35	0.3070	0.0210	0.7000	0.1700	0.0000	0.3400
Profondeurs (cm)	C37	C38	C39	C40	C41	C42
0	0.300	0.0001	0.1110	0.0000	0.201	0.2100
10	0.307	0.2100	0.1000	0.1407	0.0007	0.1700
15	0.1772	0.1072	0.1400	0.1037	0.0007	0.1000
20	0.1000	0.1001	0.1000	0.1000	0.0000	0.1000
25	0.1000	0.0000	0.1007	0.1070	0.0041	0.1000
30	0.3030	0.1700	0.1030	0.0047	0.3400	0.0001
35	0.1000	0.1001	0.1000	0.1000	0.1000	0.0000
Profondeurs (cm)	C43	C44	C45	C46	C47	C48
0	0.1000	0.0007	0.0107	0.0000	0.4014	0.4000
10	0.1000	0.0000	1.0000	0.3407	0.3041	0.4000
15	0.1700	0.0010	2.0000	0.0000	0.0000	0.1000
20	0.1000	0.000	0.1001	0.0000	0.0100	1.07
25	0.1071	0.1000	1.0000	0.1000	0.1000	0.0710
30	0.1700	0.100	1.0700	0.0710	0.1000	0.0072
35	0.1001	0.1000	0.0070	0.0000	0.1101	0.0000
Profondeurs (cm)	C49	C50	C51	C52	C53	C54
0	0.0000	0.1000	0.0010	1.1000	0.0100	1.0000
10	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.1000	1.0000
15	0.0000	0.0007	0.1000	0.0000	0.01	0.0000
20	0.071	0.0000	0.1000	0.1000	0.0000	0.0000
25	0.0000	0.0010	0.1001	0.0007	0.1000	0.0010
30	0.0000	0.0700	0.1044	0.3407	0.3407	0.200
35	0.0000	0.0010	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000
Profondeurs (cm)	C55	C56	C57	C58	C59	C60
0	0.1000	0.2110	0.0000	0.0000	0.0007	0.0000
10	1.1007	0.4000	0.1007	1.4007	0.1100	0.4100
15	0.0000	0.1000	0.0000	1.700	0.1000	0.0100
20	0.0000	0.1000	0.1001	0.0101	0.0100	0.000
25	0.0000	0.1000	0.1001	0.0007	0.07	0.010
30	0.0000	0.100	0.0000	0.0100	0.100	0.100
35	1.000	0.1010	0.1007	0.1010	1.1000	0.1070
Profondeurs (cm)	C61	C62	C63	C64	C65	C66
0	0.0114	2.711	0.000	0.0210	0.1100	0.0100
10	0.0100	0.0001	0.0100	0.0100	0.100	0.0000
15	0.0100	1.0100	0.0000	0.1000	0.1000	0.0000
20	0.1000	1.171	0.0007	0.1000	0.2000	0.0100
25	0.1070	0.0000	0.1011	0.1007	0.0100	0.0100
30	0.1007	0.0000	0.1000	0.1110	0.1100	0.0000
35	0.1170	0.200	0.1117	0.1000	1.1000	0.0000
Profondeurs (cm)	C67					
0	0.0010					
10	0.2000					
15	0.1000					
20	0.1000					
25	0.1100					
30	0.0700					
35	0.0077					

Tableau III.- Mesures magnétiques du BV El Hachef.

Olfield, 1986). L'échantillon ainsi placé dans un champs magnétique faible H (0.47Khz) acquiert une aimantation réversible M dont le magnétomètre permet de calculer directement le rapport M/H qui est appelé susceptibilité magnétique (Olfield, 1986) (Tableau II).

Résultats et discussions

La comparaison de la susceptibilité magnétique entre les terrains argileux et gréseux affleurant dans le bassin.

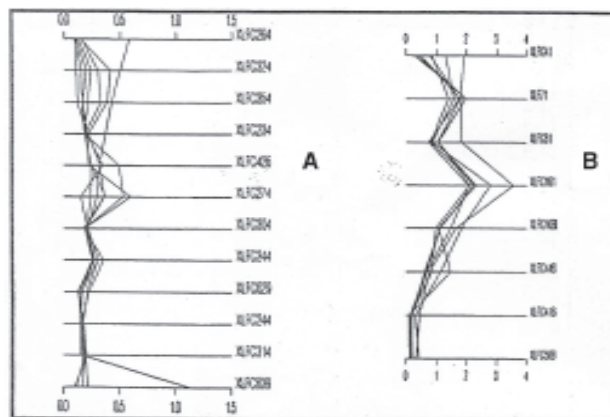


Figure 6.- Comparaison entre les susceptibilités magnétiques des carottes prélevées dans l'unité de Tanger (A) et les grès numidiens (B) (XLF : susceptibilité magnétique à faible fréquence ; C264 : carotte n°26 du sous bassin versant n° 4).

Les 43 carottes (soit 298 échantillons) (Tableau III) prélevées dans le bassin d'El Hachef ont fait l'objet des mesures de susceptibilité magnétique à basse fréquence.

L'étude de la variation de χlf des échantillons par le logiciel Systat a permis de faire une première classification des terrains affleurant dans le bassin versant. Ainsi, les terrains tendres marno-argileux de l'unité de Tanger (Fig. 6B) montrent une variation de χlf entre 0.1 et 0.6 μm3/kg typique de terrains lessivés, alors que les carottes prélevées dans le substrat gréseux (nappe numidienne) (Fig. 6B) montrent des valeurs magnétiques plus importantes, variant entre 0.1 et 3.5 μm3/kg, ce qui pourrait s'expliquer par la présence d'hydroxyde de Fer ou une teneur élevée de minéraux paramagnétiques dans cette partie du bassin versant.

L'observation de terrain montre que cette zone à forte susceptibilité magnétique est couverte de végétation, ce qui pourrait constituer un écran contre l'érosion et la dégradation de la composition minéralogique des grès numidiens.

Etude par Histogrammes

L'étude statistique de la variation de la susceptibilité magnétique des échantillons issus du bassin El Hachef a permis de réaliser deux histogrammes: le premier représente l'ensemble des échantillons prélevés entre 0 et 35cm (soit 298cas) (Fig. 7A) alors que le second représente les échantillons prises entre 0 et 5cm qui sont les plus exposés aux phénomène de l'érosion (Fig. 7B).

L'histogrammes des échantillons de 0-35cm de profondeurs

La figure 7A montre une courbe en cloche et dissymétrique avec un pic qui correspond à l'effectif 76 de la classe de χlf 0.1-0.2. Ce sont les faibles valeurs de susceptibilités (χlf<0.9) qui prédominent, et leur comparaison avec les caractéristiques des unités

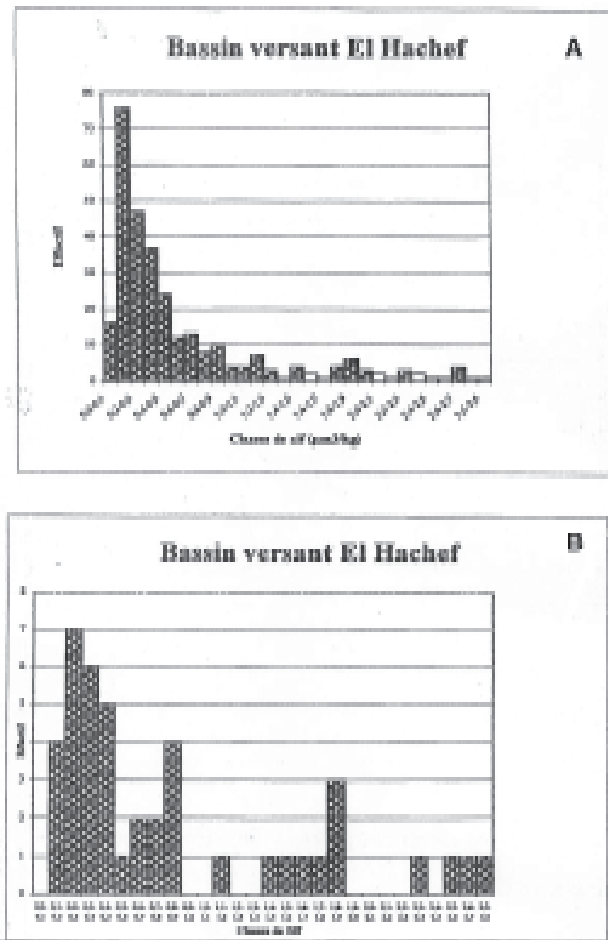


Figure 7.- Histogrammes des mesures de susceptibilités magnétiques des carottes prélevées entre 0-35cm (A) et 0-5cm de profondeur (B).

échantillonnées permettent de dégager deux groupes distincts:

- Le premier ayant un pourcentage de 71% par rapport à l'ensemble des échantillons a une susceptibilité magnétique qui varie entre 0.01 et 0.6 $\mu\text{m}^3/\text{kg}$. Ceci témoigne de la pauvreté des sols de ce groupe en oxydes de fer (magnétite et maghémite) et leur richesse en minéraux paramagnétiques (Tableau IV) comme les formations marno-argileuses de l'unité de Tanger.
- Le second a une susceptibilité $0.6 < \chi_{\text{lf}} < 2.8 \mu\text{m}^3/\text{kg}$, constitue 29% de l'ensemble des échantillons prélevés dans le bassin versant. Ces valeurs de susceptibilité magnétique indiqueraient l'existence des hydroxydes de fer dans les sols ferrallitiques des collines gréseuses qui dominent la vallée de l'oued Haricha et dans les colluvions du bas de versants.

L'histogramme de c_{lf} des échantillons prélevés entre 0-5 cm de profondeur

Etant donné que les échantillons des unités homogènes ne sont pas tous exposés à l'érosion, et que le décapage affecte en premier lieu la surface du sol (Moukhchane *et al.*, 1998) on va s'intéresser aux échantillons prélevés entre 0-5 cm de profondeur.

La figure 7B, montre que 53.32 % des échantillons ont une susceptibilité χ_{lf} comprise entre 0.1 et 0.6, alors que l'étude de l'ensemble des échantillons du bassin versant a montré que 71% des échantillons possèdent de pareilles valeurs de susceptibilité magnétique.

Ces sédiments analysés proviennent des sous bassins 4, 9, 8 et 6 dont la superficie est de l'ordre de 10120ha (soit 50.12% de la surface totale). Les unités homogènes correspondantes sont représentées par les carottes suivantes: C63.9; C40.5; C31.4; C24.4; C65.9; C62.9; C56.8; C45.6; C34.4; C30.4; C27.4; C64.9; C58.8; C42.6; C23.4; C21.4; C6.1 et C26.4 (Fig. 5). Elles correspondent essentiellement à des terrains cultivés (56.5%), des maquis (21.7%) et des maquis denses à subéraie dense avec des griffes d'érosion (22%), des terrains de nature argilo-marneuse avec des pentes très contrastées (Fig. 8).

Cependant, les carottes C56.8, C58.8 et C64.9 issus des sous bassins 8 et 9 qui sont mieux protégés contre l'érosion par un couvert végétal dense. Par conséquent cette zone sera classée dans la case des zones à érosion faible à négligeable. La zone source d'érosion qui nécessiterait un traitement anti-érosif serait réduite à une aire de l'ordre de 5210 ha soit 23.7% de la surface totale.

Quant au deuxième groupe de susceptibilité ($\chi_{\text{lf}} > 0.6 \mu\text{m}^3/\text{kg}$), il représente des unités homogènes aux sols sur substrats gréseux (nappe numidienne), des terrasses quaternaires et des dépôts de pentes qui constituent 46.5% de la superficie du bassin versant (Fig. 8). Ici, le type d'occupation des sols est essentiellement un matorral de faible densité, constitué par une strate arbustive et des taillis de chaînes lièges. La pente n'est pas un facteur discriminant puisqu'elle est variée : classe 0-15% (55%), 15-25% (35%) et >25% (10%). Cependant on trouve des valeurs de c_{lf} exceptionnellement dans deux terrains de

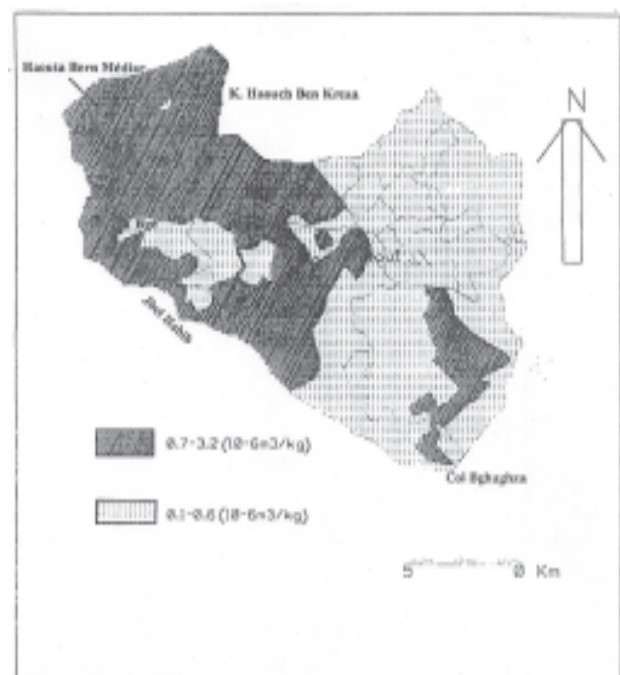


Figure 8.- Carte de susceptibilité magnétique du bassin versant d'El Hachef.

Minéraux dia- et paramagnétiques	χ ($\mu\text{m}^3/\text{kg}^{-1}$)	Minéraux ferri et anti-ferromagnétiques	χ ($\mu\text{m}^3/\text{kg}^{-1}$)	Source
Eau	-0.0090			
Quartz	-0.0058	Ilménite (FeTiO ₃)	1.70	1
calcite	-0.0048	Hématite(Fe ₂ O ₃)	0.27-0.31	3
Dolomite	0.011			
Muscovite	0.01-0.15	Goethite (FeOOH)	>0.63	4
Biotite	0.15-0.65		0.35--1.26	4
Amphibole	0.16-0.69	Lepidocrocite (FeOOH)	0.38,0.125	1, 3
Pyroxène	0.04-0.94		0.50-0.75	4
Epidote	0.25-0.31			
Kaolinite	-0.019	Pyrrhotite (Fe ₇ S ₈)	0.69	1
Montmorillonite	0.027	(pyrite magnétique)	53	1
Bentonite	0.058			
Nontronite	0.863	Magnétite (Fe ₃ O ₄)	500-1000	2
Vermiculite	0.152		390-580	5
Prochlorite	0.157			
Attapulgite	0.020	Maghémite (Fe ₂ O ₃)	410,440	2

Sources: 1 : Scheffer et al. (1989) ; 2 : résultats d'auteurs ; 3 : Fressal et Ghilodry (1975) ; 4 : Bodley (1970) ; 5: Parry (1965).

Tableau IV.- Susceptibilité magnétique des minéraux (in Mullins, 1977).

cultures (C11.1 et C19.3) qui sont des plaines d'inondations et d'alluvionnement où il y a précipitation des particules issues des zones amont du bassin.

Cette susceptibilité magnétique élevée serait due à la nature ferralitique des sols qui surmontent les terrains gréseux, ou à une contamination des sols situés aux niveaux des terrasses quaternaires ou des dépôts récents. Cette susceptibilité n'est pas aussi importante que dans le cas des sols des terrains basiques à ultrabasiques (basaltes, gabbro ou péridotite) ou des sols des roches acides (granites, rhyolites). Autrement dit, Cette susceptibilité n'est pas assez forte pour trouver son origine dans les minéraux ferro-ou ferrimagnétiques (magnétite, maghémite) (Tableau IV), mais on peut l'interpréter par la présence des traces de minéraux paramagnétiques (Nontronite) ou anti-ferromagnétiques (hématite, goethite et lepidocrocite) dans les sols de koudiat Haouch Ben kreaa, koudiat Dar Chaoui et Jbel Habib.

La superficie de ce 2^{ème} groupe de χ_{if} , mesurée par le Système d'informations géographiques est de 10070 ha (soit 49.8% de la surface du bassin), constitue une ceinture autour de la retenue du barrage (Fig. 8). Elle appartient à des terrains de matorral et de subéraie et ayant des pentes moyenne à forte. Donc la zone prioritaire à l'aménagement anti-érosif est caractérisée par une susceptibilité magnétique très faible ($\chi_{if} < 0.6 \mu\text{m}^3/\text{kg}$), alors que la zone plus au moins protégée est caractérisée par $\chi_{if} > 0.6 \mu\text{m}^3/\text{kg}$.

Conclusions et perspectives d'avenir

L'étude des sources d'érosion dans le bassin versant d'El Hachef a permis de classer la région en deux zones:

a) Les sols peu évolués des terrains argilo-marneux de l'unité de Tanger et les formations soltano-rharbiennes, réservés essentiellement à la céréaliculture, montrent une zone très sensible à l'érosion, avec de faible susceptibilité magnétique ($\chi_{if} < 0.6$). Cette classe, de superficie d'environ 5210 ha (soit 23.7%), se situe principalement à l'Est du village de Dar Chaoui.

b) Par contre, les lithosols des substrats gréseux et des colluvions, couverts de végétation sur des pentes moyennes, donnent des susceptibilités ($\chi_{if} > 0.6$). Ces taux élevés, interprétés par la richesse des sols en minéraux paramagnétique ou anti-ferromagnétique, caractérisent des sols peu érodibles.

c) Enfin, un traitement anti-érosif des zones révélées vulnérables aux agents de l'érosion s'avère impératif. Il s'agit d'une intervention rapide en procédant aux traitements biologiques (reboisement) et mécaniques (constructions de seuils) pour diminuer les apports alluviaux qui compromettent la longévité du barrage «9 avril».

Références

Ait-Fora, A. (1995): *Modélisation spatiale de l'érosion hydrique dans un bassin versant du Rif marocain: Validation de l'approche géomatique par la sédimentologie, les traceurs radioactifs et la susceptibilité magnétique des sédiments*. Thèse de Ph. D. en Télédétection, Univ. de Sherbrooke, Québec.
 Azenfar, A. (1993): *Conjugaison de la méthode du ¹³⁷Cs, des techniques magnétiques et des systèmes d'information géographique pour l'élaboration de la carte nette dans une partie du bassin versant d'Ait Youb (cas du sous bassin de*

- Boufoul*). Mémoire de 3^{ème} cycle, École Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé, Maroc, 116 p.
- Bonn, F. (1998): La spatialisation des modèles d'érosion des sols à l'aide de la télédétection des SIG: possibilité, erreurs et limites. *Sécheresse*, 3: 185-192.
- Centre Régional d'Inventaire et D'aménagement de Tétouan C.R.I.A) (1989): *Étude d'aménagement du barrage de l'Oued El Hachef*, 14 p. et 7 cartes. Rapport inédit.
- Dearing, J.A., Maher, B.A. and Olfied, F. (1985): Geomorphological linkages between soils and sédiments : the role of magnetic measurements. En: *Geomorphology and soils* (K. Richards, Ed.). George Allen and Unwin, London, 245-265.
- Durand Delga M. , Didon J., Magne J., Feinberg H. et Fleury J.J. (1984): Carte géologique du Rif au 1/50.000 Melloussa. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 296.
- Durand Delga M., Didon J., Medioni R. et Wernli R. (1985): Carte géologique du Rif au 1/50.000 Tanger-Al Manzla. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 294.
- Heusch, B. (1970): Études sur l'érosion. *Annale de la Recherche Forestière au Maroc*, Tome 12, numéro spécial, 386 p.
- INYPASA (1988): *Projet de développement agricole de Tanger-Tétouan. Secteur de Tétouan*. Étude des sols au 1/100000. Ministère de l'Agriculture et de la Réforme agraire. DPA Tétouan. 187 p. et cartes.
- Lahlou, A. (1994): *Envasement des barrages au Maroc*. SMD Wallada (Maroc), 286 p.
- Lahlou, Y. (1997): *Erosion dans le bassin versant du barrage sidi Driss : Méthodologie d'approche et quantification (cas du bassin versant Mhasser)*. D.E.S., Faculté Sciences Rabat, 161 p.
- Lizhong, Y. and Olfied, F. (1992): *Quantitative sediment source ascription using magnetic measurments in a reservoir-cachement system near Nijar, S.E. Spain*, 22 p.
- Maher, B.A., (1988): Magnetic properties of some synthetic submicron magnetites. *Journal of Geophysical Research*, 94: 83-96
- Ministère de L'agriculture et de La Mise En Valeur Agricole (1986): *Mission de pho-aériennes au 1/20.000*. Rabat, Maroc.
- Moukhchane, M. (1999): *Contribution à l'étude de l'érosion hydrique dans le Rif occidental. Applications des méthodes expérimentales du ¹³⁷Cs et de la susceptibilité magnétique des bassins versants Nakhla, El Hachef et Smir*. Thèse de Doctorat d'état, Univ. A. Essaadi, Tétouan, 260 p.
- Moukhchane, M., Bouhlassa, S. et Chalouan, A. (1998): Approche cartographique et magnétique pour l'identification des sources de sédiments: cas du bassin versant Nakhla (Rif, Maroc). *Sécheresse*, 3 (9): 227-232.
- Mullins, C.E., (1977): Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science: A review. *Journal of Soil Science*, 28: 223- 246.
- Noddy's, A. (1987): *Introduction to environmental Magnetism*. Second Guide, Liverpool University, 23 p.
- Olfied, F. (1986): *Environmental Magnetism*. George allen et Unwin, 272 p.
- Scheffer et al. (1959): Susceptibilité magnétique des minéraux. (En Mullins, 1977. A review). *Journal of Soil Science*, 28: 223- 246.
- Thompson, R. and Olfied, F. (1986): *Introduction to environmental magnetism*. George Allen and Unwin, London, ?? p.
- Watteuw, R. (1978): *Carte de reconnaissance pédologique du Tangérois*. Direction de Recherche agronomique. Section Pédologie, Tanger.
- Wischemir, W.A. and Smith, D.D. (1978): *Predicting Rainfall erosion losses: A guide to conservation planing*. Agriculture US Department, Washington D.C., Handbook, 537, 58 p.

Manuscrito recibido el xx de xxxxxx de 2005

Aceptado el manuscrito revisado el xx de xxxxxx de 2005

POLEN Y DINOFLAGELADOS DEL LÍMITE TORTONIENSE/MESSINIENSE DEL SONDEO DE TESTIGO CONTINUO «HUELVA» (CUENCA DEL GUADALQUIVIR, ESPAÑA). INTERPRETACIÓN PALEOAMBIENTAL

M.R. Rivas Carballo y M. Valle Hernández

Departamento de Geología, Área de Paleontología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, C/ del Parque s/n, 37008 Salamanca (España). crivas@usal.es, maruia@usal.es

Resumen: Se estudia el contenido palinológico de 23 muestras obtenido en un tramo de 10 m del sondeo de testigo continuo «Huelva», realizado en dicha ciudad, en el borde occidental de la Cuenca Neógena del Guadalquivir (España). La edad del tramo es Tortoniense/Mesiniense, ya que se han tomado las muestras justo por debajo y por encima del punto que coincide con el «Evento 3» de Sierro *et al.* (1993), basado en el reemplazamiento de *Globorotalia menardii* by *G. miotumida*, y correlacionado con el límite Tortoniense/Mesiniense. Las muestras analizadas han ofrecido excelentes resultados desde el punto de vista palinológico. Se han identificado abundantes quistes de dinoflagelados, polen, esporas y otros palinomorfos, tanto de origen marino (microforaminíferos quitinosos, algas, invertebrados y acritarcos) como de origen continental (algas de agua dulce, esporas de hongos). El contenido palinológico de las muestras nos permite establecer tres zonas en el diagrama que pueden relacionarse con variaciones ambientales no sólo en el medio marino sino también en el continente próximo.

Palabras clave: Palinología, Neógeno, Cuenca del Guadalquivir, España.

Abstract: The palynological study of 23 samples from a 10m section (between 154m to 165 m deep) from the Huelva borehole (Upper Tortonian and Lower Messinian) is presented. This borehole attain 197,5 m deep and was drilled at the western edge of the Guadalquivir basin, near of the bullfight ring of Huelva. It crossed the whole of the «Arcillas de Gibraleón» and the upper meters of the «Calcarenita de Niebla» Formations. The Event 3 of Sierro *et al.* (1993), based on the replacement of *Globorotalia menardii* by *G. miotumida*, have been recognised at a depth of 164m; it is correlated with the Tortonian-Messinian boundary. The palynological content of the samples is well preserved and rich. Dinoflagellate cysts, pollen, spores, foraminifera linings, acritarchs and other palynomorphs including invertebrates, marine and freshwater algae, fungal spores and plant debris are well represented. It allowed the establishment of three palynological zones related with palaeoecological changes both in marine and continental environments.

Key words: Palynology, Neogene, Guadalquivir Basin, Spain.

Rivas Carballo, M.R. y Valle Hernández, M. (2005): Polen y Dinoflagelados del límite Tortoniense/Messiniense del sondeo de testigo continuo «Huelva» (Cuenca del Guadalquivir, España). Interpretación paleoambiental. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 18 (3-4): 233-238

En el trabajo se ofrecen los resultados obtenidos a partir del análisis palinológico realizado en el límite Tortoniense/Messiniense del sondeo «Huelva» que fue extraído en el borde occidental de la Cuenca del Guadalquivir, al sur de la Península Ibérica (Fig. 1), junto a la plaza de toros de la ciudad de Huelva (coordenadas UTM 818265). El sondeo fue realizado por el IGME y tiene una profundidad total de 197,5 m, registrando los 4m superiores de la Fm «Calcarenita de Niebla» y la totalidad de la Fm «Arcillas de Gibraleón» (Civis, comunicación personal).

El trabajo se ha realizado en el tramo inferior de esta última formación, cuyos sedimentos están constituidos por margas azules y que corresponden a la parte superior del Tortoniense y la base del Messiniense.

Material y método

Para el estudio palinológico se han tomado 23 muestras comprendidas entre los 165 y 154 m de



Figura 1.- Situación geográfica del Sondeo «Huelva».