

QUANTIFICATION DE L'ÉROSION DES SOLS DU BASSIN VERSANT EL HACHEF, PAR LE BIAIS DU CESIUM-137 (REGION DE TANGER, MAROC)

***Moukhchane M., **Bouhlassa S. et Bouaddi Kh.**

* Département de Géologie Fac. Sc. Tétouan

** Laboratoire de Radiochimie Fac. Sc. Rabat

ABSTRACT

The quantification of the erosion, using the Caesium-137 method, follow the steps of current empirical models. This innovation of reliable and rapid techniques becomes a necessity, given the investments consented to by the management departments who are responsible for the anti-erosive battle and for carrying out the diagnosis that precedes the establishment of management diagrams. Following this objective, a study of the erosion carried out in the watershed of the dam 9th of April (in the Tangier region) has shown the benefit of this approach from the quantification of the water erosion by the Ritchie and al. model (1974) . This technique relies on the development of maps of slope steepness, types of land use and a map of lithology. The synthesis of this data allows the establishment of a sampling strategy based on the homogeneous unit demarcation characterised by the combination of the tree factors affecting erosion.

The study of erosion, using the method of ^{137}Cs , consists in measuring the radioactive activity with the specialised detector of soil samples and the establishment of a map of the distribution of a soil degradation. The results have allowed the development of a certain logic concerning the dynamics that affect the different soil types and the general demarcation of zones that are priorities for management.

Keywords : erosion, homogeneous units, Caesium-137, El Hachef, Tangier, Morocco.

RESUME

La quantification de l'érosion par la méthode du Césium 137 prend le pas actuellement sur les modèles empiriques. Cette innovation de techniques fiables et rapides devient une nécessité vu les investissements consentis par les organismes chargés de la lutte anti-érosive pour réaliser les diagnostics qui précèdent l'établissement des schémas d'aménagement. Dans cet objectif, une étude de l'érosion menée dans le bassin versant du barrage 9 avril (région de Tanger) a montré l'intérêt de cette approche à partir de la quantification de l'érosion hydrique par le modèle de Ritchie et al. (1974). Cette démarche s'appuie sur la réalisation des cartes de classes de pentes, des types d'occupation des sols et de la lithologie. Ensuite, la synthèse de ces données permet d'établir une stratégie d'échantillonnage basée sur la délimitation d'unités homogènes caractérisées par une combinaison des trois facteurs majeurs affectant l'érosion.

Cette étude du Cs^{137} consiste à mesurer l'activité radioactive, à l'aide d'une chaîne de détection, des sols échantillonnés et à établir une carte de distribution des pertes en terre. Les résultats ont permis de mettre en évidence une certaine logique en ce qui concerne la dynamique affectant les différents types de sols et la délimitation générale des zones prioritaires à aménager.

Mots-clés : érosion, unités homogènes, Cesium-137, El Hachef, Tanger, Maroc

INTRODUCTION

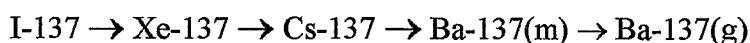
L'érosion a pour conséquence une diminution des surfaces cultivables, une décroissance de la fertilité du sol et une augmentation des dégâts occasionnés par les fortes crues, ce qui entraîne une insuffisance alimentaire et des problèmes économiques et sociaux très graves dans le monde. Les études d'érosion ont démontré que les barrages perdent un taux de 1% par an de leur capacité, ce qui représente un coût de l'ordre de 6 billions de dollars (Mahmood, 1987).

Au Maroc, Heusch (1970) a démontré que les pertes en terres proviennent essentiellement du Rif. Celles-ci représentent 60% des pertes en terres issues de l'ensemble du Maroc, bien que les terres arables occupent moins de 6% de la superficie totale du pays.

La conservation des ressources naturelles (sols, eau et couvert végétal) nécessite un programme d'action capable d'enrayer ce fléau. Ces études ont besoin d'un diagnostic capable de délimiter les zones d'interventions prioritaires. Les méthodes en cours sont basées sur des modèles qui ont besoin de banques de données. Il est urgent de trouver des méthodes de diagnostic simples, fiables et peu coûteuses. L'étude au ^{137}Cs peut compléter ou améliorer ces méthodes conventionnelles. Cette méthode a été testée sur des parcelles expérimentales puis étendue à l'échelle des bassins versants. Elle consiste en l'élaboration d'une carte d'échantillonnage et d'une carte de dégradation des sols en appréciant les rôles respectifs des facteurs d'érosion.

HISTORIQUE DE LA TECHNIQUE DU CESIUM-137

Le Césium 137 provient de la fission de l'Uranium 235 et de l'Uranium 238 et d'autres matières fissiles. Il provient des précurseurs gazeux qui se désintègrent par émission de particules β selon la réaction suivante :



Bien que l'introduction de cet élément dans l'environnement ait eu lieu dès 1945, les retombées ne sont pas devenues significatives à l'échelle de la terre qu'avec l'avènement, en 1952, des engins thermonucléaires d'une puissance suffisante pour propulser les débris radioactifs dans la stratosphère. Les retombées de ces débris, via les précipitations, ont constitué la principale source de Cs-137 pour l'environnement terrestre. Ces retombées ont été beaucoup plus importantes dans l'hémisphère Nord, le maximum ayant été enregistré aux environs de la latitude 45°.

Le Césium-137 constitue un marqueur intéressant pour des études sur l'érosion des sols. Il a été introduit artificiellement dans notre environnement vers la fin des années 50 et il possède une demi-vie de 30 ans. Les quantités existantes dans le sol sont faiblement détectables. Une fois en contact du sol, le Césium est facilement retenu par les fractions fines du sol (Rogowski et Tamura, 1970 ; Tamura, 1964 ; Walton, 1963 ; Miller et Retmeier, 1963) et n'est prélevé par les cultures qu'en infimes quantités (Bovard et al., 1969 ; Davis, 1963 ; Anonyme, 1960). Le mode de transport du Cs-137 est donc principalement réalisé avec le sol. Ainsi, diverses relations ont été suggérées pour relier la perte de Cs-137 à l'érosion hydrique. La plupart des auteurs admettent une perte en sol proportionnelle à la réduction de l'activité du Cs-137 de ces

sols. En effet, en regroupant leurs résultats avec ceux de Rogowski et Tamura (1970a) sur le Cs-137, ceux de Menzel (1960) sur le Sr-90 et ceux de Graham (1963) sur le Sr-85, Ritchie et al. (1974) ont suggéré une relation logarithmique reliant les pertes des retombées de Cs-137 obtenues à partir des différentes occupations des sols dans un bassin versant et les pertes en sol estimée par l'USLE (Wischmeier et Smith, 1978).

$$Y=0,87 * X^{1,18}$$

Y= perte totale en sol (T/ha/an)

X= perte en Cs-137 (en %)

L'exploitation de cette technique pour démontrer l'influence du relief sur le processus d'érosion a aboutit aux résultats suivants : d'abord une redistribution du Cs-137 et du sol de haut en bas des pentes sous l'effet de l'érosion et de la sédimentation (Vander Berge et Gulink, 1987; Martz et DeJong, 1987; DeJong al., 1986; McHenry et Bubbenzer, 1987). Longmore et al.(1983) ont pu réaliser une carte de la parcelle étudiée délimitant les zones d'érosion et les zones de sédimentation.

Un essai de bilan net d'exportation de terre hors des champs étudiés à l'aide du Cs-137 a été tenté (Brown et al.,1981; De Jong et al., 1983). Cet essai a connu certains problèmes en raison de la difficulté à délimiter avec exactitude les zones d'érosion et celles de la sédimentation.

Une relation significative entre la perte du carbone organique et la perte de Cs-137 et l'amincissement de l'horizon A (DeJong et al., 1986), ainsi que des corrélations entre la perte de Cs-137 et la longueur et l'inclinaison de la pente (Kiss et al.,1986) ont été trouvées.

L'influence du couvert végétal a été mise en évidence. C'est ainsi qu'une étude a montré une érosion plus importante dans les parcelles et bassins hydrographiques cultivés que dans les bassins non cultivés (Rogowski et Tamura, 1970a; Ritchie et Mc Henry, 1978). De même, une prairie montre une activité en Cs-137 beaucoup plus significative qu'une parcelle soumise à une rotation blé-sorgho (Lance et al.,1986). En outre, une étude menée à l'île d'Orléans (Canada) a montré que l'érodabilité du sol, l'inclinaison de la pente ou un usage plus intensif du sol augmentent l'érosion (Bernard, 1991).

Au Maroc, l'extension de cette méthode à des bassins de grande superficie (Boufoul, 40 Km²) et Mhasser (182 Km²) respectivement sur les bassins versants du Sebou et du Tensift, a nécessité la mise en oeuvre d'une nouvelle stratégie d'échantillonnage. Ainsi, grâce à l'utilisation du système d'information géographique, une sélection des unités qualifiées d'homogènes, du point de vue de la lithologie, de l'occupation des sols et des classes de pentes s'est avérée fructueuse. L'analyse de l'activité du sol en Cs-137 de ces sites a permis d'obtenir des résultats qui reflètent fidèlement la réalité de la dégradation des sols dans les zones étudiées (Bouhlassa et al., 1995; Lahlou, 1997).

MILIEU D'ETUDE

Le bassin versant El Hachef est situé dans le triangle Tanger, Tétouan et Ksar el Kbir, dans le Rif occidental. Il a une superficie de l'ordre de 24 000 ha et collecte les eaux qui tombent dans

la région de Dar Chaoui. Son altitude varie entre 10m, au nord est, au niveau de la base de la digue du barrage 9 avril et 1020 m, au sud ouest, à Jbel Bghaghza. La capacité du barrage est de 300 106 m³. Il est destiné à l'alimentation en eau potable des villes d'Azila et de Tanger et à l'irrigation de périmètres agricoles situés en aval du barrage. Le volume de la tranche morte est de l'ordre de 70 106m³.

Le climat local est de type méditerranéen, avec des précipitations qui varient autour de 891 mm/an (station de Dar Chaoui) et des températures comprises entre 5°C (T minimale) et 25°C (T maximale). Ce bassin versant est classé dans l'étage bioclimatique subhumide à variante fraîche.

La lithologie montre globalement des terrains quaternaires, des dépôts de pente et un substrat d'âge méso-cénozoïque constitué d'argiles et marnes de l'unité de Tanger, des flyschs numidiens et des flyschs de la nappe de Tala-Lakrah. Le sol est de texture essentiellement argileuse, sauf au niveau des grès numidiens où on trouve un lithosol et des sols ferralitiques.

Le paysage végétal est diversifié. Il comprend six types d'occupation des sols, mis en évidence par le CRIA de Tétouan (1989) : un maquis dense (M), une subéraie dense (Qs+M), une subéraie claire (qs+M), un maquis clair (m), un reboisement en Eucalyptus (RE) et des terrains de culture (C).

La topographie est caractérisée par 3 classes de pentes (0- 15% >15-25% > 25% et plus) dont les surfaces correspondantes sont 8534, 10301 et 3955 ha.

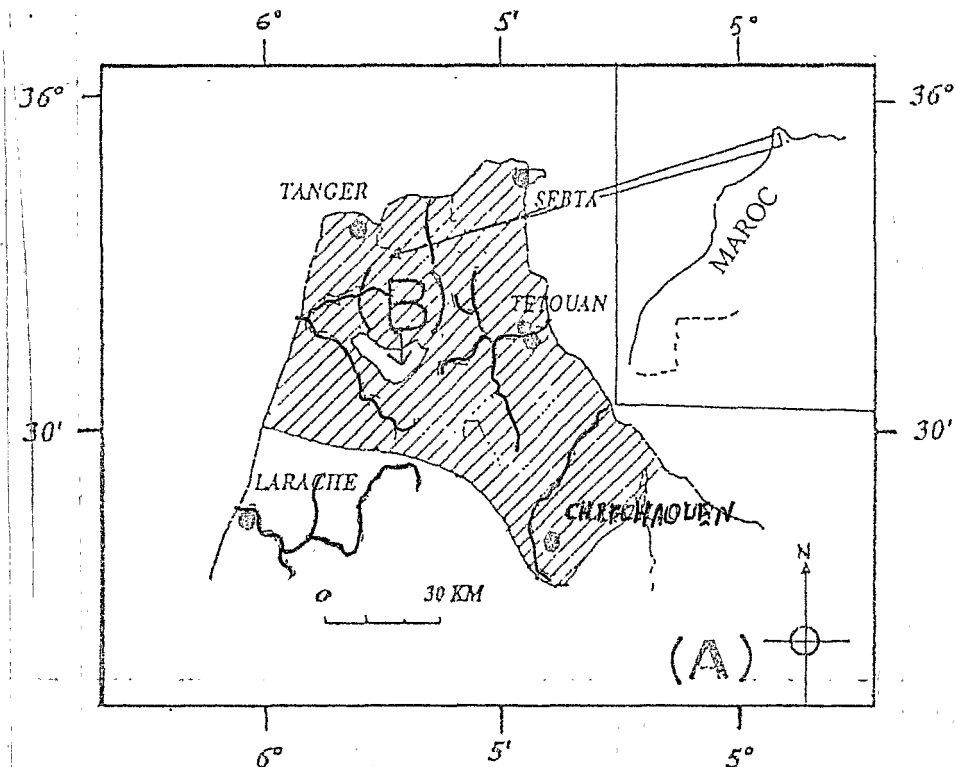


Figure 1 : Carte de situation géographique

METHODE D'ETUDE

Pour pouvoir étudier l'érosion dans le bassin versant El Hachef il fallait délimiter, sur une carte, des unités homogènes définies par une combinaison entre la lithologie, l'occupation des sols et les classes des pentes. Ce travail a permis d'identifier 43 unités d'échantillonnages qui couvrent la totalité du bassin versant (fig.2). Ces sites ont fait l'objet d'une prospection par sondage à l'aide d'un carottier de 50 cm de longueur et 5 cm de diamètre.

Les carottes prélevées avaient 35 cm de profondeur et 5 cm de diamètre. Elles ont été séchées à 40 °C et tamisées à travers des mailles de 2 mm de diamètre. Un comptage du nombre des impulsions gamma de 662 keV émises par le Cs137 a été effectué à l'aide d'une chaîne spectrométrique constituée par un détecteur d'excellente efficacité et de type Iodure de sodium puits (NaI).

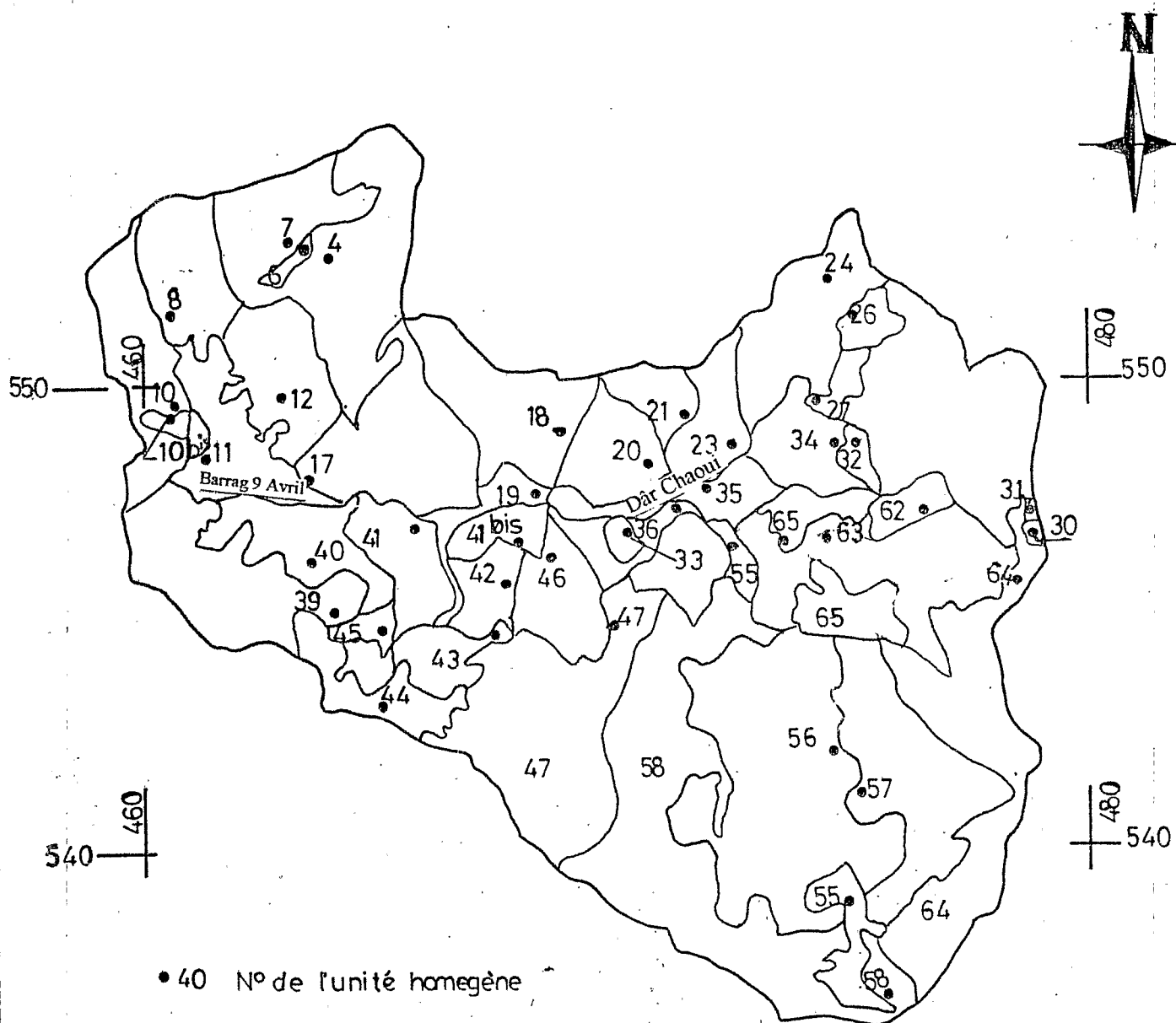


Figure 2 : Carte des unités homogènes (avant la mise en eau du barrage)

Le nombre d'impulsions est strictement proportionnel à l'activité du Cs137 :

$$Nc = A * Tc * M * I * E$$

- **Nc** : nombre de coups détectés pendant le temps **Tc**,
- **A** : Activité spécifique (Bq/g),
- **M** : masse de l'échantillon (g), **I** : intensité de la raie 662 keV,
- **E** : efficacité du détecteur à l'énergie 662 keV,
- **I** et **E** sont des constantes exprimées

L'activité spécifique arbitraire du Cs137 est :

$$ASP = Nc / Tc * M$$

- **Tc** est une constante exprimée en nombres de coups /200mn/g.

Le pourcentage (%) des pertes en Cs137 (**X**) est calculé selon la formule de Loughran et al. (1990) :

$$X = R - S / R * 100$$

- **R** = concentration de ¹³⁷Cs dans le site de référence (site le moins érodé),
- **S** = concentration dans un site érodé.

Les pertes nettes en terres (**Y**) sont déduites à partir du modèle de Ritchie et al. (1974) :

$$Y = 0,87 * X^{1,18}$$

Résultats et discussions

Les résultats de mesures des pertes en Césium137 (**X**) et du planimétrage des sites échantillonnés ont permis de calculer les pertes en terre (**P*S**). Ces résultats représentent une dégradation moyenne pour les 30 à 35 dernières années et sont moins influencés par les valeurs extrêmes, ce qui aidera les aménagistes à intervenir efficacement contre l'érosion.

Ces résultats d'analyse du Césium137 montrent des sites caractérisés par des activités spécifiques élevées dans des terrains protégés contre l'érosion (subéraie dense ou matorral exploité d'une façon rationnelle), des sites avec des taux moyens à faible activité, qui correspondent à des zones de surpâturage et des cultures, enfin des points aberrants dont les taux sont anormalement élevés (ex. C31 et C40), dus vraisemblablement aux piégeages dans des zones de colluvions.

La charge totale annuelle transportée est de $1,18 \cdot 10^6$ t/an. Si on prend une densité moyenne des sédiments de 1,25, le volume des sédiments transporté sera de $0,944 \cdot 10^6$ m³/an. Sans tenir compte des apports dus au ravinement, à la solifluxion et aux sapements des berges, ce flux de matière pourrait contribuer d'une façon importante à l'envasement du barrage, soit une perte annuelle minimale de la tranche morte de 1,3 % de son volume total.

Carotte Prélevée	Activité Cps/200mn/cm ²	Site de référence (R)	Pertes en (X) Cs-137 (%)	Pertes en sol (Y) (t/ha/ an)	S (ha)	Perte (P*S) (t/an)
C4	1831	1831	0,00	0,00	1054	0
C6	357	1831	80,48	154,25	60	9255
C7	698	1831	61,90	113,17	471	53303
C8	981	1831	46,39	80,52	500	40260
C10	625	1831	65,84	121,71	592	72052
C10bis	1029	1831	43,77	75,19	42	3158
C11	882	1831	51,81	91,73	560	51369
C12	307	1831	83,24	160,51	556	89244
C17	2044	2044	0,00	0,00	860	0
C18	1979	2044	3,19	3,42	657	2247
C19	887	2044	56,62	101,87	213	21698
C20	673	2117	68,21	126,89	353	44792
C21	1085	2117	48,76	85,41	235	20071
C23	1152	2117	45,58	78,87	336	26500
C24	1652	2117	21,96	33,31	672	22384
C26	2117	2117	0,00	0,00	127	0
C27	1186	2117	43,96	75,57	99	7482
C30	1878	1878	0,00	0,00	16	0
C31	2060	1878	-9,69	sédiments	1321	0
C32	357	1878	80,99	155,40	74	11500
C33	870	1040	16,34	23,50	314	7379
C34+C31	943	1878	49,78	87,50	1673	146388
C35	646	1878	65,6	121,18	305	36960
C36	1166	1878	37,91	32,98	210	6926
C39	999	1040	3,94	4,38	900	3942
C40	1122	1040	-7,88	sédiments	464	0
C41	1040	1040	0,00	0,00	486	0
C41bis	926	1040	10,96	14,67	181	2655

C31 : cette carotte est éliminée des calculs de perte en terre car elle a été prélevée dans un replat couvert de colluvions. L'unité correspondante 31 présente les mêmes caractéristiques que l'unité 34, ce qui a permis de calculer les pertes nettes en terres à partir de la mesure isotopique effectuée sur le site C34.

C40 : cette carotte est prélevée sur un versant couvert de colluvions qui correspondent à une sédimentation .

Tableau 1 : Résultats de mesures du Cs137 et calculs des pertes en terre dans les 43 unités homogènes du bassin versant El Hachef

C42	563	1040	45,86	79,43	235	18666
C43	779	1040	25,09	38,98	250	9745
C44	844	1040	18,84	27,80	342	9508
C45	859	1040	17,40	25,32	98	2481
C46	933	1040	10,28	13,61	369	5022
C47	730	1040	29,80	47,77	1429	68263
C50	816	1579	48,32	84,49	85	7182
C55	1278	1579	19,06	28,19	248	6991
C56	1543	1579	2,27	2,3	1994	4586
C57	1579	1579	0,00	0,00	1025	0
C58	716	1579	54,65	97,70	2054	200676
C62	874	1878	53,46	95,19	149	14183
C63	1078	1878	42,59	72,81	974	70917
C64	1381	1878	26,46	41,52	1278	53063
C65	1109	1878	40,94	69,49	442	30715
				49,10 t/ha/an	24063 ha	1181562 t/an

Tableau 1 (suite) : Résultats de mesures du Cs137 et calculs des pertes en terre dans les 43 unités homogènes du bassin versant El Hachef

La dégradation spécifique du bassin versant est de 49,10 t/ha/an, ce qui montre l'ampleur des dégâts causés par l'érosion sur les ressources en sol dans cette région.

L'étude de la dégradation spécifique, dans le bassin voisin (Tlata), obtenue via les modèles empiriques, montre des taux d'érosion plus faibles que dans le bassin El Hachef (28 t/ha/an, Lahlou A. 1994) et 32,49 t/ha/an (Dahman (1994)). Mais en 1989, une campagne de bathymétrie réalisée par l'Hydraulique dans le barrage Ibn Battota (bassin de Tlata) a mesuré 47,19 t/ha/an (Merzouki 1992). Les résultats au Cs137 obtenus dans le bassin El Hachef sont donc concordants avec la bathymétrie de ce barrage et montrent que le Cs137 constitue un outil précieux de diagnostic de l'érosion.

Analyses des résultats en fonction des conditions d'érosion

Effet de la pente

D'après les résultats isotopiques, les classes de pentes 15-25% et 0-15% favorisent l'érosion, avec des taux de contribution à l'érosion successifs de 37 % et 41%. Ces valeurs importantes laissent présager un rôle déterminant dans le processus d'érosion. Tout aménagement antiérosif doit donc avoir comme objectif la diminution de l'énergie de ruissellement des terrains en pente faible à moyenne, en particulier dans les plaines où il y a des ravins qui déversent leurs eaux dans la retenue du barrage.

Classes des Pentes (%)	Surface (ha)	S (%)	Perte moy. (t/ha/an)	Perte totale (t/an)	Pourcentage de perte (%)
25 et plus	3955	17,35	78,40	310072	22
15 - 25	10301	45,19	50,97	525042	37
0 - 15	8534	37,44	69,15	590109	41

Tableau 2 : Contribution des classes des pentes dans la dégradation spécifique moyenne du bassin versant El Hachef

Effet du couvert végétal

Les terrains de parcours (qs+M) constituent la zone la plus sensible à l'érosion (41%) suivis par les terrains de cultures (C, 39%). Ces résultats montrent que les terrains de parcours ne protègent pas le sol comme on s'y attendait et qu'il n'y a pas de différence avec les terrains de cultures, ce qui laisse supposer l'existence d'une interaction avec d'autres facteurs qui restent à identifier. Par contre les reboisements, la subéraie dense (Qs+M) et le matorral conservé (M) montrent bien qu'ils constituent des moyens biologiques de lutte efficace contre l'érosion.

Occupation des sols	Surface (ha)	S (%)	Perte moyenne (t/ha/an)	Perte totale (t/an)	Pourcentage de perte (%)
Qs + M	1943	9	9,26	17992	1
qs + M	6247	27	86,45	540053	41
M	4706	21	27,56	129697	10
m	2162	9	56,31	121742	9
C	7573	33	67,21	508982	39
RE	151	1	14,67	2215	0

Tableau 3 : Contribution de chaque classe d'occupation des sols dans la dégradation spécifique du bassin versant

Effet de la lithologie

D'après le tableau 4, il ressort que les substrats gréseux contribuent le plus à l'érosion (39%). Les faciès les plus érodibles de ce bassin versant restent les terrains quaternaires, les argiles (TEA) et les marnes (TEC) du Crétacé. Ceci veut dire que la dureté lithologique de la roche mère ne nous renseigne pas sur le processus d'érosion et laisse supposer une interaction de la lithologie avec d'autres facteurs d'érosion. Parmi ces facteurs on peut citer : la nature des sols, la charge caillouteuse, la vitesse de percolation, la raideur de la topographie, la pluviosité et la pratique culturale. Ainsi, il n'est pas possible de mettre en évidence le seul rôle de la lithologie sur l'érodibilité des sols et il faut étudier ce facteur d'une façon combinée avec d'autres facteurs de l'érosion pour pouvoir dégager ses effets sur la dégradation des sols.

Lithologie	Surface (ha)	S (%)	Perte moy. (t/ha/an)	Perte totale (t/an)	Pourcentage de perte (%)
Quaternaire	2923	13	72,19	211003	17
Dépôts de pente	3360	15	60,60	203616	17
Grès numidiens et du Hapt (G)N+HA	8437	36	56,33	475256	39
Flysch de Talaa lakraa (G)TL	1610	7	41,52	66847	5
Argiles Crétacé, unité de Tanger externe TE(A)	1022	4	69,13	70653	6
Marnes et calcaires du Crétacé TE©	2939	13	68,03	199940	16
Argiles et marnes non différenciées TE	2687	12	1,15	3090	0

Tableau 4 : Contribution de chaque classe de lithologie dans la dégradation spécifique du bassin versant

CARTOGRAPHIE DES ZONES VULNERABLES A L'EROSION

La carte des pertes en terre, élaborée à partir des mesures au Cs137 (fig.3), montre que la partie Nord du bassin versant constitue la principale source d'érosion. Ainsi, on constate que les taux les plus élevés de la dégradation des sols, compris entre les classes 40-60 et supérieur à 140 t/ha/an, sont situés dans la partie Nord du bassin versant. Ces zones sont réparties entre des terrains de culture à l'est, des terrains forestiers et de pâturage à l'ouest. Les premiers correspondent aux sols cultivables nécessitant des aménagements importants, particulièrement des plantations d'arbres fruitières. Par contre, on remarque vers le nord ouest qu'il y a des terrains couverts de végétation sur une roche mère gréseuse ne pouvant servir qu'à des périmètres de reboisements. La partie sud du bassin versant connaît les plus faibles taux d'érosion (inférieurs à 40-60t/ha/an) dus à l'importance de la végétation naturelle dans cette région où dominent de fortes pentes (pentes supérieures à 25%). Pour sauvegarder cette région contre les défrichements et le surpâturage, des actions de reboisements et de mise en défens sont obligatoires.

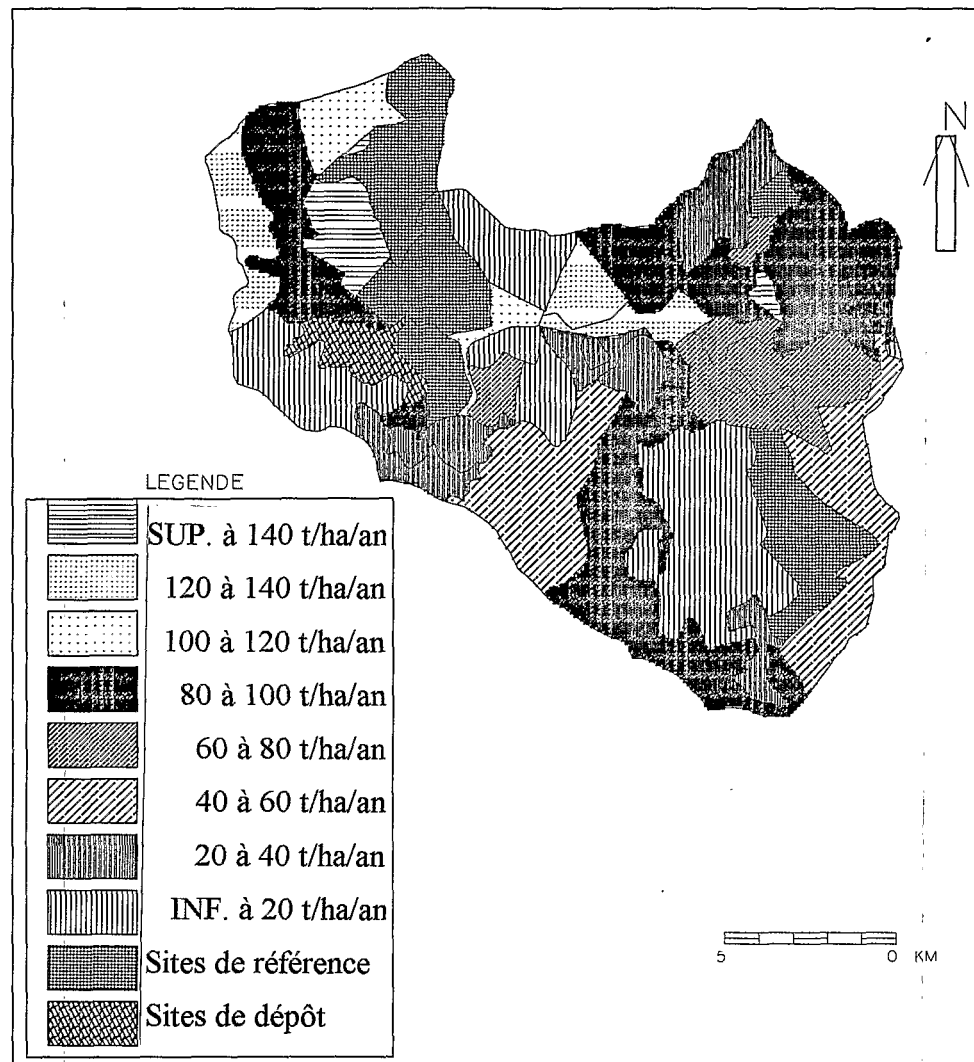


Figure 3 : Carte des classes de pertes en terre.

CONCLUSION

L'application de la méthode du Cs137 aboutit à délimiter les zones d'érosion qui sont surtout situées dans la partie Nord Est du bassin versant. De plus, cette méthode a pu calculer la dégradation spécifique du bassin El Hachef (49,10t/ha/an) qui témoigne de la sévérité du phénomène d'érosion sur ce bassin versant. Ce résultat ne doit pas être pris en valeur absolue, étant donné que le modèle n'est pas encore calibré à l'échelle régionale. De plus, ces résultats n'ont pas tenu compte de la précision à l'échelle du temps et de l'espace des paramètres étudiés. Cette incertitude, d'appréciation des facteurs d'érosion, peut atteindre 15% (Kachanoski, 1984). Cette méthode a donné des résultats proche des mesures bathymétriques effectuées sur le barrage Ibn Battota, dans le même contexte physique et biologique de la région de Tanger, ce qui constitue un résultat très prometteur.

Toutefois, cette méthode n'a pas permis de cerner les facteurs responsables des processus de l'érosion, notamment le rôle de la lithologie. Pour y arriver, il est indispensable de calibrer le modèle de Ritchie et al. au contexte local et régional avec des mesures d'érosion sur parcelles expérimentales en la combinant, le cas échéant, avec l'approche de susceptibilité magnétique

qui vise à identifier les zones sources de sédiments (Dearing et al.1985 ; Olfield et al., 1986 ; Moukhchane et al. 1998).

Cette étude du bassin versant d'El Hachef laisse présager une panoplie d'actions pour enrayer ce phénomène d'érosion : une exploitation rationnelle de la forêt, l'interdiction des défrichements abusifs du matorral et la lutte contre le ravinement des berges des oueds et des routes. Cependant, ces interventions resteront insuffisantes si on n'encourage pas la population à préserver leur capital naturel. Parmi les solutions envisageables on peut citer l'introduction d'outils mécaniques améliorant la productivité des terres, le développement de l'apiculture et, pour diminuer la pression sur le couvert végétal, l'introduction des fours améliorés ou l'utilisation du biogaz.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AZENFAR A., 1993. Conjugaison de la méthode du Cs-137, 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, ENFI, Salé, Maroc.116p.
- BERNARD C., 1991. Le Césium-137, outil de recherche sur l'érosion. Réseau érosion, ORSTOM, Montpellier, 11 : 15-24.
- BOUHLASSA S., AZENFAR A., MACHRROUH A., 1995. Caesium fallout as tracer of erosion-sedimentation in big catchment. Applied Radiation and Isotopes, Vol. 46, n° 6/7, p259.
- CRIA., 1989. Etude d'aménagement du barrage de l'oued El Hachef, 14 p., 7fig.
- DAHMAN H., 1994. Modélisation des pertes en sol par l'érosion hydrique basée sur l'utilisation d'un SIG et des images satellitaires Spot (XS). Application au Bassin Versant de Tlata (Rif occidental). Mémoire de 3^{ème} cycle I.A.V. Hassan II. +130p.
- DEARING J.A., MAHER B.A., OLFIELD F., 1985. Geomorphological linkages between soils and sédiments : the role of magnetic measurements. In : Geomorphology and soils. K. Richards (ed), London : London : George Allen and Unwin, 245-265.
- EI MESLOUHI M.R., LIMAM M.N., TABIT A. 1993. Application de la télédétection l'étude des sols dans le bassin versant de l'Oued Hachef. Rev. Eau et Développement, DRPE Rabat, 15 : 18-23.
- IAEA, 1995. Use of nuclear techniques in studying soil erosion and siltation. IAEA-tecdoc-828, Vienna, Austria. 203p.
- KACHANOSKI R.G., 1987. Comparison of measured soil Cs-137 losses and erosion rates.Can. J. Soil Sci. 67 : 215-526.
- LAHLOU A, 1994. Envasement des barrages au Maroc. Edit. SMD Wallada, 286p.
- LAHLOU Y., 1997. Erosion dans le bassin versant du barrage sidi Driss : Méthodologie d'approche et quantification (cas du bassin versant Mhasser). Diplôme d'Etudes Supérieures. Fac. Sc. Rabat (Maroc), 161p.
- LOUGHRAN R.J., CAMPBELL B.L., ELLIOT G.L., SHELLY D.J., 1990. Determination of the rate of sheet erosion on grazing land using caesium-137. App. Geogr. , 10:125-133.

- MAHMOOD H., 1987. Reservoir sedimentation. World Bank, Washington
- MERZOUKI T., 1992. Diagnostic de l'envasement des grands barrages marocains. La Revue marocaine du Génie civil, 38 : 46-50.
- MOUKHCHANE M., BOUHLASSA S., CHALOUAN A., 1988. Approche cartographique et magnétique des zones sources de sédiments dans le bassin versant du barrage Nakhla (Rif). Communication à la 7^{ème} rencontre des Géomorphologues sur les Bassins versants et Aménagement. Faculté L. S. H. Mohammadia. 18-20/03/ 1988 ; 13 p.
- RITCHIE J.C., SPRABERRY J.A., MC HENRY J.R., 1974. Estimating soil erosion from the redistribution of fallout Cs-137. Soil Sc. Soc. Am. Proc. , 38 : 137-139.
- RITCHIE J.C., MCHENRY J. R., 1990. Application of Radioactive Fallout Caesium-137 for measuring Soil Erosion and Sediment Accumulation Rates and patterns : A Review. J. Environ. Qual. , 19 : 215-233.
- WALLING D.E., QUINE T.A., 1990. Calibration of Cs-137 measurements to provide quantitative erosion rate data. Land Degradation and Rehabilitation, vol. 2 : 161-175.
- WALLING D.E., QUINE T. A., 1993. Use of Caesium as a tracer of Erosion and Sedimentation : Handbook for the application of the Caesium -137 Technique. Dep. of Geography, University of Exeter.