

## Estimation de la précision de la relation en puissance reliant la concentration au débit liquide

Abderrahmane Nekkache Ghenim, Abdesselam Megnounif

*Equipe "Mobilisation Ressources en Eau" ; Laboratoire "Eaux et Ouvrages dans Leur Environnement"*  
*Université de Tlemcen, Faculté de Technologie, BP 230 Tlemcen, 13000 Algérie*

---

### Résumé

La relation en puissance issue de la re-transformation logarithmique entre le débit et la concentration des sédiments en suspension est largement utilisée pour caractériser la dynamique sédimentaire des cours d'eau et pour estimer l'apport solide en suspension pour des bassins versants non jaugés. Cette relation présente une erreur ou biais lié principalement à la transformation de l'échelle logarithmique à l'échelle arithmétique. Ce biais se traduit généralement par une sous-estimation de l'apport solide en suspension. Le présent travail teste la précision de cette relation en adoptant plusieurs procédures durant une période de 13 années hydrologiques (1985-86 à 1997-98) dans le bassin versant de l'Oued Sebdo. Malgré que l'erreur dans l'estimation de l'apport solide annuel soit parfois importante entre -46,96% et +51,22%, quelques procédures permettent d'estimer cet apport à des taux d'erreur très faibles. La subdivision de la série des débits et des concentrations en classes semble donner la relation la plus exacte vis-à-vis de l'estimation de l'apport solide en suspension.

Mots-clés : Relation en puissance ; concentration des sédiments en suspension ; débit ; précision ; Oued Sebdo.

---

### 1. Introduction

Depuis près d'un siècle, la détermination des apports en sédiments – en suspension notamment – des rivières et des oueds est devenue une nécessité. Les raisons de cet intérêt se rapportent à l'évaluation du transport des sédiments vers les mers et les océans, l'estimation du taux d'érosion et des pertes en terre, la prévision de l'envasement des retenues et des estuaires ainsi que l'évaluation de l'impact de la pollution sur la qualité de l'eau et sur l'environnement.

L'Algérie, à l'instar des autres pays du Maghreb (Maroc et Tunisie), est particulièrement affectée par le phénomène d'alluvionnement des retenues de barrages [1]. Ainsi, l'estimation du volume des apports solides fournis par les réseaux d'écoulement est recommandée pour une gestion adéquate de ces réseaux et une prévision du taux d'envasement d'ouvrages projetés. Cette estimation est onéreuse à cause d'un certain nombre de contraintes telles que la non disponibilité des données, le nombre réduit de celles-ci, les lacunes – parfois très étalées dans le temps - qu'elles comportent ainsi que le manque de précision liée aux méthodes ponctuelles et traditionnelles des mesures. Pour remédier à ces insuffisances, plusieurs auteurs ont développé, en utilisant les approches différentes, des modèles spécifiques aux

bassins versants étudiés [2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 7]. L'élaboration de courbes d'estimation permet de contrôler les bassins versants non jaugés voire l'évaluation du flux sédimentaire pour des périodes lacunaires [8]. Cependant, le régime hydrologique dans les régions semi-arides est très irrégulier au cours de l'année hydrologique où la majeure partie de l'apport solide est exportée pendant un temps très réduit correspondant aux périodes de crues [9]. Ceci tend à rendre ces régressions imprécises et non représentatives. Cette représentativité des modèles ainsi que l'évaluation de leur précision a été largement abordée [10 ; 11 ; 12 ; 13 ; 14 ; 15 ; 16].

Dans ce travail, où l'on s'intéresse au sous-bassin versant de l'Oued Sebdo, on se fixe deux objectifs. Le premier consiste à déterminer les écarts entre les flux mesuré et calculé au cours d'une période de 13 années hydrologiques par la relation en puissance à différentes échelles temporelles pour différentes combinaisons. Le second consiste à retenir le mode de subdivision des séries de mesures permettant d'obtenir une estimation représentative de l'apport solide en suspension de l'Oued Sebdo.

### 2. Matériel et méthodes

#### 2.1. Région d'étude

Le bassin versant de l'Oued Sebdou situé au nord ouest de l'Algérie, s'étale sur une superficie de 256 km<sup>2</sup> (Fig 1). Son cours d'eau – Oued Sebdou - le draine sur une longueur de 29,7 km et se jette dans la cuvette du barrage Béni Bahdel (63. 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>). Occupé principalement par des montagnes de formation orogénèse alpine dont les sommets culminent à 1465 m d'altitude (monts de Tlemcen), le bassin versant est caractérisé par un relief accidenté où 49% de sa superficie est à une pente supérieure à 25%, d'où une densité de drainage de 2,88 km.km<sup>-2</sup>. Sa lithologie, dominée par les terrains calcaires essentiellement karstiques, comporte aussi des sols alluvionnaires au niveau de la cuvette de Sebdou d'où émergent de nombreuses sources et des croûtes marno-gréseuses et calcaire-gréseuses sur les hauteurs des monts de Tlemcen [17]. Il est occupé par un couvert végétal maigre et discontinu dominé sur 44% de son étendue par

un couvert forestier dégradé, protégeant mal le sol vis-à-vis de l'érosion hydrique. Situé en plein domaine semi-aride, le bassin reçoit une pluviométrie variant entre 470 mm à 665 m d'altitude au pied du barrage, 510 mm à 870 m d'altitude et 660 mm en montagne à 1100 m d'altitude. Durant la période 1985-98, le module annuel a oscillé entre 0,43 et 2,15 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> avec une moyenne de 1,1 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> et le débit solide entre 0,87 et 48,24 kg.s<sup>-1</sup>. La moyenne inter-annuelle de 10,9 kg.s<sup>-1</sup> correspond à une dégradation spécifique de 1330 t.km<sup>-2</sup>.an<sup>-1</sup> [7]. Depuis plus de 3 décennies, l'Oued Sebdou, à l'instar de l'ensemble de la région Maghrébine, subit une sécheresse latente responsable d'une réduction de ses apports en eau évaluée à 70% [18 ; 19 ; 20]. Il ne doit son activité qu'aux crues brèves et pointues. Celles-ci sont à l'origine de la majeure partie de l'apport liquide annuel et presque la totalité de l'apport solide annuel [5 ; 9 ; 21].

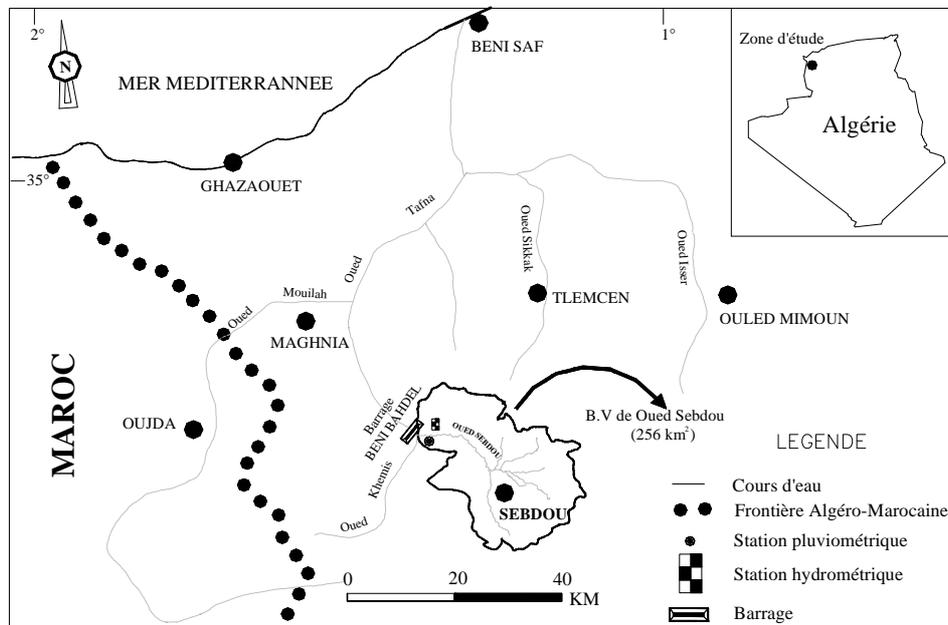


Fig 1. Situation du bassin versant de l'Oued Sebdou

## 2.2. Collecte des données

Les mesures des débits liquides et des concentrations en sédiments en suspension utilisées dans le cadre de cette étude ont été réalisées à la station de Béni Bahdel située à l'exutoire du bassin, de coordonnées : X = 01°27'41" ; Y = 34°41'41" et Z = 669 m. Elles ont été obtenues auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H). Cette banque de données, dite « instantanée », comporte pour les périodes d'écoulement normal ou d'étiage, une mesure quotidienne ou biquotidienne du débit et de la concentration en sédiments, effectuée généralement à midi (12 h). En période de crue, les mesures sont intensifiées jusqu'à des intervalles de temps

d'une heure ou même 30 minutes en fonction de la vitesse de l'augmentation des débits liquides. La méthode traditionnelle des mesures est basée sur l'utilisation de la courbe de tarage régulièrement contrôlée et actualisée qui permet de transformer les hauteurs d'eau lues sur une échelle limnimétrique ou obtenues du dépouillement des enregistrements d'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 (0,45µm) sont ensuite séchés à l'étuve pendant 24 heures à une température de 105 °C. Ramenée à l'unité de volume (1litre), cette charge est attribuée à la concentration en suspension véhiculée par le cours d'eau en g.l<sup>-1</sup>.

Les données utilisées dans le cadre de cette étude (Fig 2) couvrent 13 années hydrologiques (1985-86 à 1997-98). La série utilisée comprend 1312 couples de valeurs couvrant 51% des jours de la période considérée. Les crues survenues au cours de cette période, totalisent 40% de l'ensemble des mesures. Au cours de la période d'étude, on a enregistré 15,7% de concentrations nulles. Elles correspondent aux débits très faibles enregistrés en été.

Le flux des matières en suspension exporté à l'exutoire est calculé par la formule (1):

$$A_s = \sum \left[ \frac{(Q_{j+1} \cdot C_{j+1}) + (Q_j \cdot C_j)}{2} \right] \cdot (t_{j+1} - t_j) \quad (1)$$

où  $C_j$  et  $C_{j+1}$  sont les concentrations correspondant respectivement aux débits liquides  $Q_j$  et  $Q_{j+1}$  relevés aux instants  $t_j$  et  $t_{j+1}$  séparant deux prélèvements.

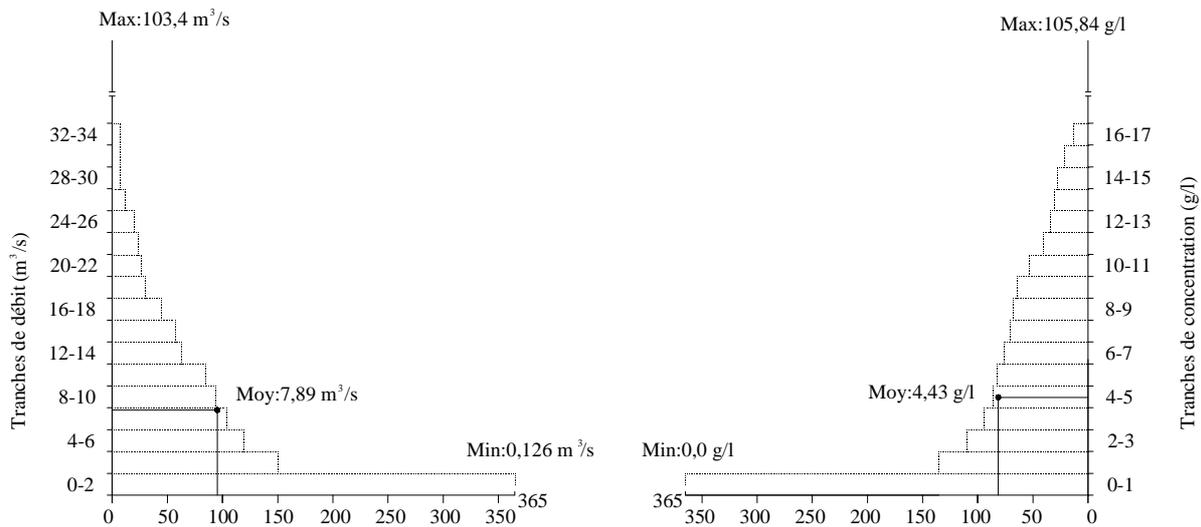


Fig 2. Durée cumulée moyenne annuelle d'occurrence des débits et des concentrations en sédiments en suspension mesurées à Oued Sebdo

### 2.3. Méthode d'étude

La relation en puissance souvent utilisée pour caractériser la dynamique érosive des cours d'eau, produit une erreur ou « biais » dû à la transformation de l'échelle logarithmique à l'échelle arithmétique. Ce biais est responsable d'une sous-estimation de l'apport solide en suspension [10 ; 11 ; 14 ; 15]. Cependant, l'erreur est amplifiée dans les régions semi-arides où les forts débits, bien que rares, sont responsables de la majeure partie du transport solide. Ceci rend la relation en puissance (Fig 3) non représentative [10 ; 15 ; 22 ; 23].

Dans ce contexte, plusieurs procédures, basées sur les conditions hydrologiques, ont été adoptées afin d'améliorer le modèle en puissance. Ainsi, de nombreux auteurs ont subdivisé la série globale des mesures en 2 ou plusieurs sous-séries relatives aux saisons, aux débits ascendants et descendants [10]; d'autres préfèrent la subdiviser selon l'amplitude des débits liquides, en 2 ou plusieurs classes. Le modèle recherché est une succession de modèles en puissances établis pour les classes prédéfinies [14 ; 24]. Après transformation des axes en échelle logarithmique, le modèle obtenu sera représenté par une ligne de régression dite "brisée" (Fig 4). A partir de considérations statistiques, d'autres chercheurs ont amélioré le modèle en puissance par l'introduction de coefficients correcteurs [25 ; 26 ; 27 ; 28].

Le présent travail est basé sur 13 années de mesures recueillies à la station hydrométriques qui contrôle l'Oued Sebdo. Afin d'identifier les conditions hydrologiques les plus pertinentes permettant l'amélioration du modèle en puissance, les données de mesure, en plus de l'échelle interannuelle, ont été subdivisées en:

- 4 sous-séries correspondant aux 4 saisons de l'année.
- 3 sous-séries représentant 2 périodes d'érosion active à savoir le mois de septembre et le mois de mars. La troisième période est une période d'immobilisme et représente le reste de l'année.
- 2 sous-séries dont l'une regroupe les crues éclairées et très productives en sédiment. Ces dernières n'ont duré que 10 jours.an<sup>-1</sup> en moyenne mais elles sont responsables de plus de 95% de l'apport solide annuel.
- 4 sous-séries représentant respectivement les périodes des crues correspondant aux 4 saisons.
- 2 classes de débit dont l'une comprend les débits inférieurs à 1 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Cette classe représente 50% des mesures effectuées durant la période d'étude.
- 2 classes de débit dont le seuil de séparation correspond au débit moyen.
- 2 classes de débit définies après décomposition de l'hydrogramme de crue. Une classe comprend l'ensemble des mesures effectuées lors de la montée des eaux, la seconde regroupe les mesures correspondantes à la décrue.
- 15 classes de débit ont été obtenues en divisant la différence entre le débit maximal (103,4 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) et le débit

minimal ( $0,126 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) par 20 [29]. 5 classes sont à effectif nul. Pour chacune des 15 classes restantes, on calcule le débit moyen et la concentration moyenne. Les 15 couples ( $Q_{\text{moy}}$ ,  $C_{\text{moy}}$ ) sont soumis à régression (Fig 5).

• 2 sous-séries dont l'une est relative à la période humide (précipitations annuelles supérieures à la moyenne inter-annuelle) et l'autre à la période sèche.

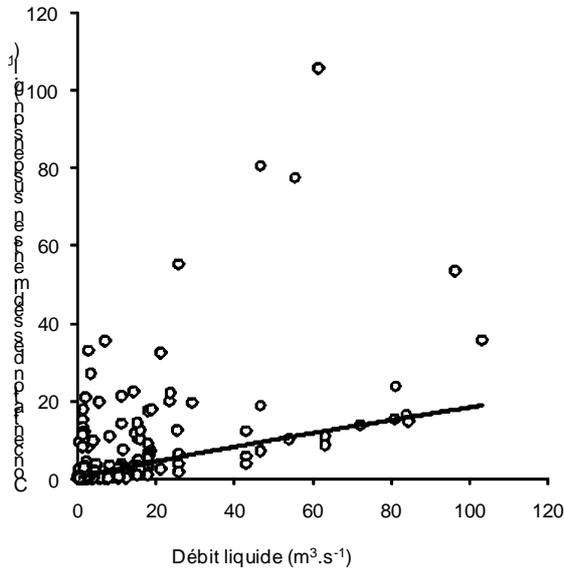


Fig 3. Relation en puissance à l'échelle annuelle de l'Oued Sebdu

Le modèle retenu pour la quantification du flux des sédiments est celui qui minimise l'erreur (E en %) donnée par la relation (2) [10 ; 15 ; 27] :

$$E (\%) = \left( \frac{\text{Apport estimé par les modèles}}{\text{Apport calculé à base des mesures}} - 1 \right) \cdot 100 \quad (2)$$

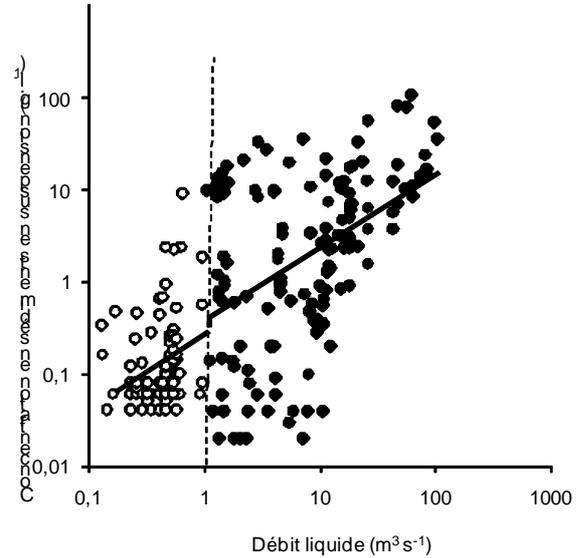


Fig 4. Evolution annuelle pour 2 classes de débit présentée sur échelle logarithmique.

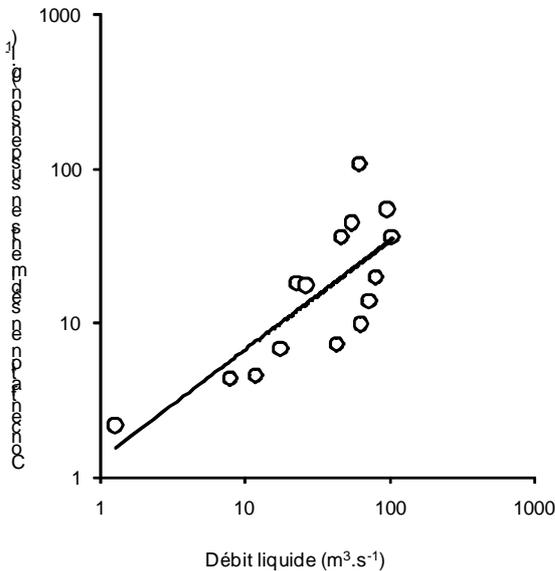


Fig 5. Relation en puissance pour 15 classes de débit à Oued Sebdu présentée sur échelle logarithmique

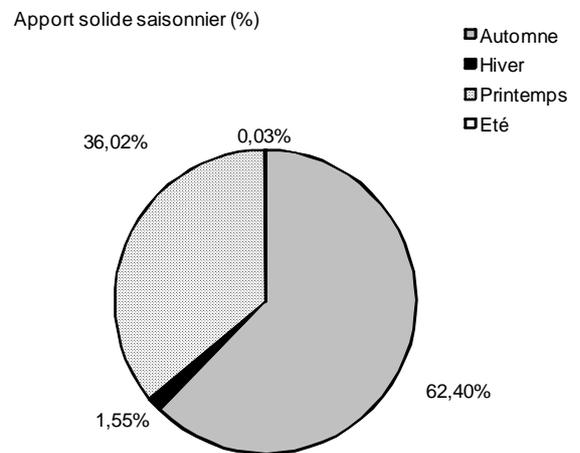


Fig 6. Apport solide en pourcentage selon les saisons à Oued Sebdu

### 3. Résultats et discussion

Les modèles d'estimation de la charge solide en suspension établis à partir de la série de mesure entière

ainsi que pour les différentes subdivisions sont consignés dans le tableau 1. Il apparaît que le flux solide ainsi calculé est souvent sous-estimé [10 ; 30 ; 31 ; 32 ; 33]. Ceci est dû d'une part à la re-transformation du modèle de l'échelle logarithmique à l'échelle arithmétique et d'autre part au nombre important de valeurs faibles du débit

relativement au nombre de valeurs fortes et à l'écart important entre ces 2 tranches de débit. Il est à noter que

le débit minimal enregistré est de  $0,126 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  et le débit maximal,  $103,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Tableau 1

Tailles des séries ( $n$ ), valeurs de  $a$  et  $b$  dans l'équation  $C = a \cdot Q_L^b$ , coefficients de corrélation ( $R^2$ ) et erreur commise (%)

Groupe de données	n	a	b	$R^2$	Erreur partielle (%)	Erreur globale (%)
Série complète	1106	0,3161	0,8854	0,4602	- 41,00	- 41,00
4 sous-séries						
- Automne	370	0,8346	1,1207	0,6931	+ 98,13	
- Hiver	273	0,2714	0,8988	0,5449	- 15,70	+ 51,22
- Printemps	429	0,1021	1,1102	0,3630	- 27,08	
- Eté	34	0,0738	0,8999	0,3760	+13,89	
3 sous-séries						
- Septembre	244	2,0693	0,7956	0,5995	+ 30,74	
- Mars	332	0,0893	1,1188	0,3536	- 24,76	+ 8,70
- Le reste des mois	530	0,2211	0,9953	0,5052	- 44,61	
2 sous-séries						
- Les crues	572	0,4709	0,7445	0,1939	- 46,96	- 46,96
- Le reste de la période	534	0,2785	0,8282	0,2145	- 46,98	
4 sous-séries						
- Crues d'automne	160	5,8684	0,3633	0,2343	- 31,75	
- Crues d'hiver	38	0,7790	0,5127	0,4957	+ 3,98	- 28,54
- Crues de printemps	374	0,0815	1,1916	0,3937	- 21,85	
- Le reste de la période	534	0,2785	0,8282	0,2145	- 46,98	
2 sous-séries						
- Débits $< 1 \text{ m}^3/\text{s}$	416	0,2124	0,6045	0,0632	- 77,43	- 3,92
- Débits $\geq 1 \text{ m}^3/\text{s}$	690	0,4574	0,7413	0,1849	- 1,99	
2 sous-séries						
- Débits $< 7,89 \text{ m}^3/\text{s}$	744	0,3353	0,8902	0,2079	- 13,78	+ 0,66
- Débits $\geq 7,89 \text{ m}^3/\text{s}$	362	0,0316	1,6250	0,4509	+ 2,43	
2 sous-séries						
- Débits ascendants	265	0,3155	0,9496	0,3370	- 25,85	- 35,72
- Débits descendants	841	0,3072	0,8341	0,3758	- 45,52	
15 classes de débit	15	1,2749	0,7162	0,6072	+ 1,35	+ 1,35
2 sous-séries						
- Période humide	542	0,1934	0,8599	0,4572	- 32,44	+ 5,65
- Période sèche	564	0,4941	1,1249	0,5704	+ 21,92	
4 sous-séries						
- Crues P. humide	362	0,1498	0,9570	0,3071	- 64,23	
- Hors crues P. humide	181	0,2077	0,7776	0,3463	+ 15,49	- 35,09
- Crues P. sèche	240	1,2553	0,7507	0,2398	- 22,06	
- Hors crues P. sèche	323	0,4701	1,2628	0,2209	- 60,26	

A l'échelle inter-annuelle, le calcul du flux des matières en suspension par l'exploitation des concentrations calculées par le modèle en puissance est sous-estimé de 41%. Ceci est dû principalement à une sous-estimation de la concentration en automne. Sur 370 valeurs, 227 ont été sous-estimées en moyenne de 75%. Ainsi, l'automne peut être considéré comme une période active d'érosion et de mobilisation des sédiments avec un flux sédimentaire atteignant 62,4% de l'apport solide annuel (Fig 6). D'ailleurs ce n'est que durant cette période qu'on obtient une sur-estimation significative de l'apport solide automnal soit 98,13% et 30,74% si on ne considère que le mois de septembre (Tableau1). Au cours de cette période, pour une modeste augmentation du débit, on assiste à un accroissement important de la concentration. Pour preuve, c'est au cours de la crue du 08.09.1990 qu'on a enregistré la concentration maximale annuelle :  $105,8 \text{ g.l}^{-1}$  correspondant à un débit de  $61,64 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Fig 7). Comme pour le reste des régions méditerranéennes, l'importance du transport solide en suspension observé au début de l'automne s'explique par le fait que cette saison succède à une longue période de préparation de la fourniture sédimentaire [30]. En effet, la saison estivale

est caractérisée par une chaleur intense et une pluviométrie quasi nulle (3,7 mm en juin, 0 mm en juillet et 0,7 mm en août). En plus de l'érosion éolienne, et la végétation desséchée, les sols secs et dépourvus de végétation se fragmentent facilement et se préparent à être emportés par les premières pluies automnales. Ces dernières, généralement brèves, intenses et localisées, réussissent à lessiver les fines particules détachées.

Par ailleurs, l'examen du tableau 1, permet de constater que les régressions les moins représentatives auxquelles sont associées les sous-estimations les plus importantes sont relatives aux périodes de crues et aux périodes de faibles débits ou d'étiages. Pendant ces dernières périodes, l'absence de turbulence source de mobilisation du transport solide en suspension, empêche l'écoulement à s'associer à des concentrations représentatives de la capacité de transport du cours d'eau. Quant aux crues, leur comportement diffère non seulement entre la montée de crue et la décrue mais aussi d'une saison à une autre. Cette différence de comportement est à l'origine d'un coefficient de détermination de 0,1939 et d'une sous-estimation de 46,96%. En subdivisant les crues par saisons, on obtient des résultats meilleurs confirmant

l'absence de similitude entre les crues automnales et printanières. Pendant l'hiver et le printemps réunis, on enregistre plus de 70% de la pluviosité [2 ; 5 ; 7]. Ces pluies coïncident avec des versants saturés et des sols déblayés de leurs particules fines détachées. Il est donc nécessaire à l'écoulement de mobiliser une force tractrice pour vaincre la cohésion du sol pour pouvoir mettre en suspension les matériaux du lit et des berges du cours d'eau. Au cours des crues de printemps, pour de forts débits liquides, on enregistre de modestes concentrations. Néanmoins, pour l'ensemble des crues, on relève un décalage des pics des débits et des concentrations. Pour la majorité des crues, la variation du couple (Q<sub>L</sub>, C) forme des hystérésis du type "clockwise" (dans le sens des aiguilles d'une montre) (Fig 7). Ce décalage est la cause de facteurs de détermination faibles et une sous-estimation allant jusqu'à 35%.

Il est à noter les méthodes de correction telles que celles de [25 ; 26] ne semblent pas adaptées aux régions à climat semi-aride produisant des coefficients de correction excessifs transformant les sous-estimations en sur-estimations [34].

De cette étude, on retient que la régression issue de la subdivision de la série en 2 classes de débit dont le seuil de séparation correspond au débit moyen et la régression issue de la subdivision des valeurs du débit en plusieurs classes (15 classes dans cette étude), sont très intéressante du point de vue de l'exactitude dans l'estimation de l'apport solide (Tableau 1). Le taux d'erreur obtenu (2,61%) est très faible. Il est de même ordre que celui obtenu par Jansson (1996) [14]: 3,79% (apport solide mesuré : 52 855 t, apport solide calculé par le modèle : 50 850 t).

En dépit de plusieurs travaux traitant de la dynamique de production et de transfert des matières en suspension dans les différents sous-bassins de la Tafna, le phénomène demeure partiellement mal compris du fait de sa complexité. En effet, malgré que la relation en puissance entre la concentration des sédiments en suspension et le débit a été adoptée pour plusieurs cours d'eau Algériens [2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 7 ; 28], la dispersion des points est très marquée (Fig 3 et 4). Elle est à l'origine des sous-estimations ou sur-estimations du flux des matières en suspension calculé en utilisant les régressions aux différentes échelles temporelles (Tableau 1). Ceci est attribué entre autres aux crues brèves et dévastatrices, responsables de la majeure partie du transport solide. Au cours de la période d'étude, les crues enregistrées n'ont duré en moyenne que 10 jours.an<sup>-1</sup>. Elles ont exporté 96,44% de l'apport solide annuel. Devant la brièveté des ces événements, le nombre de mesures y afférentes est faible relativement à celui de l'année hydrologique d'où une disproportion (en nombre) entre les valeurs fortes et faibles utilisées dans la recherche des modèles. Ces derniers pour être représentatifs de la dynamique sédimentaire doivent répondre à certains critères, tels

que : un fort coefficient de détermination R<sup>2</sup>, une somme nulle des résidus, une répartition homogène de ces derniers en fonction de la concentration prédite ou en fonction du temps [15 ; 29 ; 35]. Ces conditions ne sont malheureusement pas toujours réunies. En effet, devant le comportement morphologique différent du bassin selon les périodes et les événements au cours d'une même année hydrologique, les couples (Q<sub>L</sub>, C) sont - dans la plupart des cas - très dispersés et mal répartis autour de la courbe de régression (Fig 3).

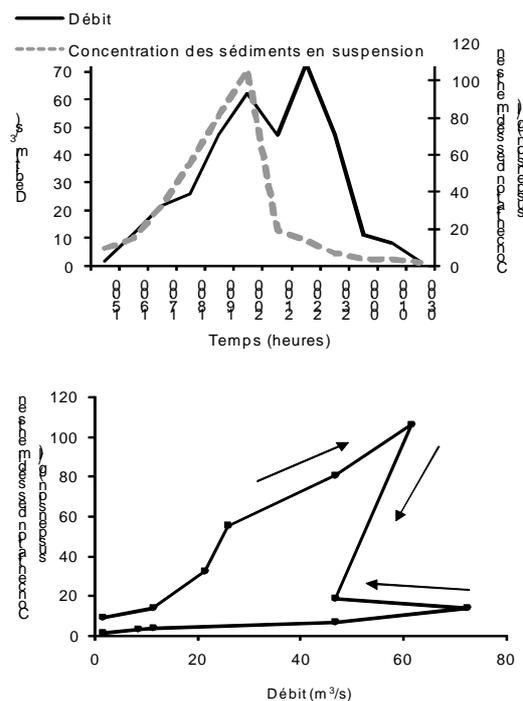


Fig 7. Hystérésis des concentrations des sédiments en suspension durant la crue du 08.09.1990 à Oued Sebdu.

#### 4. Conclusion

A l'instar de la majorité des travaux menés dans les différentes régions du monde, il se confirme à travers cette étude que la relation en puissance reliant la concentration en sédiment en suspension au débit liquide manque de précision. Elle conduit souvent à une sous-estimation de l'apport solide. Durant 13 années hydrologiques (1985-86 à 1997-98) à Oued Sebdu, l'erreur commise sur l'évaluation du flux en utilisant cette relation peut dépasser 50%. Il ressort aussi que la subdivision de la série en tranches de débit ou en classes de débit réduit considérablement cette erreur. Ceci confirme les résultats de travaux déjà publiés. Comme les méthodes de correction ne sont pas adaptées au cours d'eau des zones semi-arides, la subdivision en classes de débit demeure une solution plutôt adéquate pour une

estimation sans trop d'erreur de l'apport solide en suspension.

#### 4. Bibliographie

- [1] B. Remini, Envasement des barrages dans le Maghreb, Bull.Int. de l'eau et de l'Env. 22 (1999) 4-8.
- [2] A. Ghenim, 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 (2001), Université de Tlemcen.
- [3] A. Terfous, A. Megnounif, A. Bouanani, Etude du transport solide en suspension dans l'Oued Mouilah (Nord Ouest Algérien). Rev. Sci. Eau. 14 (2) (2001) 173 – 185.
- [4] A. Benkhaled, B. Remini, Analyse de la relation de puissance : débit solide -débit liquide à l'échelle du bassin versant de l'Oued Wahrane (Algérie). Rev. Sci. Eau, 16 (3) (2003) 333-356.
- [5] A. Megnounif, A. Terfous, A. Bouanani, Production et transport des matières solides en suspension dans le bassin versant de la Haute Tafna (Nord-Ouest Algérien). Rev. Sci. Eau, 16 (3) (2003) 269-380.
- [6] M. Achite, M. Meddi, Estimation du transport solide dans le bassin versant de l'oued Haddad (Nord-Ouest algérien). Sécheresse, 15 (4) (2004) 367-373.
- [7] A. Ghenim, A. Terfous, A. Seddini, Etude du transport solide en suspension dans les régions semi-arides méditerranéennes : cas du bassin versant de l'Oued Sebdu (Nord Ouest Algérien). Sécheresse, 18 (1) (2007a) 39-44.
- [8] A.J. Horowitz, An evaluation of sediment rating curves for estimating suspended sediment concentrations for subsequent flux calculations. Hydrological Processes, 17 (2003) 3387-3409.
- [9] A. Ghenim, A. Seddini, A. Terfous, Production et exportation des sédiments en suspension lors des événements de crue : cas du bassin versant de Oued Mouilah. J.Larhyss, 6 (2007b) 35 – 44.
- [10] D.E. Walling, Assessing the accuracy of suspended sediment rating curves for a small basin. Water Resources Research, 13 (3) (1977) 531-538.
- [11] C.R.Fenn, A.M.Gurnell, I.R.Beecroft, An evaluation of the use of suspended sediment rating curves for the prediction of suspended sediment concentration in a proglacial stream. Geografiska annaler, 67A (1985) 71-82.
- [12] N.A.Al-ansari, N.M.Assad, D.E.Walling, S.Hussan, The suspended sediment discharge of the river Euphrates at Haditha, Iraq : An assesment of the potential for establishing sediment rating curves. Geografiska annaler, 70 A (1988) 203- 213.
- [13] P. Syren, Estimated transport of the suspended load of the river Malewa, Kenya, between 1931-1959. Geografiska Annaler, 72 A (1990) 285- 299.
- [14] M.B. Jansson, Estimating of sediment rating curve of the Reventazon river at Polomo using loggest mean loads within discharges classes. Journal of Hydrology, 183 (1996) 227-241.
- [15] N.E.M. Asselman, Fitting and interpretation of sediment rating curves. Journal of Hydrology, 234 (2000) 228-248.
- [16] D.W.Crowder, M.Demissie, M.Markus, The accuracy of sediment loads when log-transformation produces nonlinear sediment load-discharge relationships. Journal of Hydrology, 336 (2007) 250-268.
- [17] M.Benest, S. Elmi, Précisions stratigraphiques sur le Jurassique inférieur et moyen de la partie méridionale des monts de Tlemcen (Algérie). Comptes rendus Symposium Société Géologie France, 8 (1978) 295-96.
- [18] M.Meddi, P. Hubert, Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du nord-ouest de l'Algérie. IAHS Publ, 278 (2003) 229 – 235.
- [19] A.Ghenim, A.Megnounif, A.Seddini, A.Terfous, Fluctuations hydropluviométriques du bassin versant de l'Oued Tafna à Béni Bahdel (Nord Ouest Algérien), Sécheresse, 21/2 (2010) 115-20.
- [20] A.Ghenim, A.Megnounif, Caractérisation de la sécheresse par les indices SPI et SSFI (Nord-Ouest de l'Algérie), Le Journal de l'Eau et de l'Environnement (LJEE), 18 (2011) 59-77.
- [21] A.Terfous, A.Ghenim, A.Bouanani, A.Megnounif, K. Baba Hamed, Rôle des crues dans la genèse des sédiments transportés en suspension par trois cours d'eau des zones semi-arides méditerranéennes, Ressources et Développement Durable Watmed (2002) 10-13 octobre, Monastir -Tunisie.
- [22] M.B. Jansson, A comparison of detransformed logarithmic regressions and power function regressions. Geografiska Annaler, series A, Physical Geography, 67 A (1-2) (1985) 61 – 70.
- [23] J.P.Syvitski, M.D.Morhead, D.B.Bahr, T.Mulder, Estimating fluvial sediment transport: The rating parameters. Water Resources Research, 36 (9) (2000) 2747-2760.
- [24] D. Koutsoyiannis, Broken line smoothing: a simple method for interpolating and smoothing data series. Environmental Modeling & Software, 15 (2000) 139-149
- [25] N. Duan, Smearing estimate: a nonparametric retransformation method. Journal of Amer.Stat.Assoc, 78 (1983) 605-610.
- [26] R.I. Ferguson, River laods underestimated by rating curves. Water Ressources Research, 22 (1986) 74-76.
- [27] R.I. Ferguson, Accuracy and precision of methods for estimating river loads. Earth Surface Processes and Landforms, 12 (1987) 95-104.
- [28] T.A.Cohn, L.L.Delong, E.J.Gilroy, R.M.Hirsch, D.K.Wells, Estimating constituent loads. Water Resources. Research, 25 (5) (1989) 937-942.
- [29] G.D. Glysson, Sediment-transport curves. U.S Geol. Surv, Open file report 87-218 (1987) 47 pages.
- [30] R.Rovira, R.J. Batalla, Temporal distribution of suspended sediment transport in a Mediterranean basin : The Lower Tordera (NE Spain). Geomorphology, 79 (2006) 58-71.
- [31] M.D.Morehead, J.P.Syvitski, E.W.H.Hutton, S.D. Peckham, Modeling the temporal variability in the flux of sediment from ungauged river basins. Global and Planetary change, 39 (2002) 95 – 110.
- [32] D.R.Moliere, K.G.Evans, M.J.Saynor, W.D.Erskine, Estimation of suspended sediment loads in a seasonal stream in the wet-dry tropics, Northern Territory, Australia. Hydrological processes, 18, (2004) 531-544.
- [33] C.Iadanza, F. Napolitano, Sediment transport time series in the Tiber River. Physics and chemistry of the earth, 31 (2006) 1212-1227.
- [34] A.Ghenim, Etude des écoulements et des transports solides dans les régions semi-arides méditerranéennes. Thèse de doctorat (2008), Université de Tlemcen.
- [35] D.R.Helsel, R.M. Hirsch, Statistical methods in water resources. U.S Geol. Surv, Chapter A3 (2002) 510 pages.