

# DIFFERENTES METHODES D'ESTIMATION DE L'EROSION DANS LE BASSIN VERSANT DU NAKHLA (RIF OCCIDENTAL, MAROC)

**Moukhchane M.**

1LG, ENS, B.P.209, Tétouan, Maroc. Fax: (39) 97 91 80, : moukhchane@ caramail.com .

---

## Résumé

Cette étude a été effectuée dans le bassin versant Nakhla, situé à 20 km au sud de Tétouan et de superficie de l'ordre de 11 000 ha. Elle vise d'abord à caractériser la région de point de vue climatique, topographique, lithologique et d'occupation des sols ensuite à procéder à une quantification des pertes en sols et son impact sur la capacité de stockage d'eau du barrage Nakhla. Les résultats de cette étude ont montré que ce bassin versant est caractérisé par un climat agressif, des classes de pente très raides, une lithologie tendre et très diversifiée, des terrains de cultures vivrières et d'arboriculture (37.1% du total du bassin). La superposition des cartes des paramètres physiques et biologiques du bassin a permis de dresser une carte de sensibilité à l'érosion. Cette carte a montré que les terrains les plus sensibles à l'érosion (42%) coïncident en général avec les terrains de cultures et les sols argilo-marneux de la partie centrale et méridionale du bassin.

L'étude des processus d'érosion a fait appel, durant les 2 dernières décennies, à une panoplie de techniques de quantification de l'érosion : bathymétrie, turbidimétrie (débit solide), parcelles expérimentales et méthode de césium 137. Ces approches ont montré que la retenue du barrage Nakhla est soumise à des atterrissements de sédiments importants dus à l'érosion du bassin versant. L'analyse des résultats de bathymétrie a montré un envasement minimum de 47% de la retenue du barrage et une perte moyenne en terre, au niveau du bassin versant, de 18.8 t/ha/an. Les études complémentaires de quantification dans le bassin versant ont donné des résultats très contrastés, variant entre ceux des parcelles expérimentales (1.1 t/ha/an) et ceux de la méthode de Césium 137 (39,6 t/ha/an selon le modèle de Ritchie et 16.6 t/ha/an selon le modèle de Walling). Cette variation de résultats s'explique par le fait que les parcelles expérimentales ne tiennent compte que de l'érosion en nappe dans les versants cultivés, la turbidité évalue les taux de matière en suspension et pas les matériaux charriés ou retenus dans les champs et les plaines alluviales, la bathymétrie et la méthode de césium 137 donnent un bilan global de pertes en terre dans le bassin versant.

**Mots-clés : Maroc, Rif occidental, Sensibilité à l'érosion, Dégradation spécifique, Bassin versant, Barrage Nakhla.**

## Abstract

This study has been undertaken in the Nakhla watershed, located at 20 km to the south of Tetuan city and which area is 11 000 ha. It consists first in characterizing the climatic, topographic, lithologic and use land parameters of this region and to proceed to quantify soil

losses and its impact on the capacity of the water storage in the Nakhla dam. The results of this study have shown that this watershed is characterized by a hard climate, a abrupt slope angle (essentially upper than 9 %), a soft and diversified lithology, croplands and fruit trees area (37.1% of the total area of the watershed). The overlay of physical and biological parameters of the watershed has allowed to make up a risk erosion map which shows that most erosion region (42%) coincides in general with cropland and clay-marly lithology of the central and southern part of the watershed.

The study of erosion process has used, also, during the last 2 decades, some quantification erosion techniques: bathymetry, turbidimetry (solid flow), experimental plots and caesium-137 method. Analysis using bathymetric data has shown that there is an important filling of dam reservoir (47%) with sediment, and the soil loss rate upstream the dam, is **18.8 t / ha / year** . Complementary studies have given very contrasted results, varying between experimental plots results (**1.1t/ ha /year**) and the caesium137 technique results

(**39,6 t / ha / year** according to the Ritchie model and **16.6 t / ha / year** according to the Walling model).

This variation of erosion rates could be explained by :

- ✓ the experimental plots which measures only the sheet erosion in cropland,
  - ✓ the turbidimetry which estimates the suspension sediments without taking in consideration the carried out sediments, sediments retained in the field and the congestion alluvial plains,
  - ✓ the bathymetric and caesium 137 methods which gave a general soil loss rate of watershed.
- 
- ✓ **Key Words : Morocco, Erosion risk, Soil loss rate, watershed, Nakhla dam, western Rif**

## 1- INTRODUCTION

L'érosion des sols dans la chaîne du Rif, au nord du Maroc, est très importante et affecte d'une manière sérieuse la pérennité des ressources pédologiques et hydriques notamment la longévité des retenues des barrages et la recharge des nappes aquifères.

L'érosion réduit les surfaces cultivables et la pérennité du sol par les pertes des éléments fertilisants, estimés à **70Euro/ha/an** (étude du bassin Tlata (Laabdi, 1979) qui s'ajoutent au problème de la mauvaise utilisation des sols. Mais les plus importants impacts à travers le monde sont l'augmentation des charges des sédiments transportés par les réseaux hydrographiques qui envasent les retenues de barrages et leur équipement annexes.

Au Maroc, la sédimentation dans les retenues de barrages provoque une perte équivalente à 700 millions de m<sup>3</sup>, soit une diminution de l'ordre de 0.5% par an de la capacité totale des barrages, qui est de 14 milliards de m<sup>3</sup>, ce qui se traduit par une perte de 600 ha/an de terres irriguées en moins (Boutaib, 1988). Dans le monde, les barrages perdent annuellement en moyenne 1% par an de leur capacité de stockage, ce qui représente un coût de l'ordre de 6 billions de dollars (Mahmoud, 1987).

A cause de ce fléau, l'étude de l'envasement des barrages au Maroc a montré que les barrages situés dans la chaîne rifaine connaissent les taux les plus élevés de dégradation des sols (Tableau, 1). A cause de la dégradation des sols, le barrage construit sur le bassin Nakhla qui est destiné à l'alimentation en eau potable de la ville de Tétouan, a perdu la moitié de sa capacité de stockage en 41 ans, c'est ainsi que ce bassin est considéré comme parmi les bassins versants prioritaires dans la politique d'aménagement de l'Administration des Eaux et Forêts.

Nom du barrage	% en vase	Nom du barrage	% en vase
Mohamed B.A.El Khatabi	16%*	Hassan Eddakhil	6%*
Ibn Battota	12.8%	Mansour Ed Dahbi	11%*
Nakhla	47%	Al Massira	3%
Oued El Makhazine	4%	El Kansera	20%*
Moulay Youssef	11%	Mohamed V	35%*
Lalla Takerkoust	23%	Youssef Ben Tachefine	5%
Idriss 1er	2.3%	S. Mohamed B. Abdellah	4.5
Bine El Ouidane	7%	Abdelmoumen	0.6%

**Tableau 1- Pourcentage de remplissage en vase/ à la capacité initiale des 16 grands barrages analysés (situation en 1991) (Lahlou, 1994).**

## 2-METHODES DE QUANTIFICATION DE L'EROSION

La quantification de l'érosion fait appel à de nombreuses méthodes mises au point à travers le monde et qui se résument comme suit :

- ✓ Méthodes de bathymétrie,
- ✓ Parcelles expérimentales,
- ✓ Etude des griffes de l'érosion avec ou pas d'utilisation du SIG et de Télédétection,
- ✓ Débits solides et l'étude des turbides,
- ✓ Etude des radios nucléides,
- ✓ Modélisation de l'érosion par la méthode de Wischmeier (USLE, MUSLE ou RUSLE).

---

\* : tranche morte remplie.

Ces méthodes laissent apparaître un certain nombre d'erreurs qui limitent la spatialisation des équations des pertes en terre (BONN, 1998) car :

- ✓ les sédiments générés par l'érosion peuvent être retenus par des trappes à différents endroits du bassin ;
- ✓ les sédiments qui atteignent les retenues des barrages sont constitués par un mélange de sédiments érodés sur les versants et les produits arrachés par sapement de berges ;
- ✓ enfin la distribution spatiale des précipitations n'est pas uniforme en particulier dans les zones montagneuses et par suite il faut vérifier l'homogénéité de la répartition spatiale des chutes de  $^{137}\text{Cs}$ .

Pour faire face à ces facteurs limitants, il faut envisager d'abord une bonne compréhension des processus impliqués dans le processus d'érosion à l'échelle locale et régionale avant de passer à la généralisation de ces méthodes de quantification. Ainsi la fiabilité de ces techniques permettra d'entreprendre sur tous les plans socio-économiques, pédologiques et forestiers une planification spatio-temporelle de la lutte anti-érosive des bassins versants endommagés.

### 3-RESULTATS DE QUANTIFICATION DE L'EROSION DU BASSIN VERSANT NAKHLA

#### 3.1-Caractéristiques physiques

##### 3.1-1 Données générales

Ce bassin versant est situé à 20Km de Tétouan sur la route qui mène à Chefchaouen. Il a une superficie de de l'ordre de 11000 ha et abrite une population de 8000 habitants. Il est situé entre la dorsale calcaire à l'Est et les flyschs de Tisirène à l'Ouest.

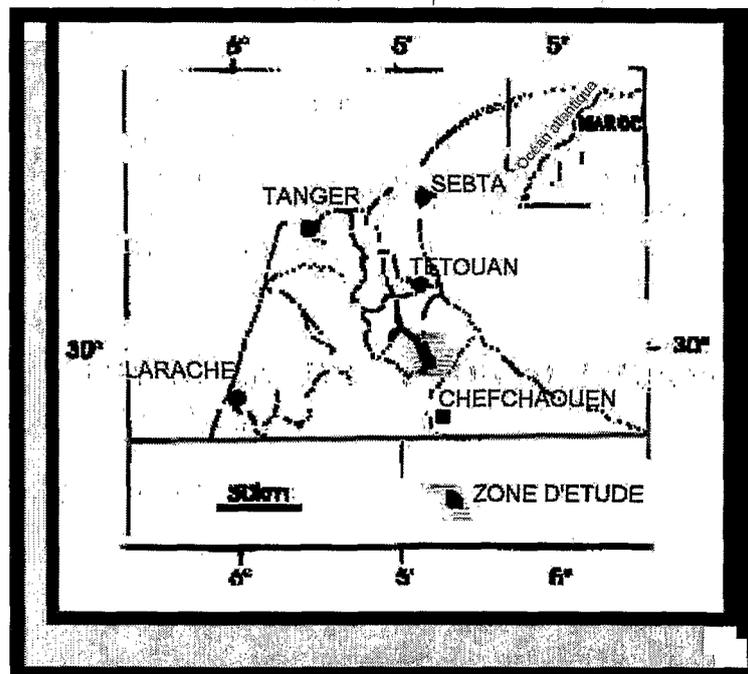


Figure 1 : Carte de situation du bassin versant Nakhla

Au milieu de ce bassin se trouve Oued Nakhla qui traverse les flyschs tendres de l'unité de Tanger. A l'extrémité nord du bassin on a construit en 1961 un petit barrage de 9Mm<sup>3</sup> appelé barrage Nakhla.

Le climat est du type méditerranéen, la pluviosité moyenne annuelle enregistrée au niveau de la station de Timezouk est de 772 mm et la température moyenne annuelle est de 17.7°C.

La distribution des classes de pentes obtenues par le système d'information géographique (SIG) montre trois (3) classes de superficies variant entre 452 et 3974ha.

Classes de pentes	Surface en ha	Surface en %
>25%	3974	36.3%
9-25%	6502	59.6%
0-9%	452	4.1%
<b>Total</b>	<b>10928</b>	<b>100%</b>

**Tableau 2 : Classes des pentes**

Ce tableau montre que se sont les pentes moyennes (9-25%) qui dominent et que les plaines de faible pente (0-9%) sont rares.

### **3-1-2-Lithologie et pédologie :**

L'étude du bassin versant a permis de distinguer d'Est en Ouest :

La dorsale calcaire constituée d'écailles calcaréo-dolomitiques qui sont caractérisées par une désagrégation mécanique et une altération chimique donnant des sols argileux.

Les flyschs arilgilo-pélitiques de l'unité de Tanger qui sont le siège du phénomène de ravinement, de solifluxion et de coulées boueuses. Le sol a une texture argileuse qui constitue, au bord de l'oued Nakhla, les terrains les plus labourés de la région.

Les grès et les pélites de l'unité de Tisirène qui affleurent au Nord du bassin ainsi que les grès et conglomérats de la nappe d'Ametrasse – Bettara située au Sud au niveau du Jbel Timezouk et au douar Bettara sont le siège de glissement de terrains importants et s'altèrent en sols à texture sableuse.

Enfin un manteau de formations superficielles qui couvre la partie ouest de la dorsale calcaire montrant une érosion par ravinement très limitée à cause de la végétation.

### **3-1-3-Végétation**

La principale espèce végétale est le chêne liège éparpillée à l'intérieur des périmètres reboisés en pin ou plantés en oliviers. Il faut ajouter à ces espaces une forêt et un matorral. La distribution de l'occupation des sols est la suivante :

Occupations des sols	Surface (ha)	S (%)
Forêt	7 79	7
Matorral arboré	1560	14.2
Matorral	987	9
Arboriculture et Habitats	174	1.5
Terrains de cultures	3889	35.6
Reboisement	904	8
Affleurements rocheux	2727	24

**Tableau 3 : Distribution d'occupation des sols.**

### *3-1-4-Carte de sensibilité à l'érosion*

La superposition des cartes de lithologie, occupations des sols et classes de pente a permis d'établir une carte de sensibilité à l'érosion dont la répartition des classes de sensibilité est la suivante :

D'après les figures 2 et 3, la zone prioritaire d'intervention en terme de lutte anti-érosive est constituée principalement par les terrains de cultures dont la superficie s'élève à **4324.8**.ha soit **42%** de la superficie du bassin Nakhla.

La zone à faible sensibilité à l'érosion est répartie entre les zones protégées par la forêt et le matorral arboré (**26%**) et les terrains incultes (**21%**) constitués par la dorsale calcaire (figure 3).

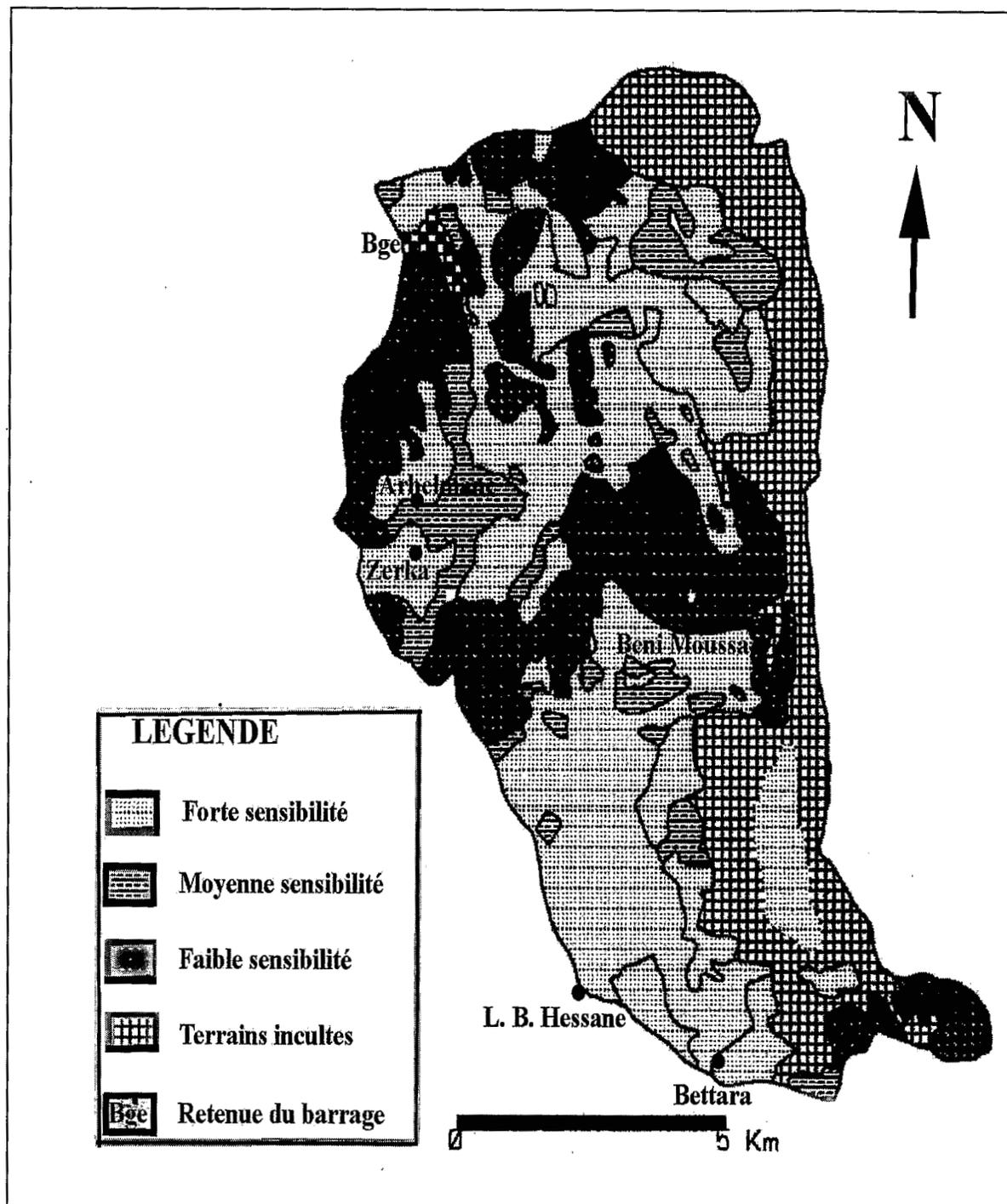
### *3-1-5- Méthode du Césium 137*

Cette étude d'érosion potentielle qui constitue la base actuelle de tout aménagement des bassins versants a été complétée par une étude de quantification de l'érosion par la technique du <sup>137</sup>Cs (Moukhchane, 1999. Cette approche consiste à découper la carte de sensibilité à l'érosion en plusieurs unités homogènes de lithologie, d'occupations des sols et de classes de pentes. Puis chaque aire a fait l'objet d'un échantillonnage par un carottier de 50 cm de long et 5,5 cm de diamètre. Les carottes obtenues ont aussi fait l'objet d'un traitement spécial et des mesures d'activités du <sup>137</sup>Cs à l'aide d'une chaîne spectrométrique.

Les pertes en césium 137 déduites de la différence entre les activités enregistrées aux niveaux des terrains stables (forêt ou matorral arboré) et les terrains érodés (terrains de culture ou de pâturage) permettent de calculer les pertes en sols selon une relation perte en sols (Yen t/ha/an) en fonction des pertes en Césium 137 (X en %).

$$Y = 0.87 * X^{1.18}$$

Avec un coefficient de corrélation R= 0.87.



**Figure 2 : Carte de sensibilité à l'érosion**

Cette carte est insuffisante à cerner le problème de la dégradation des sols qui nécessite, outre la classification des risques d'érosion, une classification des zones sources de sédiments, une caractérisation des processus d'érosion (érosion en nappe, érosion par ravinement, mouvement en masse, sapement de berges, ...) et une étude de distribution spatiale de perte en terre pour faciliter l'intervention anti-érosive des aménageurs . Cependant, ce travail reste incomplet si on n'intègre pas l'étude des facteurs d'érosion car tout aménagement passe d'abord par l'analyse de ces facteurs (naturels ou anthropiques) ensuite par la formulation de propositions opérationnelles propres à chaque situation.

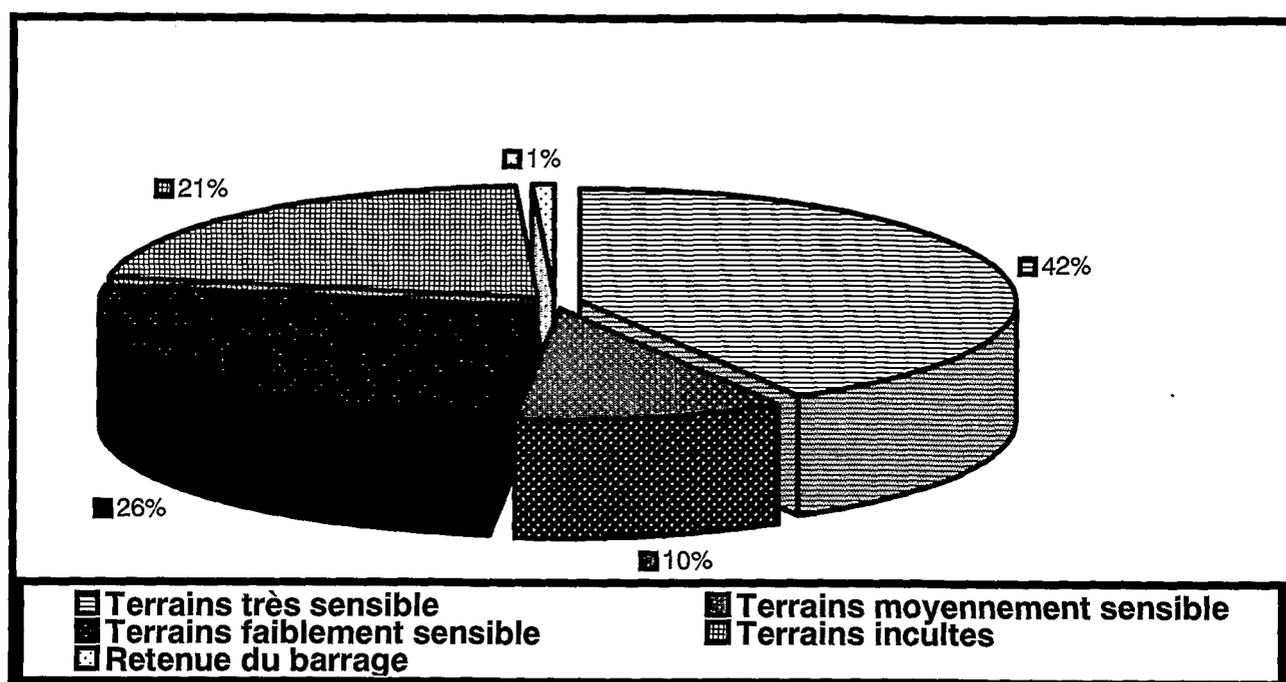


Figure 3: Distribution des classes de sensibilité à l'érosion

### 3-2- Résultats de quantification de l'érosion

#### 3-2-1-Bathymétrie

##### 3-2-1-1- Méthode

Le principe est basé sur la vitesse de propagation du son dans l'eau ; l'impulsion ultrasonore émise et renvoyée est enregistrée par le sondeur. Cet appareil existe sous plusieurs types adaptables aux différentes gammes de profondeurs. Dans un intervalle de 0 à 40m de profondeur de l'eau, l'échelle utilisée est de 1 mm sur le papier représentant 135 mm d'eau, ce qui donne une marge d'erreur acceptable.

##### 3-2-1-2- Résultats

Année	1961	1967	1979	1987	1994	1996	Moy./35
Vol. (Mm <sup>3</sup> )	9.00	8.419	7.087	6.988	5.77	4.920	
Env. total (Mm <sup>3</sup> )	0.581	1.332	0.099	1.258	0.86		4.13
Env. moy. (Mm <sup>3</sup> /an)*	0.0968	0.111	0.012	0.179	0.43*		0.118
Érosion (t/ha/an)	12.43	14.25	1.541	22.99	55.23		DS=15.15

Tableau 4- Calcul des taux moyens de l'érosion du bassin versant Nakhla

(Hydraulique, 1996) Modifié.

\* densité est égale à 1.4 déterminée par Laabdi en 1978 lors d'une étude sur les vases du barrage Ibn Battota dans des conditions lithologiques similaires à celles du bassin Nakhla- Surface du bassin versant égale à 10900 ha

La valeur d'envasement varie entre **1.541** et **55.23** t/ha/an, mais la valeur moyenne de dégradation spécifique des sols (DS), durant 35 ans de mise en service du barrage, est **15.15T/ha/an**.

Cette valeur a été corrigée, en utilisant la méthode de Brune (1953), qui donne un pourcentage de sédiments lâchés par le barrage. Ce facteur de correction en terme de t/ha/an correspond à la quantité de sédiments lâchés par le barrage et qui sont calculés à partir du rapport (capacité de stockage du barrage /apport moyen annuel en eau. Dans ce cas du barrage Nakhla la capacité du barrage est  $9.10^6$  m<sup>3</sup> et l'apport moyen annuel calculé par Echhab (1990) est  $45. 10^6$  de m<sup>3</sup> ce qui donne un rapport de **0.20**.

En se référant à la courbe de Brune, le volume des sédiments piégés par le barrage est à peu près égal à 80% . Autrement dit, les valeurs de la dégradation spécifique, déterminées à partir de l'envasement, doivent être majorées de 20%, ce qui ramène la valeur moyenne de la dégradation spécifique du bassin versant à **18.8** t/ha/an.

### **3-2-2-Résultats des parcelles expérimentales**

#### **3-2-2-1-Dispositif expérimental :**

La parcelle, de 22m de longueur et de 5m de largeur, est équipée, d'un collecteur de 1m<sup>3</sup> recueillant l'eau de ruissellement et les sédiments, et d'un enregistreur de précipitation électronique "Data Logger" donnant les hauteurs de pluies toutes les 5, 10 ou 15 mn.

#### **3-2-2-2-Résultats obtenus et discussion :**

<b>Années et N° des parcelles</b>	<b>1997-98</b>	<b>98-99</b>	<b>99-2000</b>	<b>2000-01</b>	<b>Moyenne T/ha/an</b>	<b>Erosion T/ha/an</b>
<b>1</b>	3.30	0.027	2.820	2.142	2.072	<b>1,158</b>
<b>2</b>	2.50	0.020	1.600	1.239	1.340	
<b>3</b>	1.50	0.023	1.200	1.765	1.122	
<b>4</b>	1.50	0.035	1.200	1.627	1.090	
<b>5</b>	0.26	0.026	0.220	0.161	0.167	

**Tableau n° 5 : Taux d'érosion des sols des parcelles de Larbaa Beni-Hessane**

(Source : SAFBV-Tétouan) ( in Rouissa, 2002) modifié

L'ensemble des opérations (mesures, prélèvement et séchage) a été suivi d'une façon régulière par le Service d'Aménagement des Forêts et des Bassins Versants de Tétouan (SAFBVT) durant la période 1997-2001 et les résultats sont présentés dans le tableau 6.

De ce tableau on peut déduire que la dégradation des sols est en moyenne de **1,158T/ha/an** soit **6.2** % de la valeur moyenne de dégradation des sols enregistrée dans la retenue du barrage Nakhla . Ce résultat signifie, dans ce cas, que l'érosion dans les champs cultivés des parcelles de Larbae Bni Hessane est essentiellement une érosion en nappe et n'englobe pas tous les processus d'érosion qui interviennent dans ce bassin ( ravinement, bad-land, sapement de berges, glissement de terrains,..).Ce résultat nous renseigne, sur l'effet de la mise en culture des terres dans le milieu montagnard rifain mais il reste insuffisant pour cerner l'ensemble des processus d'érosion qui se conjuguent pour envaser les retenues de

barrage et s'attaquer à la fertilité des sols. Cette technique, ne pouvant donc être utilisée seule, devrait être complétée par au moins une autre méthode de quantification fiable pour appréhender les taux d'érosion à l'échelle d'un bassin.

### 3-2-3-Appports des mesures turbidimétriques

L'analyse des transports solides a été effectuée à partir de 68 échantillons prélevés durant les années 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995 et 1996 par l'Administration de l'Hydraulique au niveau de la station de Timezouk en amont de la retenue du barrage..

L'étude de la relation entre les débits solides ( $Q_s(Kg/s)$ ) et les débits liquides ( $Q_l(m^3/s)$ ) ( $Q_s = 0.71 Q_l^{1.75}$  avec  $R^2 = 0.96$ , El Ouadini et al., 2000) pour la période 1979-1996 a permis de calculer les taux de dégradation des sols et d'appréhender la production des sédiments au niveau de la station hydrométrique de Timezouk ; celle-ci qui draine seulement 43.3% de la superficie totale du bassin montre des valeurs qui dépassent celles enregistrées au niveau de la retenue du barrage.

Années	Envasement du barrage $Mm^3$	Apports solides au niveau de la station de Timezouk $Mm^3$	Rapports
1987-1994	1.25	1.23	0.98
1994-1996	0.86	1.17	1.36 *

**Tableau 6 : Calcul du rapport des apports solides entre le barrage et la station de Timezouk. (Tayaa, 1997) modifié**

Ce tableau montre que les terrains de cultures ou plantés d'arbres fruitiers qui occupent une grande superficie du bassin et qui sont situés en amont de cette station hydrométrique produisent presque la totalité des sédiments qui envasent le barrage. Toutefois ces vases qui comblent la retenue du barrage ne peuvent pas venir uniquement des versants cultivés et des terrains d'arboriculture, comme il a été prouvé par les résultats des parcelles expérimentales de Larbae Beni Hessane, mais elles peuvent provenir, en grande partie, des processus d'érosion qui attaquent le réseau hydrographique tels les sapements de berges, le ravinement et les glissements de terrain.

### 3-2-4-Apport de la technique du $^{137}Cs$

Les résultats, obtenus dans le cadre de l'étude effectuée dans le bassin Nakhla des activités de  $^{137}Cs$  selon le modèle de Ritchie et MC Henry (1990), ont montré que la dégradation spécifique moyenne de perte en terre est de 39.6 t/ha/an avec un maximum enregistré au niveau des terrains de cultures. Ce résultat est surestimé (Bouhlassa et al, 2000), malgré qu'il constitue une estimation globale importante de l'érosion à l'échelle du bassin versant. L'écart enregistré entre ce modèle et la méthode de bathymétrie nous a poussé à employer d'autres modèles tels que proportionnel model, simplified mass balance (Walling et al. 1997) et le modèle dérivé du constant Rate supply (Appelby et al., 1978) Ces 3 modèles

\* Cette valeur montre que les sédiments qui transitent par la station hydrométrique de Timezouk sont piégés en partie dans une (ou plusieurs) plaine (s) alluviale(s) située (s) entre celle-ci et la retenue du barrage.

tiennent compte de la distribution du  $^{137}\text{Cs}$  dans la couche de labour, de la mobilisation ou de la dilution du taux de  $^{137}\text{Cs}$  dans cette couche et permettent ainsi de recalculer les taux d'érosion dans les terrains de cultures. Cette approche a montré que le modèle proportionnel s'applique mieux au calcul des taux d'érosion que le modèle de Ritchie et les valeurs obtenues dans le bassin Nakhla ne dépassent pas en moyenne la valeur de **16.66 T/ha/an**. Ce résultat montre une diminution de la concentration du  $^{137}\text{Cs}$  dans les sols des terrains de cultures à cause de l'effet de dilution et par conséquent des taux de pertes en sols moins importants.

En conclusion, la méthode de césium 137 constitue une technique de diagnostic global pouvant hiérarchiser, dans une courte période, les zones sensibles à l'érosion. C'est, aussi, une méthode qui donne des indications sur la variation spatiale de distribution des sols

Cette technique par comparaison avec la bathymétrie, les parcelles expérimentales et la méthode de turbidité, est moins encombrante et plus rapide à réaliser.

## CONCLUSION

Le bassin de Nakhla connaît des dégradations des sols variant entre **1.1 t/ha/an** et **18,8 t/ha/an** ; il y a lieu de s'interroger sur la méthode ou les méthodes les plus fiables pour étudier les processus de l'érosion.

Cette variation du taux d'érosion peut être expliquée par le fait que les parcelles expérimentales ne mettent en évidence que le résultat de l'érosion en nappe et par conséquent on ne peut pas utiliser ces parcelles de mesures de l'érosion et le modèle de Wischmeir (USLE) pour mesurer la sédimentation dans les retenues de barrage, mais plutôt la méthode du débit solide au niveau de l'entrée du barrage ou la méthode du césium 137. En effet la quantité de sédiments qui envase le barrage provient non pas des versants cultivés mais de l'oued, des sapements de berges, des ravines et des glissements de terrain..

Cette méthode de parcelles expérimentales se trouve, aussi, désavantagée par le nombre de parcelles expérimentales qui augmente avec l'hétérogénéité du milieu. Les résultats obtenus ne sont pas représentatifs d'un bassin versant et nécessitent un suivi durant une longue période

Les mesures de la turbidité revêtent un grand intérêt car elles permettent de classer les sous-bassins d'un versant en terme de contributions dans l'envasement du barrage et de là indiquer les zones prioritaires d'intervention anti-érosive. Toutefois, cette méthode ne permet pas de rendre compte de l'érosion en nappe dans les champs cultivés, ne tient pas compte des matériaux charriés le long de l'oued et des ravines et nécessite une banque de données difficile à obtenir.

Quant à la méthode de césium137, elle reste une méthode de diagnostic global de l'érosion dans un bassin et se distingue par rapport aux autres méthodes de quantification par sa faisabilité, sa rapidité et son pouvoir de dresser un bilan de perte en terre moyennant une cartographie des paramètres physiques et biologiques du bassin, un échantillonnage des différentes unités homogènes et des mesures au laboratoire de l'activité du Césium 137. Les résultats obtenus permettent de dresser, en un temps très court, une carte de distribution des pertes en sols basée sur des mesures de laboratoires et non sur des simulations ou des modèles empiriques.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions le CNPRST pour l'appui financier qu'il a apporté à ce travail dans le cadre du Projet PROTARS II N°21/08 et Eric ROOSE pour les corrections du texte original.

## BIBLIOGRAPHIE

**Appelby P.G., Olfield F., 1978.** The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported  $^{210}\text{Pb}$  to the sediment. *Catena*,: 1-8.

**Bonn F., 1998.** La spatialisation des modèles d'érosion des sols à l'aide de la télédétection des SIG : possibilité, erreurs et limites. *Sécheresse*,: 185-192

**Bouhlassa S., Moukhchane M., Aichi, A., 2000.** Estimates of soil erosion of cultivated soil of Nakhla watershed, Morocco, using technique and calibration models. *Acta geologica Hispanica*.: 239-249.

**Boutaib N., 1987.** Impact de la dégradation des bassins versants sur l'économie nationale. Séminaire National sur l'Aménagement des bassins versants.

**Brune G.M., 1953.** Trap efficiency of réservoirs. *Trans. Amer. Geophy. Union*, 407-48.

**Echhab, B., 1990.** Etude de la dégradation de la végétation et du sol dans le bassin versant de Nakhla entre 1966-1989. Mé de 3<sup>ème</sup> cycle Institut AV Ha II, Rabat, Maroc : 128 p.

**El Ouadini M., Ait Brahim L., Moukhchane M., Benjbara A. et Nachite D., 2000.** Erosion dans le bassin versant de MARTIL (Maroc NO. *Bull. Réseau Erosion 20*, IRD, Montpellier, France : 78-86.

**Laabdi M., 1979.** Production de sédiments et perte en éléments fertilisants par érosion dans le bassin versant de Tlata. Mé de 3<sup>ème</sup> cycle, Institut AV Ha II, Rabat, Maroc : 128 p.

**Lahlou A., 1994.** Envasement des barrages au Maroc. *SMD Wallada*, Maroc : 286p.

**Mahmood H., 1987.** Reservoir sedimentation. *World Bank*, Washington

**Moukhchane M., 1999.** Contribution à l'étude de l'érosion hydrique dans le Rif occidental. Applications des méthodes expérimentales du  $^{137}\text{Cs}$  et de la susceptibilité magnétique aux bassins versants Nakhla, El Hachef et Smir. Thèse D'état. Université Abdelmalek Essaadi, Tétouan, Maroc : 260 p.

**Moukhchane M., 2002.** Erosion et envasement des barrages : cas du bassin versant Nakhla (Rif occidental, Maroc). Colloque sur l'eau, 24/25 octobre 2002. Université Abdelmalek Essaadi, Tétouan, Maroc :

**Ritchie J.C., MC Henry J.R., 1990.** Application of Radioactive Fallout Caesium-137 for measuring Soil Erosion and Sediment Accumulation Rates and patterns : A Review. *Jour. Environ. Qual.*, n° 19: 215-233.

**Rouissa A., 2002.** L'érosion dans un bassin côtier méditerranéen : cas du bassin versant Nakhla (Sous bassin de Martil, Maroc Nord - Occidental). *DESA*. Université Abdelmalek Essaadi, Tétouan, Maroc : 80p

**Tayaa M., 1997.** Bassin versant de oued Nakhla, caractéristiques physiques, hydrologiques et détermination du taux d'érosion. *Projet PREM*. Min Env. Maroc/USAID. 74p.

**Walling D.E., He, Q., 1997.** Models for converting  $^{137}\text{Cs}$  measurements to estimates of soil distribution rates on cultivated and uncultivated soils. Report to IAEA, University of Exeter, U.K.

**RESEAU  
EROSION**



**Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION**

**Pour citer cet article / How to cite this article**

Moukhchane, M. - Différentes méthodes d'estimation de l'érosion dans le bassin versant du Nakhla (Rif occidental, Maroc), pp. 255-266, Bulletin du RESEAU EROSION n° 21, 2002.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : [beep@ird.fr](mailto:beep@ird.fr)