

Étude du transport solide en suspension dans l'Oued Mouilah (Nord Ouest Algérien)

Study of the suspended load at the river Mouilah
(North West Algeria)

A. TERFOUS*, A. MEGNOUNIF, A. BOUANANI

Reçu le 2 octobre 2000, accepté le 10 mai 2001**.

SUMMARY

The extent and rates of alluvial deposit and dam siltation caused by sediment deposition from Maghreb streams have prompted a number of attempts to quantify and explain the complex mechanisms of suspended sediment transport. In Algeria, a country with scarce water resources, deposition of sediments in dams is estimated to average 20 million m³/year, which contributes to a 0.3% yearly loss of storage capacity from a total capacity estimated at 6.2 billion m³.

Of interest in this context are suspended sediment loads in Mediterranean Algeria's Mouilah River, on which is built the Hammam Boughrara, a 117 million m³ capacity dam put into service in 1998.

The Mouilah River basin, situated in northwest Algeria, covers a 2650 km² area and has a 230 km perimeter (*table 1*).

The Mouilah runs along 124 km, rising at an altitude of 1250 m in Algeria then flowing into Morocco. It is ephemeral; perennial flow sets in near Oujda (Morocco), below which it re-enters Algeria near Maghnia (*figure 1*).

The study zone is characterized by a semi-arid climate. From 1977 to 1993, annual mean temperature was 16.7°C. Rainfall was relatively scarce and unequally distributed throughout the year, with an inter-annual average of 300 mm over the same period (*figure 2*).

Analysis of hydrological data

The study used instantaneous water discharge values (m³/s) measured at the mouth of the Mouilah from September 1977 to August 1993 (results calcula-

Laboratoire de modélisation en hydrologie et hydrogéologie (L.A.M.HYD), Département d'Hydraulique, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université Aboubakr Belkaid Tlemcen, BP 230 Tlemcen, 13000 Algérie.

* Correspondance. E-mail : a_terfous@mail.univ-tlemcen.dz

** Les commentaires seront reçus jusqu'au 29 mars 2002.

ted and furnished by the National Agency of Hydric Resources [ANRH]). For measured values, suspended loads (g/l) were evaluated using samples taken from the river: total suspended loads were calculated as the product of these concentrations and water discharge. The number of samples was adapted to the hydrological regime: they were taken every other day or, during flood periods, as frequently as quarter-hourly.

Analysis of the instantaneous discharges showed that suspended loads were related to discharge by a power law (*figure 3*).

To study the responses of the basin over the hydrological year, we grouped the results – 16 years' worth of data – according to season, and analysed the relationship between liquid discharge and suspended sediment load (*table 2*).

Graphical analysis of *figure 4* reveals that autumn and the spring are distinguished by strong river discharges leading to important transport of solids. The maximum flow of solids was about 104000 kg/s, resulting from a water discharge of 1880 m³/s in November 1986. By contrast, winter and summer discharges were much smaller; values did not exceed 220 m³/s in winter and 83 m³/s in summer.

After the dry season, the first rains of autumn encounter dry, hard and barely erodible soil. The response of the basin in terms of suspended-solids generation is therefore very small. It is the heavy rains of October and November that remove large quantities of solids transportable by streams.

After the very dry and cool winter and a succession of freezes and thaws, spring rains fall on poorer soil, leading to relatively high loads, though still lesser than those of autumn.

Summer is marked by very dispersed values encompassing the smallest discharges of the year and some relatively high suspended loads associated with low discharges, the latter arising from seasonal storms.

In summary, stream discharge is very variable throughout the hydrological year. Suspended sediment transport in the Moulah River basin occurs principally during flood periods. We distinguished two periods of active erosion, one in autumn and another, lesser period in spring.

Annual contributions

An annual balance sheet of solid and liquid contributions shows that these two parameters vary regularly and as a function of rainfall (*figure 5*). Annual liquid contributions from 1977 to 1993 were evaluated at 48.7 million m³, which corresponds to a mean flood depth of 18.4 mm, and a low flow coefficient of 6%. Due to very dispersed and extreme values and variability, rainfall-discharge relations are varied. This leads to inter-annual irregularity for flood depths: consequently, a relationship with annual rainfalls (*figure 6*) was difficult to establish. However, we noted a tendency of the form: ($L_E = 0.0009P^{1.69}$ ($R = 0.74$).

The annual mean contribution of suspended sediment at the mouth of the river was estimated at 335000 tons, which corresponds to a soil erosion rate of 126 tons/km²/year. This value is moderate compared to other basins of the region, such as the Mazafran (Algiers) and Isser (Lakhdaria) river basins, where erosion rates are about 1610 and 2300 tons/km²/year, respectively (*table 3*).

The inter-annual solid and liquid contributions contrast markedly. Indeed, for liquid contributions, the first and third quartiles are 21.8 and 64.7 million m³, respectively, which shows that 25% of the annual moduli representing humid years were three times more important than those representing dry years (*figure 7*). Furthermore, in annual loads expressed as stream turbidity, variation between the temperate and arid reaches of the stream is apparent.

Figure 8 shows that the highest annual liquid contribution, 117.8 million m³, was recorded during the year 1979-80, and generated a solid contribution of 670000 tons. This liquid contribution is higher than that of 1986-1987, evaluated at 106.4 million m³, which carried 2.69 million tons – an erosion rate of more than 1000 tons/km²/year.

RÉSUMÉ

Les résultats d'analyse graphique des valeurs instantanées des débits solides en suspension dans le cours d'eau de l'Oued Mouilah et leurs relations avec les débits liquides, durant les campagnes de prélèvements de 1977 à 1993, ont permis de montrer l'existence de deux périodes d'érosion actives. Le flux des matières solides en suspension dans le cours d'eau est très variable d'une année à une autre et la dégradation spécifique moyenne annuelle sur les 16 années d'étude est estimée à 126 tonnes par km². Cette valeur est relativement faible par rapport à celles trouvées pour d'autres régions à régime hydrologique similaire.

Mots-clés : pluie, débit liquide, débit solide en suspension, dégradation spécifique, bassin versant, Oued Mouilah, Algérie.

1 – INTRODUCTION

L'ampleur de l'alluvionnement et l'exhaussement du fond des barrages par dépôts successifs des sédiments ramenés, par les cours d'eau maghrébins, ont suscité l'intérêt d'un grand nombre de chercheurs qui ont tenté d'expliquer les mécanismes complexes du transport solide et de quantifier les volumes des sédiments transportés. Dans ce contexte, on notera les travaux de TIXERONT (1960), HEUSCH (1982), MILLIMAN et MEADE (1983), SOGREA (1983), WALLING (1984), LAHLOU (1990) et plus récemment PROBST et AMIOTTE SUCHET (1992) qui ont tenté d'expliquer l'érosion mécanique et de déterminer les dégradations spécifiques des bassins versants de ces régions. D'autre part GHORBEL et CLAUDE (1977), RAIS et ABIDI (1989), ALBERGEL *et al.* (1998), SNOUSSI *et al.* (1990), MERZOUKI (1992), MOUKHCHANE *et al.* (1998), DEMMAK (1982), BOUROUBA (1996, 1998a) et MEGNOUNIF *et al.* (2000) ont présenté en conclusion de leurs travaux des informations significatives sur le flux des matières transportées par les cours d'eau de quelques bassins versants Tunisiens, Marocains et Algériens.

En Algérie, pays à faible ressource hydrique (BOUANANI *et al.*, 1999 ; BENGUEDDACH, 1999), les dépôts des sédiments dans les retenues des barrages sont estimés, en moyenne, à 20 millions de m³ par an (REMINI, 1999), ce qui contribue à réduire de 0,3 % par an les capacités de stockage de l'eau estimées à 6,2 milliards de m³ (RIAD et SALIH, 1999).

L'objectif du présent travail est de mieux comprendre le phénomène des exportations de matières solides en suspension véhiculées par le cours d'eau Oued Mouilah, et de quantifier le flux des sédiments susceptibles de se déposer dans le barrage de Hammam Boughrara (capacité de stockage de 177 millions de m³), mis en service en novembre 1998.

2 – PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU BASSIN VERSANT

2.1 Caractéristiques physiques

Le bassin versant de l'Oued Mouilah est situé au nord-ouest de l'Algérie. Il s'étend sur une superficie de 2 650 km², pour un périmètre de 230 km (*tableau 1*).

Tableau 1 Caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Mouilah.

Superficie (km ²)	2 650
Périmètre (km)	230
Longueur du rectangle équivalent (km)	81,6
Longueur du thalweg principal (km)	124
Indice de compacité	1,25
Indice de pente de Roche	0,11
Indice de pente global (m/km)	11,59
Altitudes : minimale (m)	285
maximale (m)	1 430
moyenne (m)	746

Affluent rive gauche de la Tafna (*figure 1*), l'Oued Mouilah s'écoule sur une longueur de 124 km. Il prend naissance dans la région d'El Abed, en Algérie, à 1250 m d'altitude, puis pénètre au Maroc et prend le nom de Oued Isly et suit un cours intermittent. Il redevient permanent en aval près de Oujda (Maroc) pour s'appeler Oued Bounaïm et pénètre en Algérie aux environs de Maghnia sous l'appellation de Oued Mouilah. Il reçoit sur sa rive droite Oued Ourdeffou qui forme la réunion des Oueds Abbes et Mehaguin.

2.2 Géologie du site

Le bassin de l'Oued Mouilah est occupé par une série géologique allant du Primaire au Quaternaire, il se creuse dans du matériel à résistance fort variable. Sur le substratum schisto-quartzitique primaire et les formations carbonatées du secondaire, se sont déposés des sédiments du Tertiaire principalement des argiles et grès du Miocène et des alluvions quaternaires occupant les bas fond des vallées et des plaines (BENEST et ELMI, 1978).

2.3 Climatologie

Le bassin versant d'Oued Mouilah se caractérise par un climat semi-aride. Les températures annuelles varient entre 15,7 et 18,4 °C (période 1977-1993), la moyenne étant de 16,7 °C. Les précipitations sont relativement faibles (*figure 2*). Avec une moyenne inter-annuelle de 300 mm (période 1977-1993), elles sont très inégalement réparties au cours de l'année.

Toutefois, on remarque une irrégularité inter-annuelle modérée des hauteurs (MEGNOUNIF et al., 1999). En effet, sur la période d'étude, le coefficient de variation est de 0,30. Cette hypothèse est confortée aussi par le coefficient

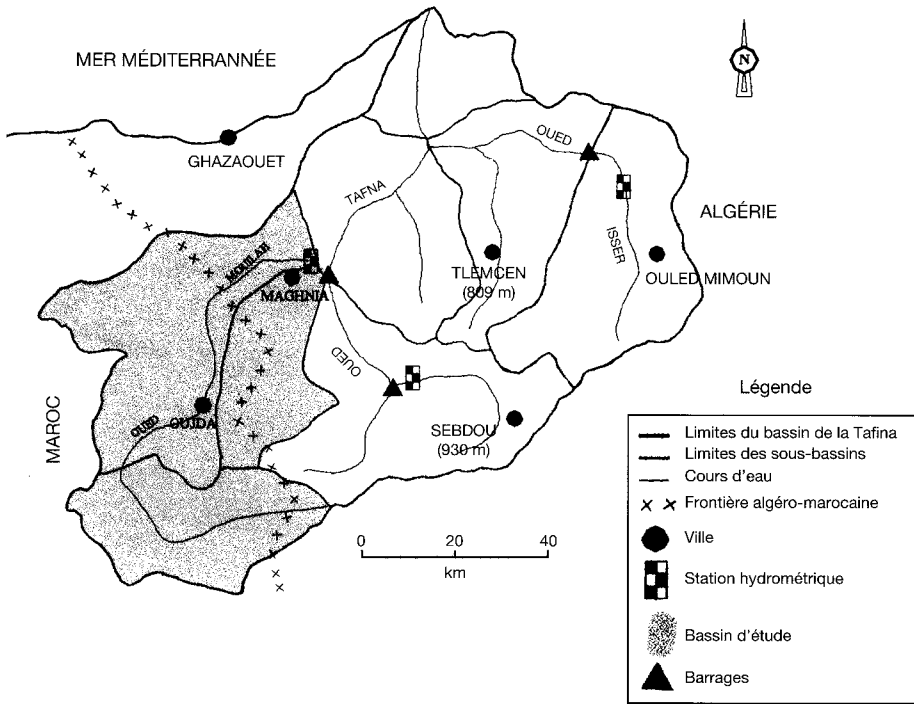


Figure 1 Situation du bassin versant de l'Oued Mouilah.

d'asymétrie, estimé à 0,57, valeur nettement au-dessous des valeurs critiques d'un coefficient d'asymétrie d'un échantillon d'une variable normale de Laplace-Gauss.

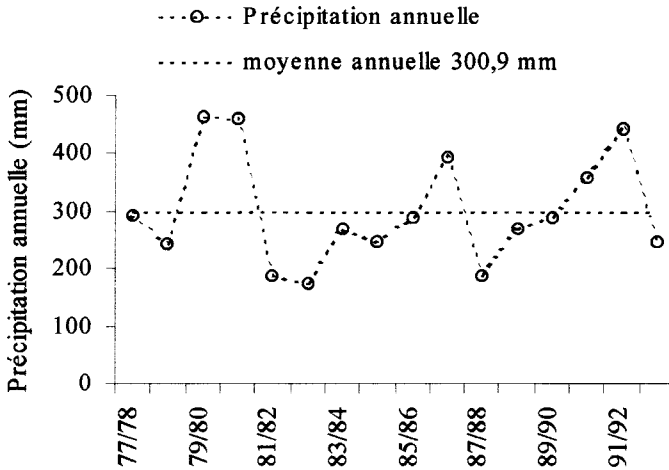


Figure 2 Variation inter-annuelle des précipitations. Station de Maghnia (période 1977-1993).

3 – DONNÉES HYDROLOGIQUES

L'étude porte sur les valeurs instantanées des débits liquides, donnés en m^3/s , mesurés à l'exutoire du bassin versant durant la période allant de septembre 1977 à août 1993. À chaque mesure effectuée a été évaluée la charge de la matière en suspension obtenue à partir d'échantillons d'eau prélevés sur les rives de l'oued. Après séchage, et élimination des matières organiques, la boue recueillie sur un papier filtre est pesée. On détermine ensuite la charge correspondante à un litre d'eau prélevé, ce qui établit la concentration, donnée en g/l.

Le débit des matières en suspension est donc le produit de la concentration évaluée en kg/m^3 par le débit liquide mesuré en m^3/s .

Le nombre de prélèvements a été adapté au régime hydrologique. Ces derniers sont effectués un jour sur deux et intensifiés jusqu'à un quart d'heure en période de crue.

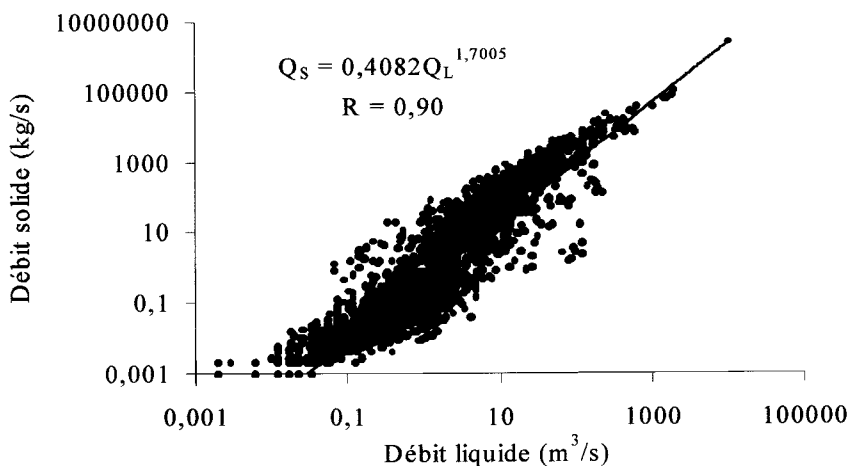


Figure 3 Relation entre les débits instantanés liquides et solides.

3.1 Analyse des débits instantanés

Comme pour la plupart des cours d'eau, on trouve pour l'Oued Mouilah une bonne relation en puissance (PROBST et BAZERBACHI, 1986) liant le débit des matières solides en suspension en kg/s au débit liquide en m^3/s , (figure 3). Une première analyse, graphique, de cette figure montre qu'à de faibles débits liquides généralement estivaux (moins de $0,5 m^3/s$) peuvent être associés de forts débits solides (près de $10 kg/s$) déclenchés sûrement à la suite d'orages violents. De même, de fortes valeurs des débits liquides n'ont engendré qu'un faible transport solide (moins de $10 kg/s$) dû à la vidange des nappes survenue à la suite d'une crue importante.

3.2 Analyse saisonnière

Pour étudier les réponses du bassin aux débits liquides et matières en suspension au cours de l'année hydrologique, nous avons jugé utile de regrouper suivant les différentes saisons les valeurs instantanées (prélevées sur les 16 années d'étude), et d'analyser la relation liant les débits liquides aux débits solides en suspension. Le *tableau 2* résume les modèles trouvés pour chaque saison.

L'analyse graphique de la *figure 4*, laisse apparaître que l'automne et le printemps se distinguent par leurs débits liquides forts engendrant un flux important de matières solides en suspension. Le débit solide maximal est de l'ordre de 104 000 kg/s, atteint en novembre 1986, résultant d'un débit liquide de 1 880 m³/s. En revanche, durant l'hiver et l'été on constate une régression nette des débits liquides qui ne dépassent guère les 220 m³/s en hiver et les 83 m³/s en été.

Tableau 2 Modèles saisonniers liant les débits solides en suspension aux débits liquides.

Saison	Modèle de corrélation R	Coefficient de prélèvements	Nombre
Automne	$Q_S = 0,556 Q_L^{1,815}$	0,91	1 209
Hiver	$Q_S = 0,279 Q_L^{1,796}$	0,86	1 043
Printemps	$Q_S = 0,392 Q_L^{1,598}$	0,90	1 076
Été	$Q_S = 0,370 Q_L^{1,562}$	0,87	706

Toutefois, on remarque quelques spécificités pour chaque saison.

Les nuages des points pour le printemps et l'hiver sont assez épais, variation large des débits solides pour des débits liquides peu variés, ce qui se traduit par l'existence d'un nombre important de prélèvements lors des tarissements, et donc une contribution importante des nappes dans l'écoulement durant ces deux saisons.

Après la grande saison sèche, les premières pluies de l'automne trouvent un sol sec et dur, difficilement érodable. La réponse du bassin en matière en suspension est donc très faible. C'est les pluies torrentielles qui surviennent en octobre et novembre qui arracheront de grandes quantités de matières solides, qui seront par la suite véhiculées en suspension par le cours d'eau. La réponse du bassin se manifeste rapidement par des ruissellements et des écoulements hypodermiques peu profonds. La relation entre les deux débits semble être plus étroite pour les valeurs fortes.

Quoique moins importantes que celles de l'automne, les pluies du printemps surviennent après un hiver peu pluvieux et froid avec une succession de gel et de dégel favorisant la déstabilisation de la structure du sol le rendant plus vulnérable à l'érosion, trouvant un sol meuble et déclenchant alors, des écoulements fortement chargés.

En hiver, période de transition entre les deux saisons humides, bien que la pluviométrie soit nettement faible, les écoulements le sont moins, ce qui est dû

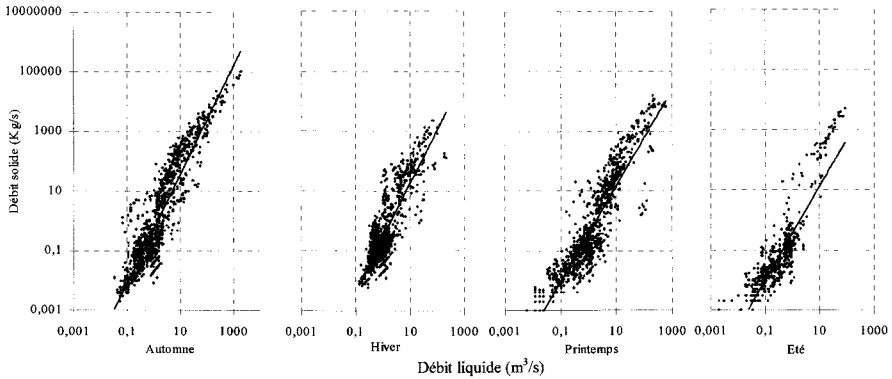


Figure 4 Variations saisonnières des valeurs instantanées des débits solides en fonction des débits liquides.

essentiellement aux réserves importantes en eau, emmagasinées dans le sol, suite aux fortes pluies de l'automne.

L'été se distingue des autres saisons, par ses valeurs très dispersées. On trouve (figure 4) un premier nuage dense regroupant les débits les plus faibles de l'année, et un deuxième nuage éparpillé représentant des débits solides relativement forts, associés à des débits liquides faibles dûs, sûrement, aux orages estivaux.

3 – APPORT ANNUEL

Le flux annuel des matières solides en suspension exporté par l'Oued Mouilah, est calculé par la formule $A_S = \sum_{j=1}^N (t_{j+1} - t_j) C_j$, où C_j est la concentration évaluée à l'instant t_j correspondant au débit liquide Q_j , N est le nombre de prélèvements effectués sur l'année considérée, $t_{j+1} - t_j$ est le pas de temps séparant deux prélèvements consécutifs. Au moment des crues les prélèvements sont intensifiés, et donc par suite, le pas de temps est réduit.

De même, A_L l'apport liquide annuel engendrant le flux A_S est calculé par la formule $A_L = \sum_{j=1}^N (t_{j+1} - t_j) Q_j$.

Un bilan annuel des apports liquides et solides est alors établi, il en découle les résultats suivants :

– Les deux paramètres varient régulièrement en fonction des précipitations (figure 5).

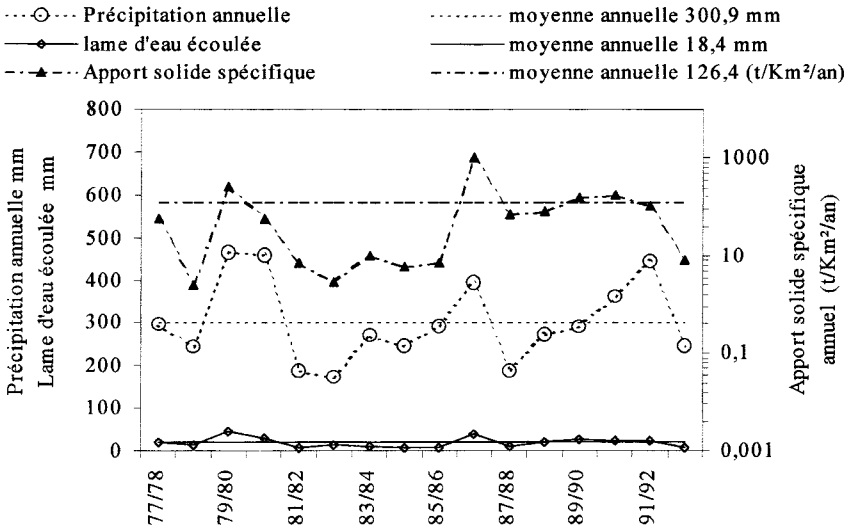


Figure 5 Variations inter-annuelles des précipitations, des lames d'eau écoulées et des apports solides spécifiques.

- L'apport liquide annuel est évalué à 48,7 millions de m³ (période 1977-1993), soit une lame d'eau moyenne écoulée, $\left(L_E = \frac{A_L \cdot 1000}{S} \right)$ de 18,4 mm, S étant la surface du bassin. Ce qui donne un faible coefficient d'écoulement (100.L_E/P), estimé à 6 %. Par leurs valeurs extrêmes très dispersées et leurs intensités très variables, les précipitations mensuelles sont très favorables ou non à l'hydraulicité. Ce qui engendre une irrégularité inter-annuelle des lames d'eau écoulées, et par conséquent leur relation aux précipitations annuelles P (figure 6), semble difficile à établir. Toutefois, on peut noter une tendance suivant un modèle en puissance dont la courbe moyenne est : $L_E = 0,0009P^{1,69}$ (coefficient de corrélation R = 0,74).

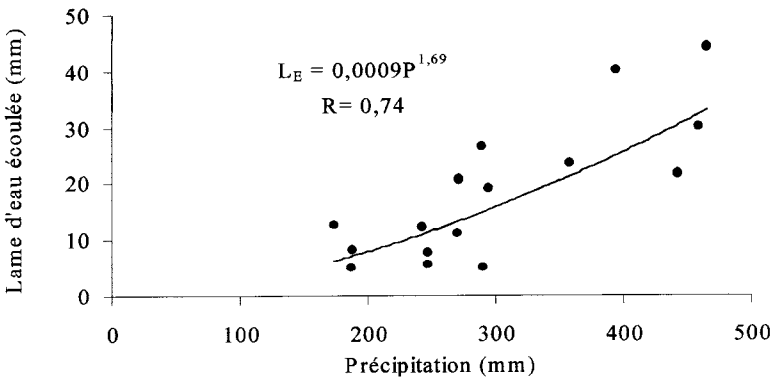


Figure 6 Relation liant la lame d'eau écoulée aux précipitations annuelles.

– L'apport moyen annuel en matières solides en suspension à l'exutoire du bassin est estimé à 335 000 tonnes, ce qui correspond à une perte de sol spécifique de 126,4 tonnes par km² et par an. On notera que cette valeur est très modérée par rapport à celles publiées pour d'autres bassins de la région, tels que le bassin de l'oued Mazafran (Côtiers Algérois) et l'oued Isser (Lakhdaria) dont les dégradations spécifiques sont respectivement de l'ordre de 1 610 et 2 300 t/km²/an (BOUROUBA, 1997), (tableau 3).

Tableau 3 Quelques valeurs des dégradations spécifiques publiées pour des bassins versants voisins.

Bassin versant	Dégradation spécifique (tonnes/km ² /an)	Auteurs
Maghreb	265 à 2 569	HEUSCH et MILLIÈS-LACROIX, 1971
Maghreb	1 000 à 5 000	WALLING 1984,
Maghreb	397	PROBST et AMIOTTE SUCHET, 1992
Maroc	750	SNOUSSI, 1988
La Tafna (Algérie)	150	SOGREAH, 1967
Oued Mazafran (côtiers Algérois)	1 610	BOUROUBA, 1997
L'Isser (Lakhdaria)	2 300	
Algérie orientale	145	BOUROUBA, 1998
Mouilah	126	Présente étude

– Les apports liquides et solides inter-annuels sont très contrastés. En effet, pour les apports liquides, le premier et le troisième quartile valent respectivement 21,8 et 64,7 millions de m³, ce qui montre que 25 % des modules annuels représentant les années humides sont trois fois plus importants que ceux représentant les années sèches. En ce qui concerne les apports solides, ils sont beaucoup plus irréguliers que les apports liquides (figure 7). De plus, à travers la charge annuelle de l'eau exprimée par la turbidité de l'oued (figure 7), on voit que celle-ci, varie d'une année à une autre, et passe d'une valeur correspondante aux cours d'eau des zones tempérées à ceux de la frange aride.

– Le bilan annuel des apports liquides et solides laisse apparaître (figure 8) que le plus fort apport liquide annuel, 117,8 millions de m³, a été enregistré durant l'année 1979-1980 engendrant un apport solide de 670 000 tonnes. Cet apport liquide est plus important que celui de l'année 1986-87, évalué à 106,4 millions de m³, et qui a apporté 2,69 millions de tonnes, soit une dégradation spécifique de plus de 1 000 tonnes/km²/an. Ceci est dû à l'importance, remarquable, de la crue de novembre 1986, survenue après une longue période sèche, cumulant en cinq années consécutives un apport liquide de 109,3 millions de m³, accusant un déficit d'écoulement, relatif à la période d'étude, de l'ordre de 134 millions de m³.

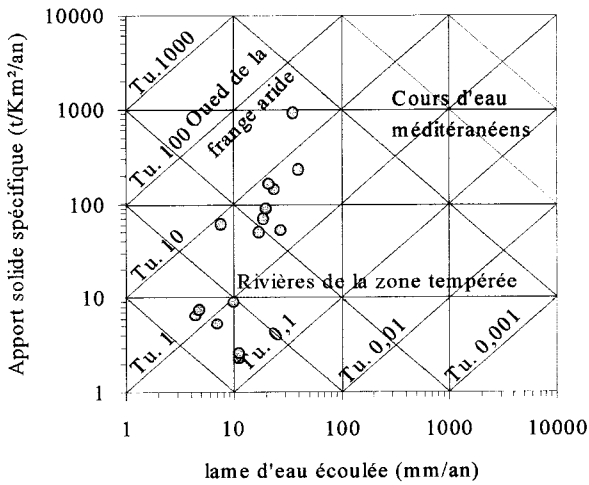


Figure 7 Variations de l'écoulement, de la turbidité et des transports solides spécifiques (BOUROUBA 1998 b).

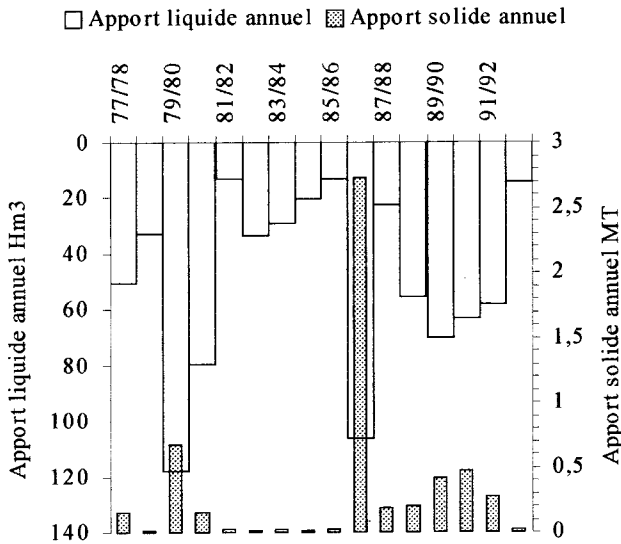


Figure 8 Bilan annuel des apports liquides et solides en suspension.

5 - CONCLUSION

On doit retenir de cette étude que les transports solides en suspension dans le bassin versant de l'Oued Mouilah se font essentiellement lors des périodes de crue. On distingue alors, deux périodes d'érosion actives, une première période en automne, la seconde, à plus faible ampleur, au printemps.

L'Oued Mouilah apporte annuellement 48,7 millions de m³ d'eau avec un flux moyen de 335 000 tonnes de sédiments en suspension, ce qui correspond à une dégradation spécifique relativement faible, de l'ordre de 126,4 tonnes/km²/an, valeur nettement au-dessous des estimations publiées pour des bassins voisins en Algérie et au Maghreb. Toutefois, les quantités de sédiments exportés par l'Oued sont très variables d'une année à une autre. On remarquera que l'année 1986-87 a apporté à elle seule 2,69 millions de tonnes, soit une dégradation spécifique de plus de 1 000 tonnes/km²/an, valeur qui correspond aux estimations de HEUSCH et MILLIES-LACROIX (1971), pour les bassins versants maghrebins (*tableau 3*).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALBERGEL J., BOUFAROUA M., PEPIN Y. 1998. Bilan de l'érosion sur les petits bassins versants des lacs collinaires en climat semi-aride Tunisien. *Bulletin de l'ORSTOM*, 18 : 67-75.
- BENEST M., ELMIS S. 1978. Précisions stratigraphiques sur le Jurassique inférieur et moyen de la partie méridionale des Monts de Tlemcen (Algérie), *C.R. Som. Soc. Géol. France*, Fasc. n° 8 : 295-296.
- BENGUEDDACH B. 1999. Potentialités des ressources en eau et leur affectations. *Bul. Int. de l'Eau et de l'Env.*, 21 : 8-12.
- BOUANANI A., TERFOUS A., BENSLIMANE M., CHERIF Z.A. 1999. Resources and stocks of water of Algeria. The First International Conference on the Geology of Africa. Nov. 23-25 Assiut EGYPT, Vol. (1) : 473-480.
- BOUROUBA M. 1996. Essai de quantification de l'érosion actuelle à partir des mesures de turbidité en Algérie orientale. *Bulletin de l'ORSTOM*, 16 : 232-250.
- BOUROUBA M. 1997. Les variations de la turbidité et leurs relations avec les précipitations et les débits des oueds semi-arides de l'Algérie orientale. *Bulletin de l'ORSTOM*, 17 : 345-360.
- BOUROUBA M. 1998 a. Phénomène de transport solide dans les Hauts Plateaux Orientaux. Cas de oued Lougmene et oued Leham dans le bassin de la Hodna. *Revue des Sciences et Technologie*, 9 : 5-11.
- BOUROUBA M. 1998 b. Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides de l'Oued Medjerda supérieur (Algérie orientale). *Bulletin de l'ORSTOM*, 18 : 76-97.
- DEMMAK A. 1982. Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en suspension en Algérie septentrionale. *Thèse de Docteur-Ingénieur*, Univ. Paris VI, France.
- GHORBEL A., CLAUDE J. 1977. Mesure de l'envasement dans les retenues de sept barrages en Tunisie : estimation des transports solides. In : Érosion and solid matter transport in inland waters. *IAHS Publ.*, 122 : 219-232.
- 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.
- HEUSCH B. 1982. Étude de l'érosion et des transports solides en zone semi-aride. Recherche bibliographique sur l'Afrique du Nord. *Projet RAB/80/04/PNUD*.
- LAHLOU A. 1990. Modèles de prédiction de la sédimentation des retenues de barrages des pays du Grand Maghreb. Atelier International UNESCO-AISH-ENIT sur l'Application des modèles mathématiques à l'évaluation des modifications de la qualité des eaux. Tunis. 312-324.
- MEGNOUNIF A., BOUANANI A., TERFOUS A., BABAHAMED K. 1999. Distributions statistiques de la pluviométrie et mise en évidence de l'influence du relief (Cas des Monts de Tlemcen, Nord-Ouest Algérien). *Revue des Sciences et Technologie*, 12 : 77-80.

- MEGNOUNIF A., TERFOUS A., BOUANANI A. 2000. Étude du transport solide dans l'Oued Mouilah (Nord Ouest Algérien). Colloque Méditerranéen Eau-Environnement. Alger. 128-132.
- MERZOUKI T. 1992. Diagnostic de l'envasement des grands barrages marocains. *Revue Marocaines du Génie Civil*, 38 : 46-50.
- MILLIMAN J.D., MEADE R.H. 1983. World wide delivery of river sediment to the oceans. *J. Geol.*, 91 : 1-21.
- MOUKHCHANE M., BOUHLASSA S., BOUADDI K. 1998. Quantification de l'érosion des sols du bassin versant El Hachef, par le biais du Cesium-137 (région de Tanger, Maroc). *Bulletin de l'ORSTOM*, 18 : 106-118.
- PROBST J.L., BAZERBACHI A. 1986. Transports en solution et en suspension par la Garonne supérieure. *Sci. Géol., Bull.*, 39,1 : 79-98.
- 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.
- RAIS S., ABIDI M. 1989. Prévion du transport solide sur un bassin versant. Application à l'envasement d'une retenue. *La Houille Blanche*, 3/4 : 296-300.
- REMIMI B. 1999. Envasement des barrages dans le Maghreb. *Bul. Int. de l'Eau et de l'Env.*, 22 : 4-8.
- RIAD S., SALIH A. 1999. Options for future water security in the Arab Countries. The First International Conference on the Geology of Africa. Nov. 23-25 Assiut EGYPT, Vol. (1) : 459-466.
- SNOUSSI M. 1988. Nature, estimation et comparaison des flux de matières issus de bassins versants de l'Adour (France), du Sebou et de l'Oum-Er-Rbia (Maroc). Impact du climat sur les apports fluviaux à l'océan. Mémoire de l'Institut de Géologie du bassin d'Aquitaine, n° 22, Bordeaux, France.
- SNOUSSI M. JOUANNEAU J.M., LATOUCH C. 1990. Flux de matières issus de bassins versants des zones semi-arides (bassins du Sebou et du Souss, Maroc). Importance dans le bilan global des apports d'origine continentale parvenant à l'océan Mondial. *J. Afric. Earth. Sci.*, 11 : 43-54.
- SOGREAH, 1967. Étude générale des aires d'irrigation et d'assainissement agricole en Algérie. Dossier, Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire, Algérie.
- SOGREAH, 1983. Érosion et transport solide au Maghreb. Analyse bibliographique. Rapport du projet RAB/80/011/PNUD.
- TIXERONT J. 1960. Débit solide des cours d'eau en Algérie et en Tunisie. *In* : IAHS Publ., 53 : 26-42.
- WALLING D.E. 1984. The sediment yields of African rivers. I.A.H.S. Publ. 144, Harare Symp. : 265-283.