



## **PRODUCTION ET EXPORTATION DES SEDIMENTS EN SUSPENSION LORS DES EVENEMENTS DE CRUE. CAS DU BASSIN VERSANT DE L'OUED MOUILAH**

**GHENIM A.<sup>1</sup>, SEDDINI A.<sup>1</sup>, TERFOUS A.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Département d'Hydraulique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur  
Université de Tlemcen B.P. 230 / 13000 Algérie

Email : anghenim@yahoo.fr

<sup>2</sup> Institut National des Sciences Appliquées de Strasbourg, 24, Bd de la victoire 67084

### **RESUME**

Le processus du transport des matières solides en suspension dans les bassins versants est complexe. Il est étroitement lié à l'intensité des précipitations, à la configuration des bassins versants et aux conditions hydrauliques. Pour essayer de comprendre l'influence de ces facteurs sur la genèse et le cheminement des particules en suspension dans les cours d'eau des zones semi-arides méditerranéennes, on s'est intéressé à l'Oued Mouilah, considéré comme le plus important affluent de la Tafna. Pour ce faire, on étudie les différents épisodes de crue, leur rôle dans l'amplification du transport solide ainsi que le comportement du bassin lors de ces événements exceptionnels.

**Mots-clés :** crue, sédiments, suspension, bassin versant, Oued Mouilah.

### **INTRODUCTION**

Très affectés par le changement climatique qui s'opère à travers le monde, les pays du Maghreb glissent vers la semi aridité, voire l'aridité (PNUD, 2002). L'année hydrologique se caractérise par des précipitations rares et très irrégulières mais souvent agressives impliquant des intensités fortes dépassant parfois 30 mm par heure (Demmak, 1982). Ces précipitations, qui sont souvent le résultat d'orages violents, induisent des crues torrentielles dans les cours d'eau qui sont pour la plupart du temps à sec. En outre, ces crues sont très chargées, pouvant même se transformer parfois en laves torrentielles évacuant des coulées de boue à 650 g/l (Mekerta et Tisot, 1993). Au cours de ces

événements, la concentration en sédiments en suspension augmente rapidement pour atteindre jusqu'à 547 fois celle enregistrée juste avant le déclenchement de la crue (Ghenim, 2001). Ces charges excessives engendrent des dégradations spécifiques atteignant  $7200 \text{ t.km}^{-2}.\text{an}^{-1}$ . C'est le cas en particulier de l'Oued Agrioun alimentant le barrage d'Ighil Emda en Algérie (Probst et Amiotte Suchet, 1992).

Plusieurs paramètres générateurs d'érosion se réunissent pour aboutir à ces pertes substantielles en terres. En effet, en plus du caractère agressif des pluies, la longue période sèche dure plusieurs mois par an, ce qui réduit à néant le couvert végétal, principal protecteur des sols contre l'effet Splash (Benkhadra, 1997). En outre, les terrains sont d'une vulnérabilité forte (roches tendres, sols fragiles) surtout sur les pentes raides mal protégées (Roose et al., 1993). Ajouté à cela le surpâturage et l'impact défavorable des activités humaines (Laouina, 1998).

Mobilisé par le ruissellement sur les versants, ce mécanisme débute par une érosion en nappe et évolue rapidement, surtout sur les pentes relativement fortes, pour former des rigoles puis des ravines importantes (Kouri et al., 1997). Cependant, l'exportation de ces sédiments vers l'exutoire se fait principalement durant les périodes de crue (Meade et Parker, 1984; Kattan et Prost, 1987; Sibari et al., 2001). Ces périodes sont généralement de courtes durées, très violentes et se caractérisent souvent par des hydrogrammes pointus et des temps de montée des eaux assez brefs (Collignon, 1986 ; Saida et al., 2003).

Pour mieux comprendre le comportement des bassins versants semi arides lors de ces événements de crue et le rôle de ceux-ci dans la genèse et le cheminement des particules fines, on s'est intéressé à l'étude des crues survenues dans le plus important sous bassin de la Tafna : Oued Mouilah, régularisé depuis 1998 par le barrage Hammam Boughrara (177 millions de  $\text{m}^3$ ).

## **DESCRIPTION GENERALE DU BASSIN VERSANT**

Le bassin versant de l'Oued Mouilah (figure1) s'étale sur une superficie de  $2650 \text{ km}^2$  pour un périmètre de 230 km. Une bonne partie de cette surface se trouve dans le territoire Marocain. Son cours d'eau, long de 124 km, prend naissance dans la région d'El Abed en Algérie à 1250 m d'altitude. Il pénètre au Maroc pour s'appeler tantôt Oued Sly tantôt Oued Bounaïm puis revient en Algérie aux environs de Maghnia sous l'appellation de Oued Mouilah. Il draine un bassin constitué de zones très hétérogènes formées de montagnes (les monts des Traras au nord-ouest et ceux de Tlemcen au sud), de plaines et de vallées.

Le bassin versant est dominé par les sols calcaires qui longent son thalweg principal et se prolonge au nord-est des monts des Traras et aux piémonts des monts de Tlemcen. Il comporte aussi des formations calciques peu profondes et

des terrains alluviaux développés dans la partie nord de la plaine de Maghnia. La partie sud de la plaine comprend des sols rouges à encroûtement formés de marnes salifères du Miocène.

La quasi moitié de la superficie du bassin (49%) est constituée de terrains généralement nus, localisés dans la partie ouest du bassin. Dans l'autre moitié, on retrouve une culture extensive (21% de la surface), un couvert forestier normal (14% de la surface) et des terrains de parcours.

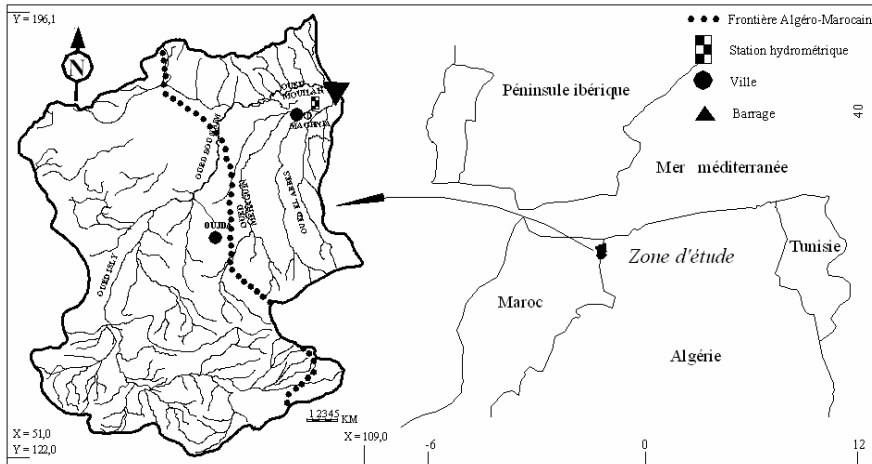


Figure 1: Situation du bassin versant de l'Oued Mouilah.

Caractérisé par un climat semi-aride proche de l'aride (Ghenim, 2001), le bassin versant de l'Oued Mouilah reçoit une précipitation interannuelle inférieure à 300 mm. Durant la période 1973-2002, on a enregistré 243 mm à la station de Hammam Boughrara, 290 mm à la station de Sidi Medjahed, 260 mm à Béni Ouassine et 303 mm à Maghnia. Les températures annuelles varient entre 15,7 et 18,4 °C, la moyenne étant de 16,7 °C. La station hydrométrique qui contrôle le cours d'eau étudié est située au pied du barrage à une altitude de 285m. Entre 1977 et 1995, l'apport liquide moyen interannuel enregistré au niveau de la station est de  $44,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  ce qui équivaut à une lame d'eau écoulée de 18,4 mm. Cet apport est de loin inférieur à la capacité du barrage, néanmoins durant des années particulières, cet apport a pu atteindre  $108,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  (1979-1980). Quant à l'apport solide exporté durant la même période, il est de 400.000 t, soit une dégradation spécifique de  $165 \text{ t.km}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$ . Cette valeur est très modeste relativement aux estimations données par plusieurs chercheurs pour la région maghrébine dépassant pour la plupart le seuil de  $1\ 000 \text{ t.km}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$  (Heutch et Millies-Lacroix, 1971; Walling, 1984).

## SOURCE DE DONNEES ET METHODES DE MESURE

L'étude est basée sur les mesures instantanées des débits liquides et des concentrations réalisées par les services de l'A.N.R.H. Les débits liquides sont obtenus soit à partir de la courbe de tarage suite aux hauteurs d'eau lues sur une échelle limnimétrique, soit à partir des hauteurs d'eau enregistrées par un limnigraphe à flotteur. Quant à la concentration, à chaque lecture de hauteur d'eau, on prélève un échantillon d'eau turbide sur la rive à la surface de l'oued au moyen d'un flacon de 50 cl. Les sédiments filtrés sur papier filtre sont ensuite séchés à l'étuve pendant 30 minutes à une température de 105 °C. Ramenée à l'unité de volume (1litre), cette charge est attribuée à la concentration en suspension instantanée véhiculée par le cours d'eau en g.l<sup>-1</sup>. La cadence de prise des mesures varie selon l'ampleur de l'événement. En période de crue, les prises sont intensifiées jusqu'à des intervalles de temps de 30 minutes en fonction de la vitesse de l'augmentation des débits liquides. En période d'écoulement normal ou en période d'étiage, on se contente d'une prise quotidienne effectuée généralement à 12 h. Le débit solide en suspension est alors calculé par la relation classique :

$$Q_{ss} = C Q_L$$

Les données utilisées dans le cadre de cette étude et relatives à la station de Sidi Belkheir, couvrent une période de 5 ans (septembre 1988 à août 1993).

Le calcul du flux des matières en suspension exporté à l'exutoire entre les temps  $t_j$  et  $t_{j+1}$  séparant deux prélèvements consécutifs, est calculé par la formule :

$$A_s = \frac{(Q_{j+1} \cdot C_{j+1}) + (Q_j \cdot C_j)}{2} (t_{j+1} - t_j)$$

où  $C_j$  et  $C_{j+1}$  sont les concentrations relevées aux instants  $t_j$  et  $t_{j+1}$  et qui correspondent respectivement aux débits liquides  $Q_j$  et  $Q_{j+1}$ . La somme arithmétique de ces apports élémentaires, pendant la durée d'une crue ou pendant l'année, constitue l'apport solide de crue ou l'apport solide annuel. De même, l'apport liquide engendrant le flux  $A_L$  est calculé comme suit :

$$A_L = \frac{(Q_{j+1} + Q_j)}{2} (t_{j+1} - t_j)$$

Le bilan des apports liquides et solides, établi pour les 5 années d'observation est reporté dans le tableau 1 :

**Tableau 1.** Part des crues dans le bilan annuel des apports liquides et solides du bassin versant de l'Oued Mouilah (1988 – 1993)

Année	N	D	Apport liquide			Apport solide		
			Total (Hm <sup>3</sup> )	Crues (Hm <sup>3</sup> )	Contr (%)	Total (M.T)	Crues (M.T)	Contr (%)
88-89	4	60	48,4	43,1	89,0	0,282	0,281	99,7
89-90	8	124	58,9	53,9	91,5	1,237	1,235	99,8
90-91	8	38	52,5	44,1	84,1	0,771	0,768	99,6
91-92	6	51	40,7	33,8	82,9	0,463	0,452	97,7
92-93	3	13	14,1	4,2	30,1	0,046	0,042	91,5
Moy.	6	57	42,9	35,8	75,6	0,560	0,556	97,7

N : Nombre de crues, D : Durée des crues (jours).

### CONTRIBUTION DES CRUES DANS LE BILAN ANNUEL DES APPORTS

Toute élévation du niveau d'un cours d'eau est appelée crue lorsqu'elle a pour cause un apport important en eau consécutif à un événement pluvieux ou à la fonte des neiges. Pour certains auteurs, les crues sont des débits égaux ou supérieurs à un certain multiple du module annuel (3 à 5 fois le module). Selon *Réménieras* (1986), une crue annuelle est le débit le plus fort observé dans l'année. Etant donné le caractère non pérenne du cours d'eau étudié, ont été considérées comme des crues tous les écoulements ayant engendré un apport liquide substantiel.

Ainsi, au cours de la période d'observation, 29 crues ont été enregistrées soit en moyenne 6 crues par année. Du fait de la brièveté des crues, le nombre de jours de crue dans l'année est faible, représentant une durée globale moyenne inférieure à deux mois par an soit 15,6% du temps annuel. Quoique la plus longue crue enregistrée a duré 31 jours (crue du 10/05 au 10/06/90), la plupart de ces évènements sont brefs puisque le pourcentage de crues dont la durée est inférieure à la durée moyenne (10 jours) est de 69%. Le temps moyen séparant deux crues consécutives est de 49 jours. Cet intervalle peut durer plus longtemps pour atteindre 159 jours. Ces évènements se caractérisent par un temps de montée des eaux relativement court devant le temps nécessaire à la décrue. Les coefficients de tarissement sont forts ( $\alpha = 20$  à  $30 \text{ jour}^{-1}$ ) pour un modèle exponentiel décroissant de *Maillet* (*Collignon*, 1986; *Réménieras*, 1986).

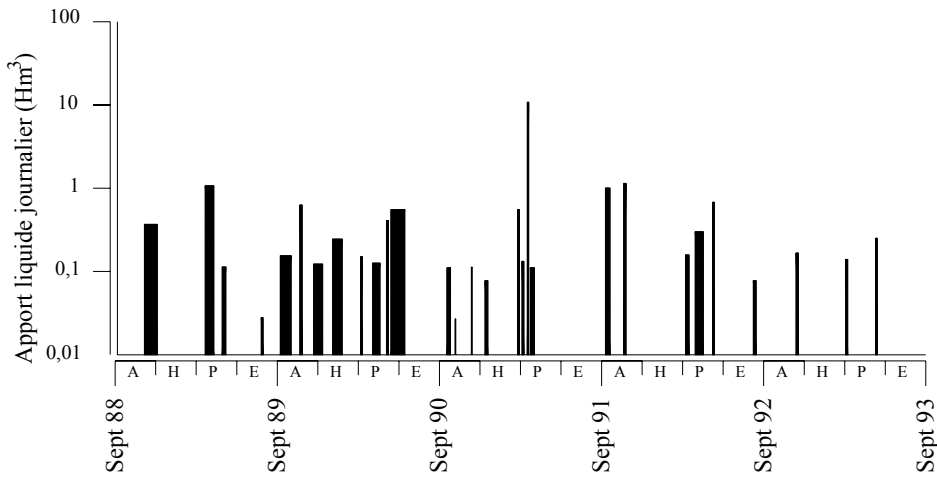
La contribution de l'apport liquide de crue représente 75,6% du bilan annuel. L'apport liquide moyen par crue vaut  $6,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Les recherches entreprises par

*Collignon* (1986) sur les monts de Tlemcen lui ont permis de souligner qu'une crue individuelle a la capacité d'évacuer 20% du volume total annuel en 3 à 6 jours. Toutefois, au cours de la période d'observation, une seule crue a pu évacuer un apport liquide supérieur à 70% de l'apport annuel. C'est le cas de la crue du 13 au 16/03/91 dont l'apport liquide est de  $36,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Au cours de cette dernière, la lame d'eau moyenne journalière a atteint 4,6 mm. Au cours de la période d'étude, le plus fort débit enregistré est de  $600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

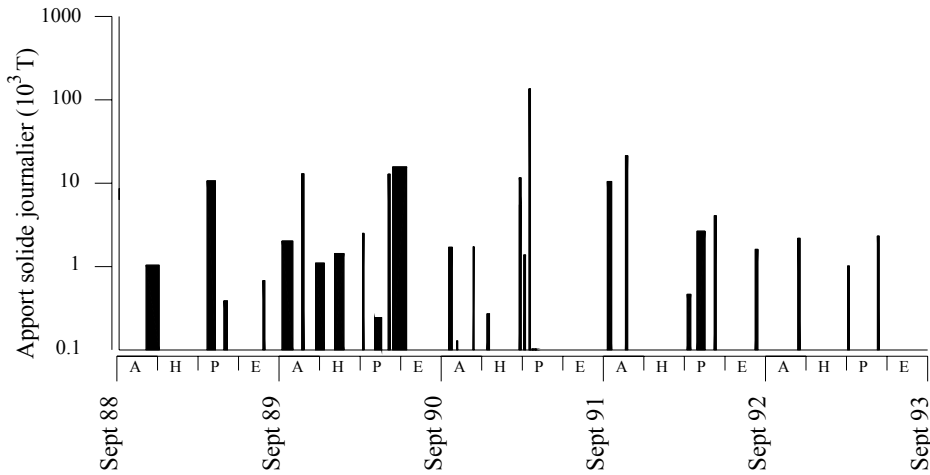
Au cours d'un cycle hydrologique, les périodes de crues jouent un rôle prédominant dans l'exportation des matières en suspension (*Kattan et Prost*, 1987; *Sibari et al.*, 2001). En effet, en dehors de ces événements, les concentrations enregistrées sont très faibles en raison de l'absence de turbulence et de l'incapacité de l'écoulement à mobiliser le transport des sédiments. Comme l'ont montré plusieurs travaux, la plus grande part des matériaux en suspension est évacuée lors de quelques crues (*Etchanchu et Prost*, 1986; *Bergaoui et al.*, 1998). Ainsi, la crue du 13 au 16/03/91 a pu exporter vers l'exutoire, en l'espace de 3 jours, 85% du flux annuel en matières solides. L'apport solide moyen par crue est de 96.000 tonnes correspondant à une dégradation spécifique journalière de  $3,7 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ . Cette dernière peut être excessive lors de certaines crues et atteindre jusqu'à  $83 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ . Les concentrations maximales mesurées varient de 0,28 à  $70 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ . Toutefois la concentration moyenne de toutes les crues réunies est de  $13 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ .

## EVOLUTION DE LA CHARGE SOLIDE AU COURS DES CRUES

Le comportement morphologique des bassins versants situés dans les régions semi arides est complexe (*Collignon*, 1986; *Saidi et al.*, 2003). Outre l'irrégularité spatio-temporelle des précipitations et les caractéristiques lithologiques et géomorphologiques propres aux bassins, cette complexité résulte aussi de la réponse hydrologique irrégulière des bassins aux événements pluvieux. Cette réponse, en plus de la nature du sol en surface et de sa couverture végétale, dépend d'autres facteurs tels que l'état initial de saturation du sol et sa capacité d'infiltration (*Castillo et al.*, 2003). Le transport solide, qui a besoin d'une source d'énergie pour se manifester, est étroitement lié à l'écoulement sans qu'il y ait une véritable proportionnalité. L'examen des figures 2 et 3 où l'on a représenté l'évolution temporelle des crues survenues dans le bassin étudié ainsi que leurs apports moyens journaliers liquides et solides, montre l'ampleur de cette complexité. Les événements les plus agressifs tant en apport liquide que solide sont ceux de courte durée. On note cependant que les crues d'été et d'automne mobilisent une mise en suspension assez forte pour des écoulements modestes, alors que les crues printanières n'arrivent à mobiliser qu'une charge solide faible pour des écoulements importants. Ainsi, les crues d'été et d'automne ont exporté 43% de l'écoulement total des crues et 54% de la charge solide totale.



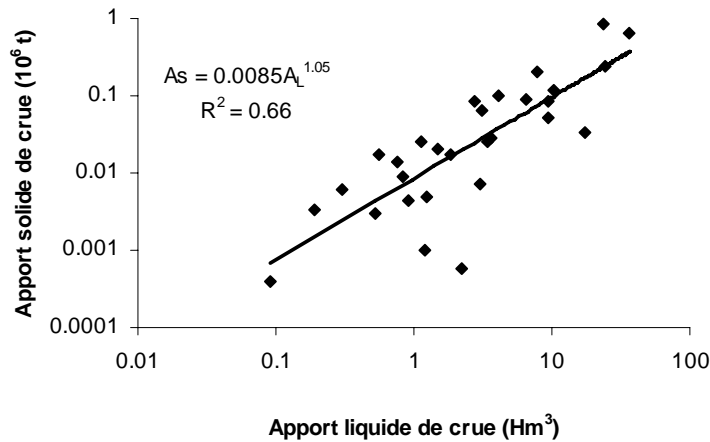
**Figure 2 :** Evolution temporelle des apports liquides moyens journaliers des crues survenues à Oued Mouilah



**Figure 3 :** Evolution temporelle des apports solides moyens journaliers des crues survenues à Oued Mouilah

Malgré la complexité du phénomène et la différence en magnitude et en fréquence entre les crues hivernales et estivales, la mise en relation des apports liquides et solides de ces évènements (29 couples de données) permet de mettre en évidence une corrélation acceptable ( $R^2 = 0,66$ ). Si l'on excepte les crues du 22 au 29/03/91 et du 03 au 11/03/92, qui ont été précédés par d'autres évènements ayant emporté l'essentiel des sédiments localisés dans le cours d'eau, le coefficient de détermination croît jusqu'à la valeur 0,80. Ce type de

relation serait sans nul doute un moyen de prévision des apports solides qui pourraient se déposer notamment dans le barrage Hammam Boughrara.



**Figure 4 :** Relation entre les apports liquides et solides des différentes crues enregistrées (1988-1993)

## CONCLUSION

Cette étude permet de souligner l'importance des crues dans la genèse et le cheminement des particules solides vers l'exutoire des bassins. Elle met aussi en évidence la complexité de ce phénomène dans les zones semi-arides. Néanmoins, malgré leurs effets négatifs (transport solide, l'alluvionnement des retenues, impacts environnementaux), ces crues sont source d'apports liquides non négligeables aux barrages qui souffrent parfois d'un taux de remplissage insignifiant. Malheureusement, la plus grande part des sédiments qui atterrissent dans les cuvettes de barrages est amenée par les crues. Une vigilance ainsi que la mise en place de dispositifs pour empêcher ces sédiments d'arriver à leur destination finale est nécessaire pour éviter l'alluvionnement rapide des ouvrages.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BENKHADRA, H. (1997). Battance, ruissellement et érosion diffuse sur les sols limoneux cultivés –Déterminisme et transfert d'échelle de la parcelle au petit bassin versant. Thèse de Doctorat de l'Université d'Orléans (France).
- BERGAOUI M., CAMUS H., NOUVELOT J.F. (1998). Essai de modélisation du transport solide sur les micro bassins versant de Tebaga (Tunisie centrale), Revue Sécheresse, Vol. 9, 1, 51-57.



- CASTILLO V M., GOMEZ-PLAZA A., MARTINEZ-MENA M. (2003). The role of antecedent soil water content in the runoff response of semiarid catchments: a simulation approach. *Journal of Hydrology*, 284,114-130.
- COLLIGNON B. (1986). Hydrogéologies appliquées des aquifères karstiques des monts de Tlemcen. Thèse de doctorat, Université d'Avignon. France.
- DEMMAK A. (1982). Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de docteur-ingénieur. Université Paris 6, France.
- ETCHANCHU D., PROBST J.L. (1986). Erosion et transport de matières en suspension dans un bassin versant en région agricole. Méthode de mesure du ruissellement superficiel, de sa charge et des deux composantes du transport solide dans un cours d'eau, C.R Acad. Sci.Paris, t. 30, série II, n°17, 1063-1068.
- GHENIM A. (2001). Contribution à l'étude des écoulements liquides et des dégradations du bassin versant de la Tafna : Cas de Oued Isser, Oued Mouilah et la Haute Tafna. Thèse de Magister. Université de Tlemcen, Algérie.
- HEUSCH B., MILLIES-LACROIX A. (1971). Une méthode pour estimer l'écoulement et l'érosion dans un bassin. Application au Maghreb. *Mines et Géologie Rabat*, 33, 21-39.
- KATTAN Z., PROBST J.L. (1987). Transports en suspension et en solution par la Moselle en période de crues, Actes Journées d'hydrologie « crues et inondations », Strasbourg 16-18 octobre, 143-167.
- KOURI L., VOGT H., GOMER D. (1997). Analyse des processus d'érosion hydrique linéaire en terrain marneux. Bassin versant de l'oued Mina. *Tell Oranais. Algérie. Bull. réseau érosion n°17*, 64-73.
- LAOUINA A. (1998). Dégradations des terres dans la région méditerranéenne du Maghreb. *Bulletin de l'ORSTOM*, 18, 33-53.
- MEKERTA A.B., TISOT J.P. (1993). Etude de la sédimentation dans les retenues de barrages, propriétés mécaniques des sols fins. 1<sup>er</sup> congrès national des grands barrages, Alger 24 et 25 mai, 1-9.
- MILLIMAN J D., MEADE R.H. (1983). World-wide delivery of river sediment to the oceans. *J. Geol.* 91, 1-21
- PNUD-FEM, RAB/94/G31 Project. (2002). Vulnerability of the Maghreb region to climate change, and needs for adaptation (Algeria, Morocco, Tunisia). 6<sup>èmes</sup> Journées du Comité Consultatif Technique Maghrébin sur les Changements Climatiques Alger, 6-7 Mai.
- PROBST J.L., AMIOTTE SUCHET P. (1992). Fluvial suspended sediment transport and mechanical erosion in the Maghreb(North Africa). *Hydrological Sciences Journal*, 37, 6, 12, 621- 637.
- REMENIERAS G. (1986). *L'hydrologie de l'ingénieur*, Editions Eyrolles, 459 pages.
- ROOSE E., ARABI M., BRAHMIA K., CHEBBANI R., MAZOUR M., MORSLI B. (1993). Erosion en nappe et ruissellement en montagne

- méditerranéenne algérienne. *Bulletin de l'ORSTOM*, 28(2), 289-308.
- SIBARI H., HAIDA S., AIT FORA A. (2001). Typologie des crues et érosion mécanique dans un bassin versant de zone semi aride : bassin versant de l'Inaouène, Maroc, *Revue Sécheresse*, Vol. 12, 187– 193.
- SAIDI M M., DAOUDI L., ARESMOUK M.H., BLALI A. (2003). Rôle du milieu physique dans l'amplification des crues en milieu montagnard : exemple de la crue du 17 août 1995 dans la vallée de l'Ourika (Haut-Atlas, Maroc). *Revue Sécheresse*, Vol. 14, 2, 107-114.
- WALLING D.E. (1984). The sediment yields of African rivers. I.A.H.S. Publ., Harare Symp., 144, 265-283.