

ESTIMATION DU TRANSPORT SOLIDE ET EVOLUTION DE LA RELATION « DEBIT LIQUIDE- DEBIT SOLIDE » DANS UN BASSIN SEMI-ARIDE (cas de l'oued Mellegue amont), Algérie Orientale.

S. KHENICHE ¹, A. LOUAMRI ², M. TAABNI ³

¹ Faculté des sciences de La terre, de la Géographie et d'Aménagement du Territoire, Université Frères Mentouri Constantine 1, Algérie.

² Laboratoire LASTERNE, Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et d'Aménagement du Territoire, Université Frères Mentouri Constantine 1, Algérie.

³ Laboratoire RURALITES, Université de Poitiers, France.

Reçu le 17/04/2017 – Accepté le 04/07/2019

Résumé

L'ampleur de l'érosion et du transport solide dans les bassins versants des zones semi-arides méditerranéennes a suscité l'intérêt d'un grand nombre de chercheurs, qui ont multiplié cette dernière décennie les études pour comprendre et expliquer les mécanismes, leurs causes et leurs conséquences. Les mesures hydrologiques (débits liquides, concentrations moyennes journalières) ont été menées sur le bassin-versant de l'oued Mellegue amont à la station de Laouinet sur une période de 29 ans (1973/74-2001/02) par les services de l'A.N.R.H d'Alger. L'analyse des données instantanées prélevées à la station entre 1973 et 1985 a permis de montrer l'importance de la relation statistique entre débits liquides et débits solides (QL-QS) et sur le plan temporel (saisons) la compréhension des phénomènes hydrologiques dans ce bassin. Les débits solides en suspension sont corrélés aux débits liquides moyens journaliers et nous avons pu tracer la courbe du transport solide qui donne une régression de type puissance $QS = b QL^a$. L'échelle saisonnière et journalière est très représentative du phénomène du transport solide. Les résultats obtenus par l'application de ce modèle sont très encourageants car les coefficients de corrélation débits liquides-débits solides annuels et saisonniers varient entre 0.85 et 0.95. Les valeurs maximales des apports solides enregistrées durant la saison du printemps dépassent les autres saisons. Cette variabilité trouve son explication dans les caractéristiques physiques du milieu (état du sol, couvert végétal), la nature agressive des pluies de printemps où le PJ max annuel du mois de mai atteint 75 mm de pluie /jour. L'apport solide moyen inter annuel à l'exutoire du bassin versant est estimé à 570512,7 tonnes/an, avec un transport solide spécifique de 161 tonnes/km²/an. Cette valeur reste relativement faible par rapport à celles observées pour d'autres bassins à régime hydrologique similaire.

Mots clés : Algérie, Medjerda, Mellegue amont, zone semi-aride bassin-versant, hydrologie, transport solide spécifique « T.S.S », débit liquide.

Abstract

The extent of erosion and solid transport in the catchment areas of semi-arid Mediterranean areas has attracted the interest of a large number of researchers, who have multiplied studies over the past decade to understand and explain the mechanisms, their causes and consequences. Hydrological measurements (liquid flows, average daily concentrations) were carried out over a 29-year period (1973/74-2001/02) in the watershed from the upstream Mellegue wadi to the Laouinet station by the Algiers A.N.R.H. services. The analysis of instantaneous data collected at the station between 1973 and 1985 showed the importance of the statistical relationship between liquid and solid flows (QL-QS) and the temporal (seasonal) understanding of hydrological phenomena in this basin. The suspended solid flows are correlated to the daily average liquid flows and we were able to plot the solid transport curve which gives a regression of the power type $QS = b QL^a$. The seasonal and daily scale is very representative of the phenomenon of solid transport. The results obtained by applying this model are very encouraging because the correlation coefficients between annual and seasonal liquid and solid flows vary between 0.85 and 0.95. The maximum values of solid inputs recorded during the spring season exceed other seasons. This variability is explained by the physical characteristics of the environment (soil condition, vegetation cover), the aggressive nature of spring rains, where the maximum annual PJ for May reaches 75 mm of rain/day. The average interannual solid input to the catchment outlet is estimated at 570512.7 tonnes/year, with a specific solid transport of 161 tonnes/km²/year. This value remains relatively low compared to those observed for other basins with similar hydrological regimes.

Keywords: Algeria, Medjerda, Mellegue upstream, semi-arid watershed area, hydrology, specific solid transport "T.S.S", liquid flow.

ملخص

ف ان اهمية التعرية المائية ونقل الرواسب في الاودية والاحواض التجميعة بمنطقة البحر الأبيض المتوسط وخاصة المناطق القاحلة الشبه جافة قد لفتت اهتمام العديد من الباحثين في العقد الماضي الذين تضاعفت دراساتهم لفهم وشرح الآليات والأسباب وكذا العواقب المترتبة عنها. القياسات المستعملة في الدراسة (متوسط التدفق السائل م³/ثا، تركيز الحمولة العالقة غ/ل) تم تسجيلها على مستوى المحطة الهيدرومترية (العوينات) للحوض التجميعي العلوي لواد ملاق (مجردة، الجزائر) من طرف الوكالة الوطنية للموارد المائية بالجزائر العاصمة على امتداد 29 سنة من (1973-1974) إلى (2001-2002). وقد أظهر تحليل البيانات أهمية العلاقة الإحصائية بين معدلات التدفقات الصلبة والسائلة على المستوي الزمني وخاصة الفصلي لفهم العمليات الهيدرولوجية في هذا الحوض. في هذا السياق قمنا بربط الصببيات الصلبة مع الصببيات السائلة لتتوصل على منحنى

الحمولة الصلبة حسب العلاقة التراجعية: $QS = b.QIa$ على المستوى الفصلي واليومي لتمثيل ظاهرة النقل للحمولة الصلبة العالقة بشكل واضح. النتائج المتحصل عليها من تطبيق هذا النموذج مشجعة جدا حيث أعطت علاقة سنوية وموسمية قوية يظهر ذلك من خلال معاملات الارتباط التي تتراوح ما بين (0,85 و 0,95). القيم القصوى المسجلة للحمولة الصلبة كانت خلال فصل الربيع حيث يفوق الفصول الأخرى، هذا التباين في المردود يرجع الي طبيعة الأمطار الربيعية الغزيرة حيث سجل أكبر تساقط يومي (75مم/يوم) من شهر ماي وكذا نوع التربة وحالة الغطاء النباتي. المتوسط البين سنوي لحجم الحمولة الصلبة المنقولة المسجلة على مستوى المحطة الهدر ومترية قدر ب (161 طن/كم²/سنة) أي (570512,7 طن/سنة)، تعتبر هذه القيمة ضعيفة نسبيا مقارنة مع تلك التي سجلت في الاحواض التجميعية في المناطق ذات المناخ شبه الجاف وأنظمة هيدرولوجية مماثلة.

الكلمات المفتاحية: الجزائر، حوض مجردة، الحوض العلوي لواد ملاق، مناخ شبه جاف، الهيدرولوجيا، الحمولة الصلبة النوعية "T.S.S"، التدفق السائل.

Introduction :

L'érosion est une problématique importante au Maghreb et en Algérie, notamment dans les zones semi arides recevant moins de 400 mm de pluie par an. Les facteurs climatiques ont une influence considérable sur la perte des sols. La quantification du transport solide dans ces zones reste peu aisée du fait de l'irrégularité du régime hydro climatique, du contexte physico-géographique et de l'insuffisance des données nécessaires pour toute étude. Les travaux relatifs à la modélisation de l'érosion et du transport solide ont mis au point des relations liant le transport solide aux paramètres explicatifs (pluie, débit liquide et type de substrat en affleurement).

En Algérie comme dans la plupart des pays du Maghreb, le modèle de régression est justifié par plusieurs chercheurs dans ce contexte, il convient de citer les travaux de (Tixeront 1960, Demmak 1982, SOGREAH 1983, Walling 1984, Williams 1989, Achite et Ouillon 2007, Khanchoul, Jansson et Lange 2007, Omar Elahcene et Remini 2009, Louamri et al. 2013). Ils mettent en évidence des

relations susceptibles d'être appliquées à des régions ou à des bassins versants pour lesquels les mesures sont rares, incomplètes ou inexistantes.

La présente étude a pour objectif de quantifier le transport solide par le débit liquide dans le bassin versant de l'Oued Mellegue dans la région de Tébessa : le modèle de régression liant le débit liquide au débit solide utilisé est le modèle puissance, représenté par la relation empirique : $QS=b QL^a$.

2. CONTEXTE

2.1. Situation géographique

Le bassin versant de l'oued Mellegue amont, à la station de Laouinet, situé dans l'extrême Nord-Est de l'Algérie a une superficie de 3526 km². Il fait partie du bassin versant de la Medjerda (7870 km²), qui s'étale à cheval sur l'Algérie et la Tunisie. Cette zone est drainée par "Oued Mellegue" qui coule sur une longueur d'environ 156 km depuis sa source à djebel Tadinart au Sud- Ouest jusqu'à la frontière Algéro-tunisienne au Nord-est (fig.1).

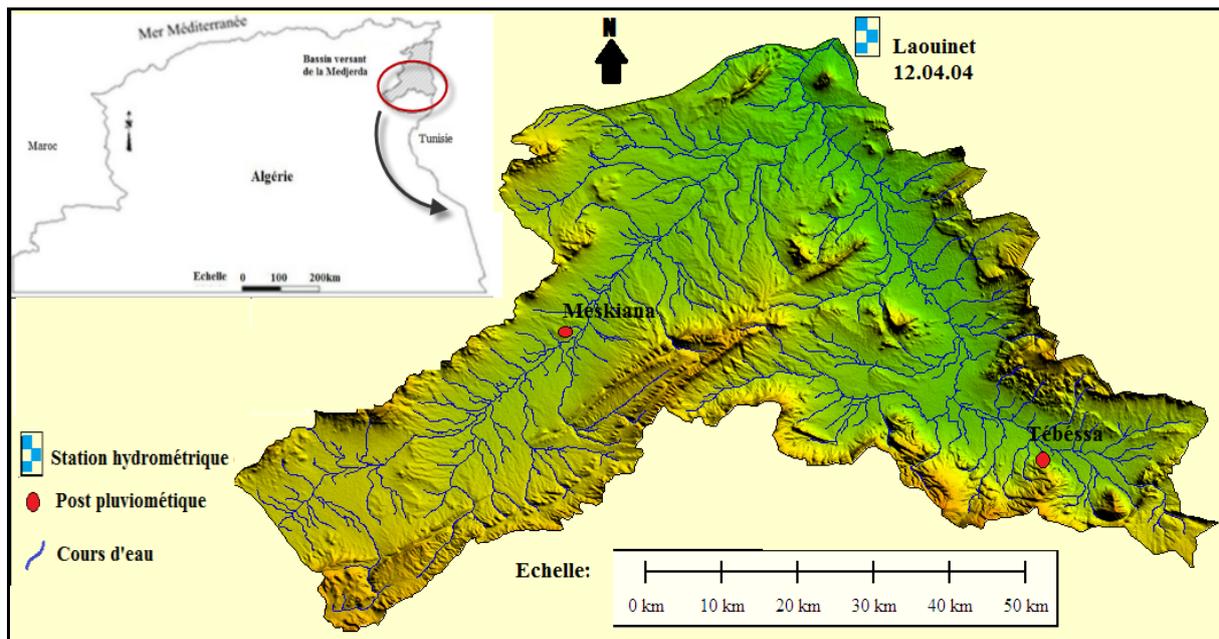


Fig. 1 : Situation géographique de la zone d'étude, Medjerda (Algérie orientale).

ESTIMATION DU TRANSPORT SOLIDE ET EVOLUTION DE LA RELATION « DEBIT LIQUIDE- DEBIT SOLIDE » DANS UN BASSIN SEMI-ARIDE

La zone d'étude comprise entre les méridiens « 7°14'', 8°21'' Est », et les parallèles « 35°14'' ,35°51'' Nord », s'étend sur les territoires des wilayas de Tébessa et Khenchela. Le bassin versant est situé au Sud de l'Atlas Tellien, dans la zone des hautes plaines.

2.2. Présentation générale du Bassin Versant :

Le bassin versant de l'oued Mellegue est caractérisé par une pente globale de 3.84 m/km. L'altitude maximale, minimale et moyenne étant respectivement de l'ordre de 1624m, 614m et 948 m avec une dénivelée spécifique de 228 m (tableau 1).

Tableau .1 : Caractéristiques morpho métriques du sous bassin de l'oued Mellegue amont.

Caractéristiques	Valeurs	unité
Surface (S)	3526	km ²
Périmètre (P)	358	km
Indice de compacité, (Kc)	1,68	//
Altitude minimale (H _{min})	614	m
Altitude moyenne (H _{moyenne})	948	m
Altitude maximale (H _{max})	1624	m
Longueur du rectangle équivalent (L)	156	km
Largeur du rectangle équivalent (l)	63	km
Indice de pente globale (Ig)	3,84	m/km
Dénivelée (D)	600	m
Dénivelée spécifique (Ds)	228	m
Longueur du talweg principal (L.w.p)	104	km
Densité de drainage (Dd)	0,27	km/km ²
Temps de concentration (T)	22	heures

D'après la classification de l'O.R.S.T.O.M les reliefs du bassin versant d'oued Mellegue sont des reliefs assez forts en majorité plats entourés par les massifs montagneux (Djebel Doukhane, Mont de Troubia, Djebel Tadinart.) qui forment la ligne de partage des eaux de surface. La zone d'étude est plutôt allongée avec un indice de compacité de 1,64. La densité de drainage est d'environ 0,27 km / km² et la longueur de son talweg principal est de 156 km.

Du point de vue du couvert végétal, le bassin versant de l'Oued Mellegue est moyennement boisé, la zone forestière couvre la partie montagneuse .Dans la partie Sud-Est, la zone de Djebel Tella et Djebel Anoual est couverte de forêt de Pin d'Alep et Genévriers, ainsi que la zone de Djebels Tadinart et Hammamir dans la partie Sud-Ouest. À l'Est et à l'Ouest de Oued Ksob, on y rencontre également les forêts de Pin d'Alep sur

Djebel Zitouna à l'Est et Djebel Metloug à l'Ouest. Les versants Est de Oued Chabro sont couverts de forêt de Pin d'Alep et de broussaille. Enfin, la zone limitée par djebel Ouenza au Nord-Est et Djebel Guelb au Sud-Ouest est constituée par une vaste zone forestière de Pin d'Alep, de broussaille et de maquis. Pour les cultures, on a la céréaliculture en sec (régulière ou occasionnelle) et les cultures irriguées (arboriculture et cultures maraîchères).

2.3. Lithologie du bassin versant

Les formations prédominantes du bassin de Oued Mellegue sont celles du Crétacé (marnes et marnes argileuses grises à intercalations de marno-calcaires) et celles du Quaternaire (dépôts détritiques à granulométrie variable allant des éléments les plus fins (argiles, limons et sables) à des particules grossiers tels que les graviers, les cailloux, les galets et les blocs de nature calcaire et siliceuse (fig. 2). Les formations des calcaires sont assez peu présentes (calcaires lacustres, calcaires gris), alors que la majorité des terrains peu ou pas perméables (Marno-calcaire, argile,...) limitent la possibilité d'infiltration et permettent l'écoulement de surface. Monographies hydrologiques n°6, (O.R.S.T.O.M. 1981).

2.4. Caractères climatiques

Le bassin versant se caractérise par un climat semi-aride avec un hiver froid -sec et un été chaud, la température moyenne estimée est de 15°C (Mebarki 2009). Il reçoit entre 100 mm et 500 mm de pluie par an avec une moyenne interannuelle de 279,8mm pour une période allant de 1969 à 2012.

Le régime annuel est très irrégulier (fig.3) .La période (2003 -2012) correspond à des années relativement pluvieuses avec un maximum de précipitations de 559,2mm enregistré en 2010 à l'exception des années 2007 et 2009. De 1977 à 2003 on assiste à une série d'années déficitaires. Les années les plus sèches où nous avons enregistré près de 100 mm correspondent à 1970 et 1993.

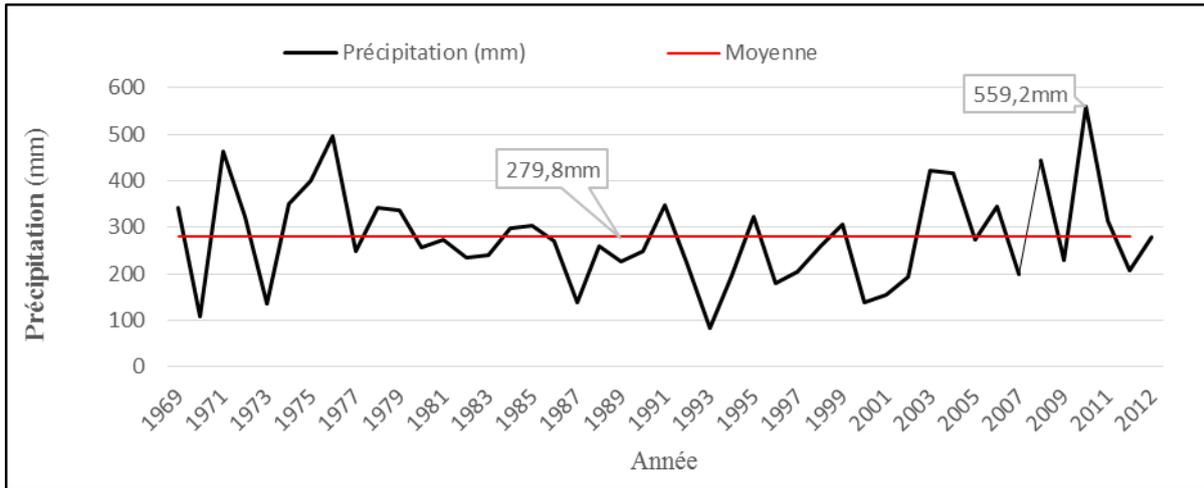


Fig. 3 : Variation interannuelle des précipitations, station de Laouinet (1969 à 2012)

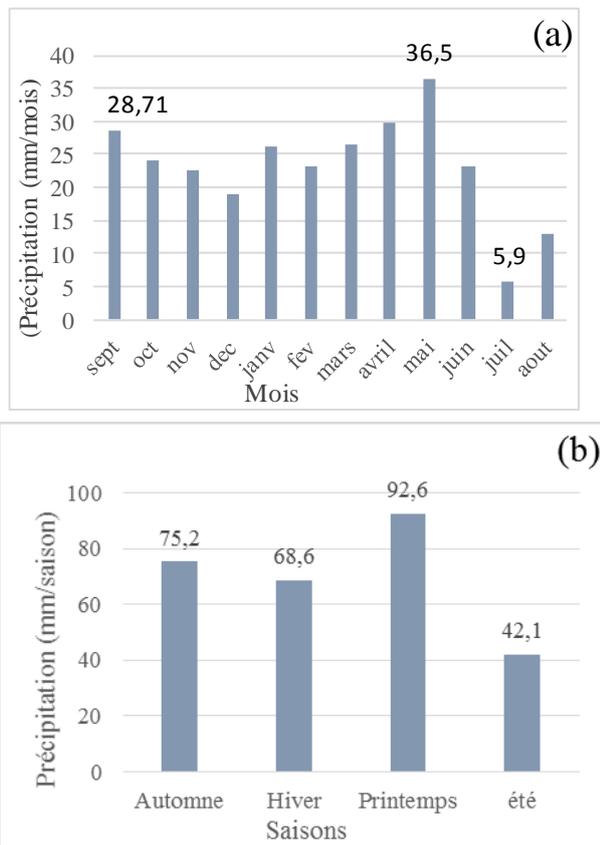


Fig. 4 : Variation inter mensuelle et saisonnière des précipitations : station de Laouinet, (1969 à 2012).

Les variations des précipitations moyennes mensuelles montrent que les mois pluvieux sont septembre (28,7 mm) et octobre, (24 mm), janvier et mars (26mm), avril (29mm) et la valeur maximale au mois de mai (36,6 mm). Les mois juillet et août sont pratiquement secs (6 et 13 mm (Fig.4.a), la distribution saisonnière montre que l'automne (75 mm) et le printemps

(92mm) sont les saisons les plus pluvieuses, et l'été (42mm) la saison la plus faiblement arrosée (Fig.4.b).

3. DONNEES ET METHODES UTILISEES

3.1. Données

Les données de débits liquides et de concentrations en sédiments en suspension à la station de Laouinet (X = 968 km, Y = 298,28 km, Z = 650 m), située juste après la jonction des oueds Chebro et Meskiana, ont été fournies par l'Agence Nationale des Ressources Hydrologiques (A.N.R.H), responsable de la gestion des stations et des mesures de jaugeage en Algérie.

Tableau .2 : Données des prélèvements instantanés des débits liquides et des concentrations des matières en suspension

Echelle de temps	Taille de l'échantillon (n)	
Série complète	1332	
Série saisonnière	Automne	340
	Hiver	234
	Printemps	468
	Eté	290

Les mesures des débits liquides sont obtenues de deux façons : sur la base de la courbe de tarage à partir des hauteurs d'eau lues sur une échelle limnimétrique d'une part, et par dépouillement des hauteurs d'eau enregistrées par un limnigraphe à flotteur d'autre part. A chaque mesure de hauteur d'eau, on prélève un échantillon d'eau chargée, sur la rive à la surface de l'eau au moyen d'un flacon de (1L). Les prélèvements sont transférés dans des bouteilles en plastique, puis stockés dans une glacière à basse température (T= 4 °C) (Bouanani 2012). Les échantillons sont ensuite ramenés au laboratoire pour l'analyse. Les sédiments filtrés sur papier, séchés à l'étuve pendant 30 minutes à une température de (105 °C), et pesés

pour aboutir à la masse de résidu sec (concentration en g /l). Cette méthode a été appliquée pour déterminer les concentrations de sédiments selon une procédure standard utilisée sur tout le territoire national et par de nombreuses agences mondiales (Achite et Ouillon 2007 ; Khanchoul et al. 2007) par la relation suivante : $C = (P_2 - P_1) / V$

C : Concentration exprimée en grammes par litre

P₁ : La masse du filtre en fibre de verre sec et vide exprimée en grammes avant la filtration.

P₂ : La masse du filtre en fibre de verre avec les sédiments en suspension exprimée en grammes.

V : Le volume de l'échantillon filtré exprimé en litres

La méthode d'échantillonnage varie selon l'ampleur de l'événement : en période de crue, les prises montent en intensité jusqu'à des intervalles de temps d'une heure ou même d'une demie heure en fonction de la vitesse de l'augmentation des débits liquides, en période d'écoulement normal ou en période d'étiage, une prise quotidienne est effectuée généralement à midi (Ghenim et al. 2007). Cependant, il faut prendre en considération que la technique de mesure de transport solide qui est basée sur un prélèvement unique à proximité de la berge ne reflète pas la répartition réelle des concentrations dans la rivière (Louamri et al. 2013). Touat (1989) signale une sous-estimation de 35% par rapport à des prélèvements effectués sur plusieurs verticales et à différentes profondeurs de la section mouillée de l'un des oueds des côtières algérois. Cette charge solide mesurée est attribuée à la concentration instantanée en matières en suspension véhiculées par le cours d'eau en (g /l).

Le débit des matières en suspension est donc le produit de la concentration évaluée en (kg/m³) par le débit liquide correspondant mesuré en (m³/s). $Q_s = C \cdot Q_L$

Où : **Q_s** : débit solide en suspension (kg/s), **Q_L** : débit liquide (m³/s), **C** : concentration des matières en suspension (g/l).

3.2. Modélisation (Q_L-C), (Q_L-Q_s)

Les couples de valeurs sélectionnées sont reportés sur une échelle log-log. Les régressions sont basées sur les valeurs instantanées des débits liquides (Q_L en m³/s) et des concentrations en matières en suspension (C en g/l) mesurées entre mai 1973 et mai 1985 sur un échantillon de 1332 couples (tableau 2), en général suivant un modèle de puissance ($C = b Q_L^a$).

Où :

C = la concentration de sédiments en suspension mesurée (g/l), **Q_L** = le débit liquide (m³ /s),

L'approche méthodologique utilisée consiste à développer un modèle de régression qui permet d'estimer la charge solide transportée par les cours d'eau. Le modèle de régression qui est justifié par

plusieurs chercheurs tels que (Bourouba 1997, Achite et al. 2007, Khanchoul et al. 2012, Megnounif et al. 2013) permet d'évaluer le débit solide à partir du débit liquide observé, et d'étudier la charge solide en suspension à différents pas de temps : annuel, saisonnier et mensuel. La relation retenue entre le débit solide et liquide est de type puissance : ($Q_s = b Q_L^a$).

Où :

Q_s = débit solide mesuré (kg/s), **Q_L** = le débit liquide (m³ /s),

La fonction puissance est définie par $y = bx^a$, où **a** et **b** sont des constantes déterminées de façon à ajuster au mieux la série de points. Pour ajouter une fonction puissance, aucun point de la série ne doit avoir une abscisse ou une ordonnée négative ou nulle. Une fonction puissance est une droite dans un repère logarithmique. La série de points est d'abord convertie dans un repère logarithmique où la fonction puissance est représentée par la droite des moindres carrés. Pour calculer les composantes (**a**) et (**b**) de la régression on applique les équations (1) et (2) :

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \dots\dots\dots(1)$$

$$b = \bar{y} + a\bar{x} \dots\dots\dots(2)$$

3. 3. Calcul des apports solides

Les mesures des débits moyens journaliers pour la période de 29 ans (1974-2002) sont utilisées pour l'estimation des débits solides, des apports liquides et de transport solide spécifique (T_{SS}). Le transport solide spécifique T_{SS} (tonnes / km² / an) est donné par le rapport entre l'apport solide total annuel **As** en (tonnes/ an) et la surface totale du bassin versant **S** en (km²). $T_{SS} = As / S$, $As = Q_s \cdot T \cdot 10^{-3}$

Où :

T_{SS} = le transport solide spécifique en (tonnes /km²/an, **As** = L'apport solide en (tonnes/an),

Q_s = débit solide en suspension mesuré (kg/s), **T** = le temps en secondes (s), **S** = surface du bassin versant en (km²).

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1. Les régressions entre débits solides et débits liquides

4.1.1. Régression unique (série complète)

L'analyse graphique de la (fig. 5) montre une bonne corrélation en puissance liant les débits solides aux débits liquides, l'exposant (**a**) de notre modèle est égal à 1,632, valeur proche de celles trouvées par bon nombre de chercheurs ayant travaillé dans des régions semi-arides (tableau 3). Les points du nuage obtenus

sont alignés autour de la droite de régression. On observe un deuxième nuage sous la droite correspondant à des couples de points formés par de forts débits liquides (de 6 à 200 m³/s) avec de faibles débits solides (de 0,001 à 5kg/s). L'explication de ce nuage se trouve dans l'analyse saisonnière, précisément en automne et en été, nous rappelons, pour exemple, les enregistrements des dates suivantes :

Le 28/09/1975 un débit liquide maximal de (1m³/s) avec un débit solide de (0,24kg/s),

Le 05/10/1976, un débit maximal de (8m³/s) avec 0,061kg/s,

Le 17/11/1976 le débit de (28,75m³/s) engendre un débit solide de (0,575kg/s).

4.1.2. Régressions saisonnières

La composante saisonnière des transports solides est utilisée également pour les régressions (Q_L-Q_s) (Demmak 1982). La procédure consiste à regrouper, suivant les différentes saisons, les valeurs instantanées : **automne** (22 Septembre–21 Décembre), **hiver** (22 Décembre–21 Mars), **printemps** (22 Mars–21 Juin) et **été** (22 Juin–21 Septembre). La relation liant les débits liquides aux débits solides en suspension est du même type que la régression unique.

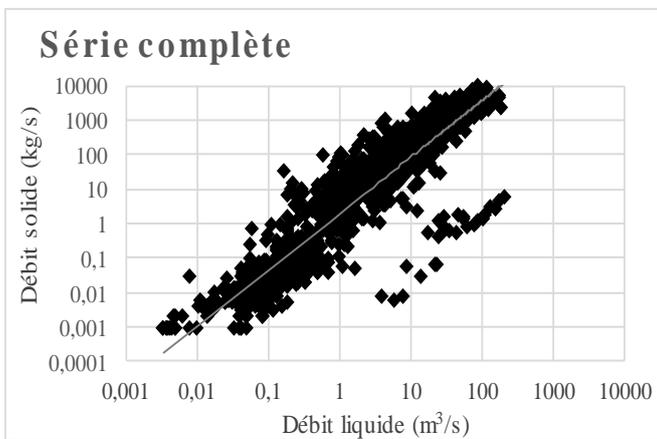
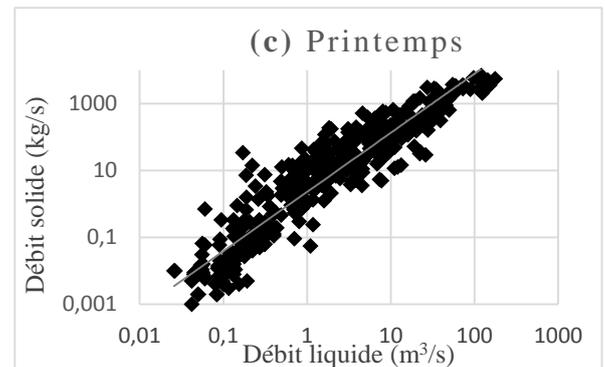
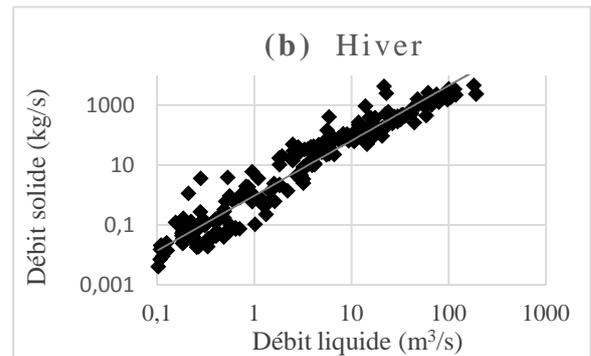
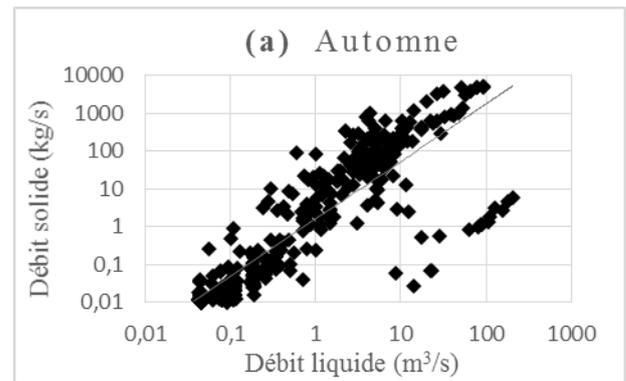


Fig. 5 : Relations entre les débits liquides et les débits solides instantanés de l'oued Mellegue amont, à la station de Laouinet (Medjerda, Algérie) (1973/ 1985).

On remarque aussi, toujours d'après la (fig. 5), que des débits liquides forts (environ 100 m³/s) n'ont engendré qu'un faible transport solide entre (1et 10 kg/s) c'est à dire de faibles concentrations dues à des crues d'hiver et de printemps dans ce bassin, durant cette période le sol étant plus ou moins saturé et bien couvert résiste mieux à l'écoulement superficiel .

Tableau 3 : Quelques valeurs de « a » publiées pour des bassins versants en Algérie.

Bassin versant	La pente (a)	Auteurs
Tafna (Algérie)	1,70	Terfous <i>et al.</i> (2001)
Oued Wahrane	1,32-1,95	Benkhaled et Remini. (2003)
Oued Haddad (Algérie)	1,45	Achite et Meddi. (2004)
Oued Mouilah (Algérie)	1,05	Ghenim <i>et. al.</i> (2007)
Haute Tafna (Algérie)	1,57	Megnounif. (2007)
Seybouse (Mdjez Ammar)	1,49	Louamri <i>et. al.</i> (2013)
Oued Mellegue amont	1,63	Présente étude



ESTIMATION DU TRANSPORT SOLIDE ET EVOLUTION DE LA RELATION « DEBIT LIQUIDE- DEBIT SOLIDE » DANS UN BASSIN SEMI-ARIDE

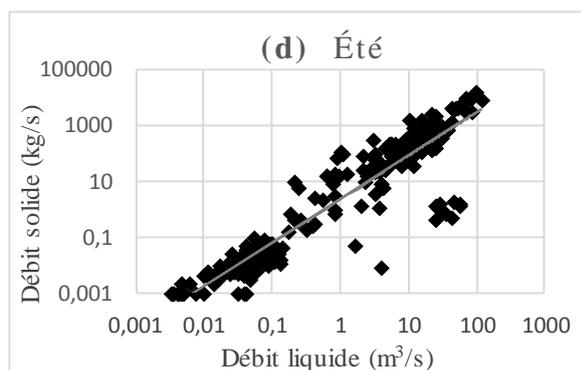


Fig.6 : Relations entre les débits liquides et solides instantanés à l'échelle saisonnière de l'oued Mellegue amont, à la station de Laouinet (1973/1985).

Le tableau 4 présente les relations obtenues pour différentes échelles temporelles (série complète, automne, hiver, printemps, été), et les coefficients de corrélation associés montre que la relation puissance est quasi systématiquement le meilleur modèle prédictif de la relation débit liquide (Q_L) -débit solide (Q_s).

Tableau 4 : Relations débit liquide – débit solide pour les différentes échelles de temps de (01Mai1973/30 Mai 1985).

Série complète		(n)	(a)	(b)	R ²	R	Modèle retenu
		1332	1,632	1,920	0,842	0,91	$Q_s = 1,920 Q_L^{1,632}$
Série Saisonnière	Automne	342	1,524	1,595	0,701	0,84	$Q_s = 1,595 Q_L^{1,524}$
	Hiver	234	1,839	0,944	0,932	0,96	$Q_s = 0,944 Q_L^{1,839}$
	Printemps	469	1,767	2,306	0,883	0,94	$Q_s = 2,306 Q_L^{1,767}$
	Été	290	1,559	2,270	0,879	0,93	$Q_s = 2,270 Q_L^{1,559}$

D'après le tableau 04 et la figure 6 les corrélations obtenues sont toutes significatives et varient dans l'intervalle

(de 0.84 –à 0.96). Cependant, pour chacune des régressions d'automne et d'été, on observe un second nuage de points sous la droite :

Les pluies printanières se déversent sur un sol saturé et herbeux, leur écoulement dans le cours d'eau se concentre sur le creusement linéaire se traduisant par des masses de boue issue de l'effondrement des berges ; dans ce cas l'érosion a pour théâtre le lit de l'oued.

Par contre les pluies automnales provoquent des crues ayant une forte concentration de matières en suspension issues du lessivage des sols (sec, fragile et dénudé) du bassin versant.

4.2. Les apports solides

4.2. 1.Les apports solides annuels

Pour estimer les apports solides en suspension, nous avons utilisé la relation de la série complète obtenue ($Q_s = 1,920 Q_L^{1,632}$), sur la période (1973/74 à 2001/02). La figure 7 montres que l'oued Mellegue amont transporte en moyenne annuellement un apport liquide de 26,77 hm³ d'eau et 57.10⁴ tonnes des sédiments, soit une érosion hydrique spécifique de l'ordre de 161,8 tonnes/km²/an.

Les apports aussi bien liquides que solides sont plus importants pour la période entre 1985/86 à 1990/91, et

l'année 1995/96 que par rapport au reste de la période étudiée. L'année 1995/96 est remarquable par son apport liquide (120hm³) et son transport solide spécifique (1104 tonnes/km²/an), soit sept fois plus que la moyenne interannuelle qui est de 161,8

tonnes/km²/an.

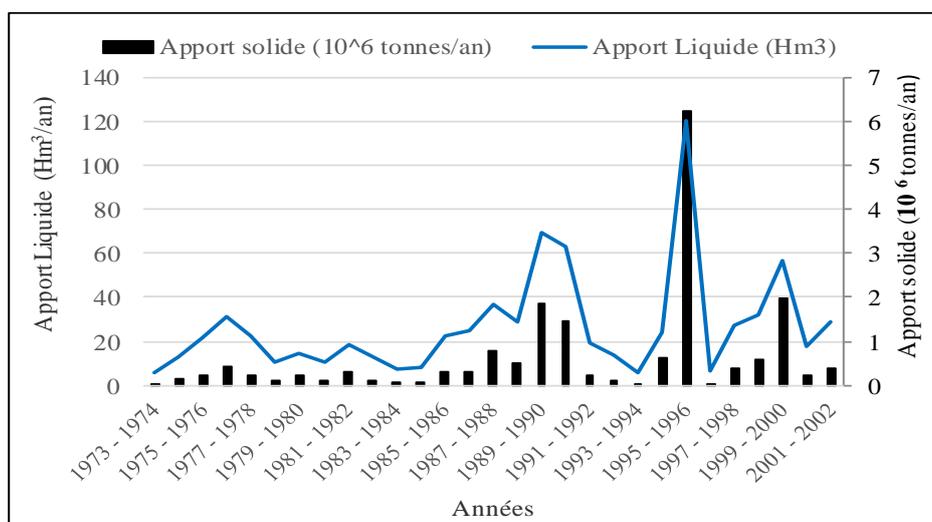


Fig. 7 : Variation annuelle des apports liquides et solides de l'oued Mellegue amont à la station de Laouinet, (1974/2002)

Tableau 5 : Valeurs des dégradations spécifiques publiées pour les bassins de l'Algérie septentrionale.

Bassin versant	Dégradation spécifique (tonnes/km ² /an)	Auteurs
Isser (Lakhdaria)	2 300	Bourouba, 1997
Haut Tafna	1120	Megnounif et, al. (2003)
Oued Seb dou	937	Bouanani (2004)
Oued Mina	187	Achite et, al. (2005)
Kebir bassin	572	Khanchoul et, al. 2012
Oued Bellah	610	Omar Elahacen et al.2013
Barrage H. Debagh	281	Louamri et, al. (2013)
Oued Mellegue amont	161	La présente étude

4.2.2. Les apports solides mensuels

La figure 08, montre que les mois de mai, juin et septembre, sont les plus importants de l'année en apport solide (34 % en mois de mai, 11,5 en juin et 22% en mois de septembre). En effet, le mois de mai assure près de 15 % des apports liquides annuels, le mois de septembre engendre un apport de 21% et le mois de juin avec un apport de 13%.

Cela peut s'expliquer par l'arrivée de crues de l'été et de l'automne. Dans ce contexte, on citera la crue de Mars 1976 avec un apport liquide de 1,5 hm³ transportant un apport solide de 42298,86 tonnes, la crue de septembre 1979 avec un apport liquide de 2,68 hm³ crée un apport solide de 47234,7 tonnes et la crue de novembre 1982 engendrant un apport solide de 624 tonnes de sédiments durant quelques jours leur apport liquide atteint 0,78 hm³.

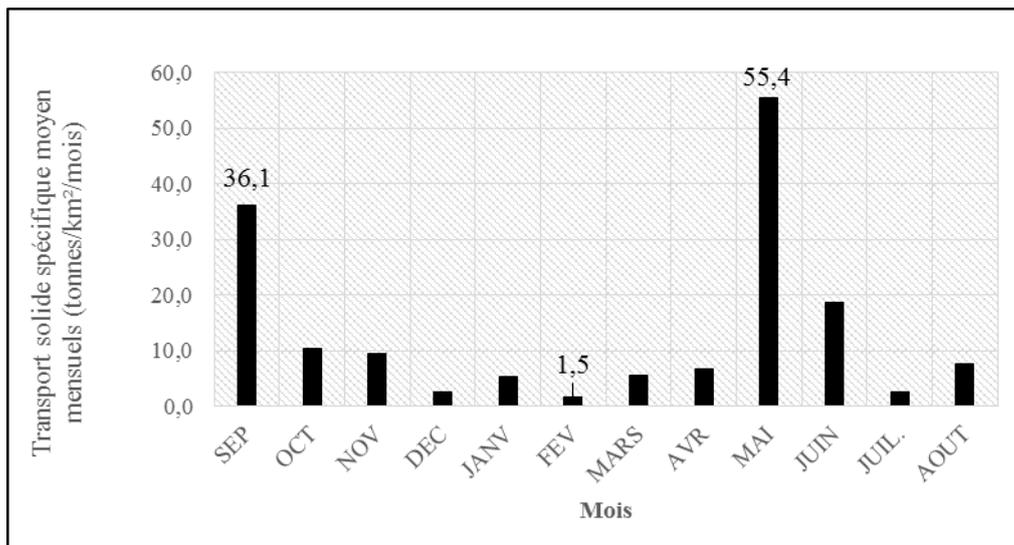


Fig. 8 : Variation inter-mensuelle du transport solide spécifique de l'oued Mellegue amont à la station de Laouinet, (1974/2002)

4.2.3. Les apports solides saisonniers

Dans le cas du bassin versant de l'oued Mellegue amont, c'est au printemps et en automne qu'on note les écoulements les plus importants qui engendrent les plus forts apports solides en suspension. Plus de 42 % du flux solide sont enregistrés au printemps par rapport au total annuel, l'équivalent de 67,57 tonnes/km²/saison, soit un apport solide de 238268,5 tonnes/saison. Il s'agit de la période où l'écoulement est important avec des sols saturés et la présence du couvert végétal, l'érosion y est beaucoup plus liée au ravinement et au sapement des berges du réseau d'écoulement (Bouanani 2004).

Un apport solide de 197351,12 tonnes soit un apport solide spécifique de 55 tonnes/km²/saison c'est à dire

34% de l'apport annuel est transporté par un apport liquide de 11 hm³ en automne. Cela signifie que l'automne est une saison de lessivage, les premières pluies se traduisent par des crues qui emportent l'essentiel des sédiments déposés et préparés pendant l'été dans le lit et sur les berges du cours d'eau. L'été reste une saison faible par rapport aux autres saisons mais le rendement du transport solide est trois fois plus important que celui de l'hiver (9,43 tonnes/km²/saison), le bassin reçoit les pluies estivales ayant des pluies journalières maximales qui atteignent respectivement au mois de juin 1978, 1990, 2003 et 2010 (32mm, 36,5mm, 29mm et 57,8 mm, et 29mm au mois de juillet 2003, et pour le mois d'aout (32 mm, 27 mm), 2003 et 2007.

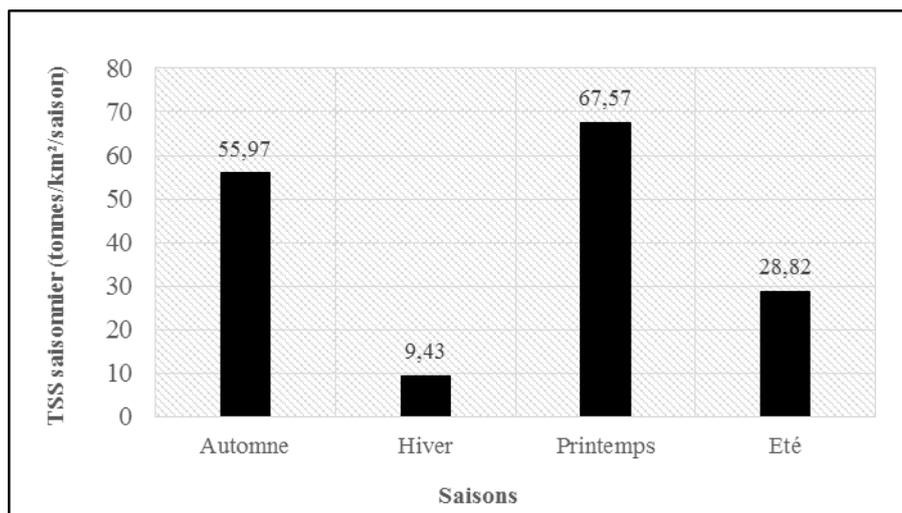


Fig.9 : Variations saisonnières de transport solide spécifique de l’oued Mellegue amont à la station de Laouinet, (1974/2002).

5. CONCLUSION

L’estimation des transports solides en suspension a été réalisée par le biais des régressions entre 1332 couples de mesures instantanées à différents pas de temps (annuel, saisonnier et mensuel) appliquées sur des débits moyens journaliers enregistrés durant la période étudiée (1973/74-2001/02).

La relation liant les débits liquides aux débits solides en suspension pour le bassin de l’oued Mellegue est de type puissance de forme générale : $(Q_s = b Q_L^a)$ dans le modèle annuel obtenu $(Q_s = 1,920 Q_L^{1,632})$.

Les transports solides en suspension dans le bassin-versant de l’oued Mellegue amont sont très variables dans le temps, et causés principalement par les caractéristiques morphologiques et hydrologiques. Ils surviennent essentiellement durant deux saisons : au printemps (67,5 tonnes/km²/an), en automne (56 tonnes/km²/an), et de plus faible ampleur en hiver (9,4 tonnes/km²/an). Ces quantités des sédiments varient de 24064,81 tonnes pour l’année 1993-1994, soit une dégradation spécifique de 6,8 tonnes/km²/an à 3894478,27 tonnes pour l’année 1995-1996, donnant un transport solide spécifique de 1104 tonnes /km²/an, soit un rapport de 1 pour 161.

L’apport moyen interannuel en sédiments enregistré à la station de Laouinet du bassin-versant de l’oued Mellegue est évalué à 570512,69 tonnes, ce qui correspond à une dégradation spécifique de 161,8 tonnes /km², cette valeur est très modeste relativement aux estimations faites par plusieurs chercheurs pour l’Algérie (tableau 5).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Achite, M. et M. Meddi (2004).** Estimation du transport solide dans le bassin versant de l’oued Haddad (Nord- Ouest Algérien). *Sécheresse*, 4, 367-373.
- Achite, M. et M. Meddi (2005).** Variabilité spatio-temporelle des apports liquide et solide en zone semi-aride. Cas du bassin de l’oued Mina (Nord-Ouest Algérien). *Rev. Sci. Eau*, 18 (spécial), 37-56.
- Achite, M. et Ouillon, S., 2007.** Suspended sediment transport in a semiarid watershed, Wadi Abd, Algeria (1973–1995). *Journal of Hydrology*, 343, 187–202.
- A.N.R.H, Direction nationale Alger (Algérie) 2015.** Station hydrométrique de Laouinet code 12.04.04.
- Benkhaled, A. et Remini, B., 2003.** Analyse de la relation puissance débit solide–débit liquide à l’échelle du bassin-versant de l’Oued Wahrane (Algérie). *Revue des Sciences de l’Eau*, 16 (3), 333–356. http://www.rse.inrs.ca/art/volume16/v16n3_333.
- Bouanani, A. (2004).** Hydrologie, transport solide et modélisation : étude de quelques sous bassins de la Tafna. Thèse de Doct. Es-sciences, Univ. Tlemcen, Algérie, 247 p.
- 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*, 1997, 17 : p. 345-360.
- Demmak, A. (1982).** Contribution à l’étude de l’érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de docteur- ingénieur, Paris, France, 323 p.
- Elahcene, O, Remini, B. 2009.** Corrélation entre la concentration en matières en suspension et le débit liquide dans le bassin versant d’oued Bellah (Algérie).

European Journal of Scientific research. ISSN 1450-216X, Vol. 26, N°1, pp. 139-146.

Elahcene, O. et al., 2013. Étude de la dynamique sédimentaire dans le bassin versant de l'Oued Bellah (Algérie). *Hydrol. Sci. J.*, 58(1), 224-236.

Ghenim A., A. Terfous ET A. Seddini (2007). Étude du transport solide en suspension dans les régions semi- arides méditerranéennes : cas du bassin versant de l'Oued Sebdu (Nord-Ouest algérien). *Sécheresse*, 18, 39-44.

Khanchoul, K., Jansson, M., B. & Lange, Y. (2007) Comparaison du rendement des sédiments en suspension dans les deux bassins versants, Algérie nord-est. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 51 (1), 63 – 94.

Khanchoul, K., Boukhrissa Z.E.A., Acidi A. & Altschul R., 2012. Estimation of suspended sediment transport in the Kebir drainage basin, Algeria. *Quat. Int.*, 262, 25- 31.

Louamri, A., 2010. Contribution à l'évaluation des transports solides de l'Oued Bouhamdane à la station de Medjez Ammar II et au barrage de Hammam Debagh. *International Journal of Conflict Management*, 1 (1), 23–29. <http://www.igetecon.org/revista/index.php/inicio/>

Louamri, A., Mebarki, A., et Laignel, B., 2013. Variabilité interannuelle et intra-annuelle des transports solides de l'Oued Bouhamdane, à l'amont du barrage Hammam Debagh (Algérie orientale). *Hydrological Sciences Journal*, 58 (7), 1559–1572.

Mebarki, A., 2009. Ressources en eau et aménagement en Algérie. Les bassins hydrographiques de l'Est. Alger, Algérie : Office des Publications Universitaires.

Megnounif, A., A. Terfous et A. Bouanani (2003). Production and transport of suspended sediment transport in the Upper-Tafna river basin (North-West Algeria). *Rev. Sci. Eau*, 16, 369-380.

Megnounif, A., et al., 2007. Key processes influencing erosion and sediment transport in a semi-aridMediterranean area: the Upper Tafna catchment, Algeria. *Hydrological Sciences Journal*, 52 (6), 1271–1284. <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1623/hysj.52.6.1271>

Megnounif, A., Terfous, A. & Ouillon, S. 2013 - A Graphical method to study suspended sediment dynamics during flood events in the Wadi Sebdu. N.W (Algeria) (1973-2004). Journal of hydrology 497, 24-36.

O.R.S.T.O.M. (1981) Office de la recherche scientifique et technique outre-mer, monographie hydrologique n°6, Tunisie.

S.O.G.R.E.A.H (1983) *Erosion et transport solide au Maghreb.* Analyse bibliographique. Du rapport projet RAB/80/011/PNUD.

Terfous, A., Meghounif, A., et Bouanani, A., 2001. Etude du transport solide en suspension dans l'Oued Mouilah (Nord-Ouest algérien). *Revue des Sciences de l'Eau*, 14 (2), 175–185. http://www.rse.inrs.ca/art/volume14/v14n2_173.

Touat, S., 1989. Contrôle de la représentativité des échantillons des transports solides en suspension. *Eaux et sols d'Algérie*, 2, 48–54.

Walling, D., E. (1984) *the sediment yields of Africa rivers.* In: D.E. Walling, S.S.D. Foster and P. Wurzel, eds. *Challenges in African hydrology and water resources (Harare Symposium).* Wallingford, UK: IAHS Press, IAHS Publ. 144, 265-283. [En ligne] Disponible à partir de : http://iahs.info/redbooks/a144/iahs_144_0265.

Williams, G., P. (1989) Concentration dans les sédiments par rapport à l'eau de décharge durant des événements hydrologiques uniques dans les rivières. *Journal of Hydrology*, 111, 89-106.

Yles F, A. Bouanani, 2012. Production de sédiments en suspension et typologie des crues dans les zones steppiques algériennes : cas du bassin versant de l'oued Saida. *Geo-Eco-Trop.*, 2017, 41, 1 : 135-150.