



Précision des relations reliant la concentration en suspension au débit liquide - Etude comparative

Abderrahmane Nekkache GHENIM, Abdesselam MEGNOUNIF

Département d'Hydraulique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université Abou Bekr Belkaid- Tlemcen,

B.P. 230 Tlemcen 13000 Algérie Tel : 213 43 28 56 85

Email: anghenim@yahoo.fr , Email: megounif_aslam@yahoo.fr

Reçu le : 28/10/2008

Accepté le : 26/10/2010

RESUME : 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 généralement une sous-estimation de l'apport solide en suspension. Dans ce travail, on introduit un autre modèle non-linéaire en puissance (arithmétique). Ce dernier est très peu utilisé à cause de son développement onéreux. Il est obtenu par itérations en utilisant la technique des moindres carrés et nécessite souvent l'utilisation de l'outil informatique. Le présent travail compare la précision des 2 modèles dans l'estimation de l'apport solide. Pour cela, une série de mesures relevée à l'exutoire de l'Oued Sebdou et étalée sur 14 années a été utilisée. Alors qu'il faut passer par l'application de procédures notamment la subdivision de la série de mesure en plusieurs classes pour obtenir une bonne précision de la régression logarithmique, il suffit de l'application brute du modèle arithmétique pour obtenir une précision comparable.

Mots-clés : Relation linéaire en puissance / relation non-linéaire en puissance / concentration des sédiments en suspension / débit / précision / Oued Sebdou.

SUMMARY : The power function regression stemming from detransformed logarithmic regression between the discharge and the suspended sediment concentration is widely used to characterize the sedimentary dynamics of streams and to estimate the suspended solid contribution for engaged watersheds. This relation is generally translated by an underestimate of the suspended solid contribution. In this work, we introduced another model non-linear power (arithmetic). The latter is rarely used because of its cost development. It is obtained by iterations using the technique of least squares and often requires the use of computers. This paper compares the accuracy of 2 models in the estimation of sediment. For this, a series of measurements recorded at the outlet of Wadi Sebdou spread over 14 years was used. So it must go through the application procedures including the subdivision of the series of measure in several classes to get a good accuracy of the logarithmic regression, simply the application of brute arithmetic model for comparable accuracy.

Key-words: linear power regression / power function regression / suspended sediment concentration / discharge / accuracy / Wadi Sebdou.

1. INTRODUCTION

La relation en puissance issue de la re-transformation logarithmique reliant la concentration en sédiments en suspension au débit liquide malgré son manque de précision dans l'estimation de l'apport solide en suspension est actuellement la technique de régression la plus utilisée [1, 2]. Megnounif [3] puis Ghenim [4] ont proposé des méthodologies pour améliorer la précision de ce type de

relation. Le premier a préconisé la suppression de la série de données utilisée de tous les couples (concentration, débit liquide) ne donnant pas une information objective du flux liquide et solide transitant par l'exutoire. Ceci a permis de réduire l'imprécision de la relation de -29% à -6%. Le second en appliquant un certain nombre de procédures conclut que la subdivision de la série en plusieurs classes



selon la procédure de Glysson [5] offrait la meilleure estimation. L'erreur est réduite à moins de 3%. En parallèle à ce type de régression, il existe un modèle non-linéaire en puissance (arithmétique). Ce dernier est très peu utilisé à cause de son développement onéreux. Il est obtenu par itérations en utilisant la technique des moindres carrés et nécessite souvent l'utilisation de l'outil informatique. Ce type de régression offre l'avantage d'éviter l'erreur issue de la re-transformation logarithmique. Jansson [6] compare les 2 modèles (non linéaire et celui issu de la re-transformation logarithmique) en les appliquant à une rivière en Suède sur une période de 1064 jours. Alors que la sous-estimation de l'apport solide en utilisant le premier modèle n'est que

de 4,5%, elle se chiffre à 67% pour le second. De même, Asselman [2], parmi 4 modèles dont le modèle non linéaire en puissance et le modèle logarithmique, conclut que le modèle non linéaire offre la meilleure estimation de l'apport solide en suspension.

Afin de tester l'exactitude de chacun des 2 modèles dans l'estimation de l'apport solide en suspension et la représentativité de la dynamique érosive dans les régions semi-arides, on se propose de faire une comparaison entre ces 2 modèles. Pour cela, on sélectionne une série de mesure des débits et des concentrations instantanées relevés pendant 14 années à l'exutoire du bassin versant de l'Oued Sebdou.

2. MATERIEL ET METHODE

2.1 Région d'étude

Le bassin versant de l'Oued Sebdou (256 km²) situé au nord ouest de l'Algérie (figure 1), est un sous-bassin parmi 8 autres faisant partie du bassin versant de la Tafna (7245 km²). 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. 10⁶ m³). 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⁻². 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 calcairo-gréseuses sur les hauteurs des monts de Tlemcen [7]. 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 m³.s⁻¹ avec une moyenne de 1,1 m³.s⁻¹ et le débit solide entre 0,87 et 48,24 kg.s⁻¹. La moyenne inter-annuelle de 10,9 kg.s⁻¹ correspond à une dégradation spécifique de 1330 t.km⁻².an⁻¹ [8]. 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% [9]. Il ne doit son activité qu'aux crues brèves et pointues. Celles-ci sont à l'origine de la majeure part de l'apport liquide annuel et presque la totalité de l'apport solide annuel [10, 11, 12].

2.2 Les régressions en puissance, deux modèles différents

Le modèle en puissance issu de la re-transformation logarithmique est le résultat de la résolution d'une régression linéaire du type $y = \alpha \cdot X + \beta$ où y représente la variable dépendante ($\log C$), X : la variable indépendante ($\log Q_i$) et α et β : les paramètres de la régression. Cette dernière constitue une ligne

droite passant à travers les médianes de la variable indépendante pour caractériser la variable dépendante. Ainsi, la régression liant le couple (débit-concentration) s'écrit : $\log C = a + b \cdot \log Q_i + \log \varepsilon$ où : ε représente l'erreur commise log-normalement distribuée et a et b , les paramètres de la régression. Après re-

transformation à l'échelle arithmétique, cette relation s'écrit : $C = a.Q_t^b + \varepsilon$ où ε est normalement distribuée. Cette distribution différente entre l'écriture à l'échelle logarithmique et celle obtenue après re-transformation est responsable de l'erreur ou biais donné par le modèle. Parallèlement, la

régression non-linéaire en puissance s'écrit : $C = a.Q_t^b + \delta$ où a et b sont les paramètres de la régression et δ l'erreur normalement distribuée. Quoique difficile à obtenir par un calcul manuel, cette régression offre l'avantage d'éviter l'erreur issue de la re-transformation logarithmique.

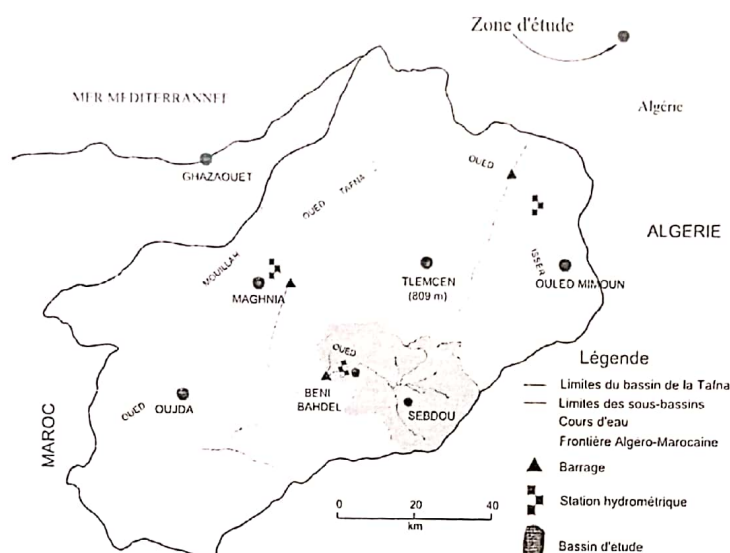


Figure 1. Situation du bassin versant de l'Oued Sebdo

2.3 Source de données et méthode d'étude

L'étude se base sur les données de mesure instantanées des débits liquides et des concentrations des sédiments en suspension enregistrées durant la période 1988-89 à 2001-02. Elles sont relatives à la station de Béni Bahdel située à l'exutoire du bassin versant. La série de données comporte 2470 couples. Cette dernière d'une moyenne de $1,99 \text{ g.l}^{-1}$ a pu atteindre un pic 120 g.l^{-1} . L'apport en sédiments en suspension calculé en tenant compte des débits et des concentrations mesurés durant cette période s'élève à 3 754 000 tonnes soit une dégradation spécifique moyenne inter-annuelle de $1047 \text{ t.km}^{-2}.\text{an}^{-1}$.

Afin de pouvoir tester la représentativité et la fiabilité des régressions susceptibles de caractériser le bassin versant de l'Oued Sebdo, on se base sur la comparaison à ce dernier

chiffre des apports calculés en utilisant les concentrations prédites par ces modèles. Dans ce contexte, plusieurs procédures ont été adoptées.

- 1 : Modèle non linéaire en puissance (2 054 couples de valeurs).
- 2a : Modèle logarithmique (2 054 couples de valeurs).
- 2b : Modèle logarithmique de la série subdivisée en 2 sous-séries séparées par le débit moyen inter-annuel ($4,62 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$).
- 2c : Modèle logarithmique obtenu en subdivisant la série en plusieurs classes de débit selon la démarche préconisée par Glysson (1987). On détermine les valeurs moyennes des débits et des concentrations de chaque classe qu'on soumet à régression [5, 13, 14].

3. RESULTATS ET DISCUSSION

En comparant la régression (1) à la régression logarithmique (2a) obtenue pour le même nombre de valeurs, on remarque que cette dernière remplit mieux les critères de

représentativité des modèles que la régression (1) [5]. Elle produit un coefficient de détermination plus important, une ligne de régression passant mieux à travers le nuage de



points (figure 2) et une répartition plutôt homogène des résidus en fonction de la concentration prédite (figure 3). Malgré ces avantages, la régression logarithmique manque de précision devant la régression non linéaire. En effet, cette dernière présente une légère sur-estimation (+13%) de la concentration moyenne contre une sous-estimation (-67%) prononcée pour la régression logarithmique quoiqu'à l'échelle des concentrations individuelles, l'intervalle d'erreur est plus large pour la régression non linéaire que pour la régression logarithmique (tableau 1). Pour les apports solides en suspension, on note une sous-estimation de 11% pour la première et 58% pour la seconde (tableau 2). Ghenim [4] a

relevé que les meilleures estimations de l'apport solide proviennent des subdivisions de la série en 2 sous-séries dont le débit moyen constitue le seuil de séparation entre elles et de la régression prenant en considération plusieurs classes de débit. Dans ce travail, on se base sur ce résultat pour essayer de réduire l'erreur de la régression logarithmique. Ainsi, les modèles (2b) et (2c) prenant en charge ces subdivisions ont été adoptés.

Pour les régressions (2b) relatives aux 2 sous-séries (figure 4) séparées par le débit moyen inter-annuel ($4,62 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), l'apport solide est plus proche de celui obtenu par les mesures que celui calculé par la régression (2a) sauf que l'erreur demeure importante (-55%).

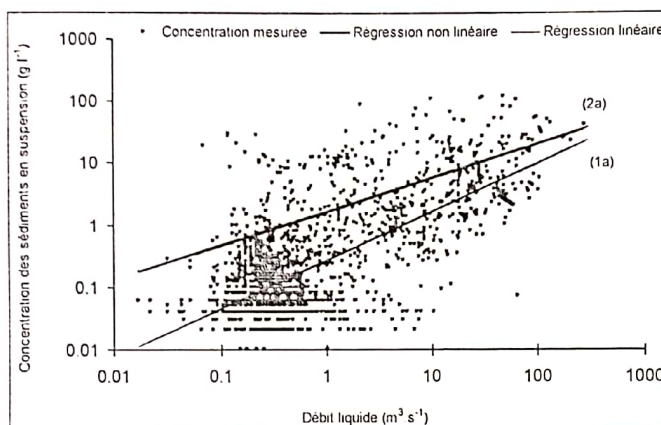


Figure 2. Relation entre le débit liquide et la concentration en suspension. Modèle non linéaire en puissance (1a) et le modèle logarithmique (2a)

Tableau 1. Erreurs commises sur la concentration en suspension par les différents modèles

Modèle de régression	N°	E _{sous-est} %	C _{calc} g.l ⁻¹	C _{mesur} g.l ⁻¹	E _{sur-est} %	C _{calc} g.l ⁻¹	C _{mesur} g.l ⁻¹
$C = a \cdot Q_L^b$	1	-98,5	0,45	30,08	22 928,5	16,12	0,07
$\log C = a + b \cdot \log Q_L$	2a	-99,8	0,05	30,08	10 304,0	7,28	0,07
$\log C = a + b \cdot \log Q_L \quad (Q_L \leq 4,62 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	2b	-98,8	0,06	30,08	11 272,1	7,96	0,07
$\log C = a + b \cdot \log Q_L \quad (Q_L > 4,62 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$							
$\log C_M = a + b \cdot \log Q_{L,M}$	2c	-98,5	0,46	30,08	25 495,3	17,9	0,07

Tableau 2. Caractéristiques des différents modèles (nombres de couples de valeurs, équations, apports solides en suspension et coefficients de détermination)

Modèle de régression	N°	n	Equation	As (tonnes)	R ²
$C = a \cdot Q_L^b$	1	2 054	$C = 1,64 \cdot Q_L^{0,55}$	3 344 000	0,19
$\log C = a + b \cdot \log Q_L$	2a	2 054	$C = 0,28 \cdot Q_L^{0,78}$	1 563 000	0,48
$\log C = a + b \cdot \log Q_L \quad (Q_L \leq 4,62 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	2b	2 118	$C = 0,24 \cdot Q_L^{0,66}$	1 671 000	0,15
$\log C = a + b \cdot \log Q_L \quad (Q_L > 4,62 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$		352	$C = 0,33 \cdot Q_L^{0,76}$		0,18
$\log C_M = a + b \cdot \log Q_{L,M}$	2c	2 054	$C = 1,59 \cdot Q_L^{0,58}$	3 713 000	0,93

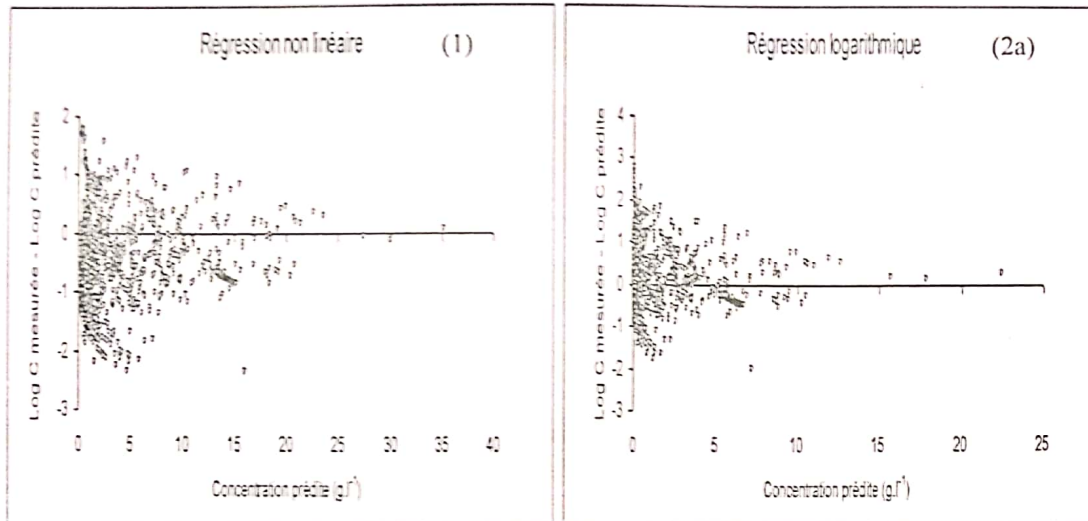


Figure 3. Résidus entre les concentrations mesurées et calculées par le modèle (1) et (2a) en fonction de la concentration calculée

La série comportant les valeurs moyennes des débits et des concentrations pour 13 classes de débit (figure 5) produit une régression plus intéressante que les modèles (2a) et (2b). Les paramètres a et b sont très proches de ceux de la régression non linéaire (1) et le coefficient de corrélation est très fort (0.93). Ce modèle estime l'apport solide en suspension à -1% près de la valeur mesurée, soit un taux de précision de 99%.

A ces classes de l'apport solide mesuré, on compare les apports prédits par les 4 modèles. On remarque d'après la figure 7 mettant en relief l'erreur relative commise sur l'apport solide en suspension, que les régressions (2a)/(2b) et (1)/(2c) se comportent presque identiquement. Les premiers sous-estiment

D'autre part, en subdivisant l'apport solide mesuré selon les 13 classes de débit adoptées pour la régression (2c), on remarque que la classe ($163.7-272.6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), malgré sa fréquence très faible (figure 6) produit l'apport solide le plus important, soit plus de 34%. Pour les faibles débits et jusqu'à $7.7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, l'apport solide en suspension demeure faible sinon insignifiant.

l'apport solide de presque la totalité des classes par contre les seconds sur-estiment les l'apport des classes à faible débit et sous-estiment légèrement l'apport des classes à grands débits. Comme les faibles débits ne mobilisent qu'une charge en suspension négligeable, l'erreur commise sur ces classes demeure insignifiante.

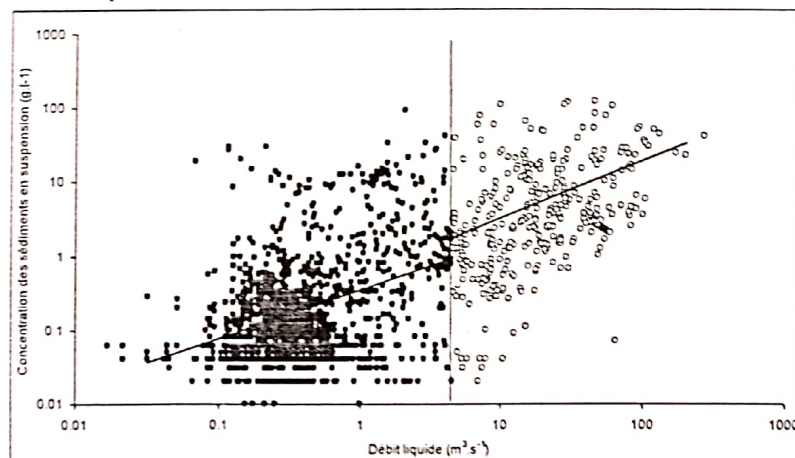


Figure 4. Relation entre le débit liquide et la concentration en suspension.
Régression (2b) où la série est séparée par le débit moyen inter-annuel

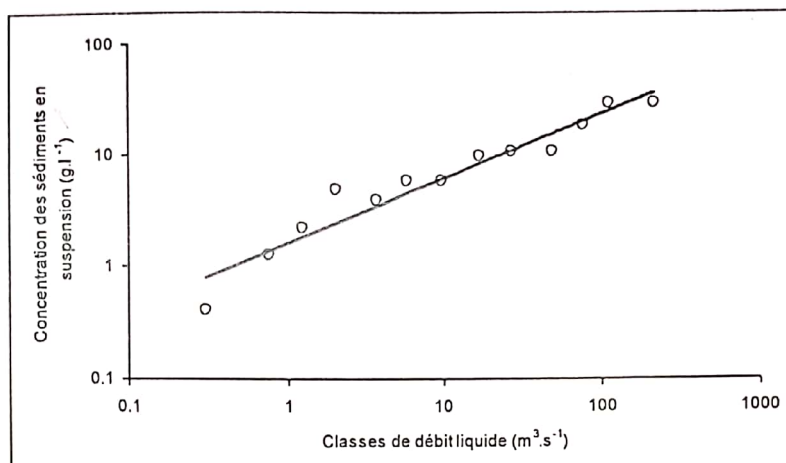


Figure 5. Relation entre les débits liquides moyens et les concentrations en suspension moyennes relatives à 13 classes de débit. Régression (2c)

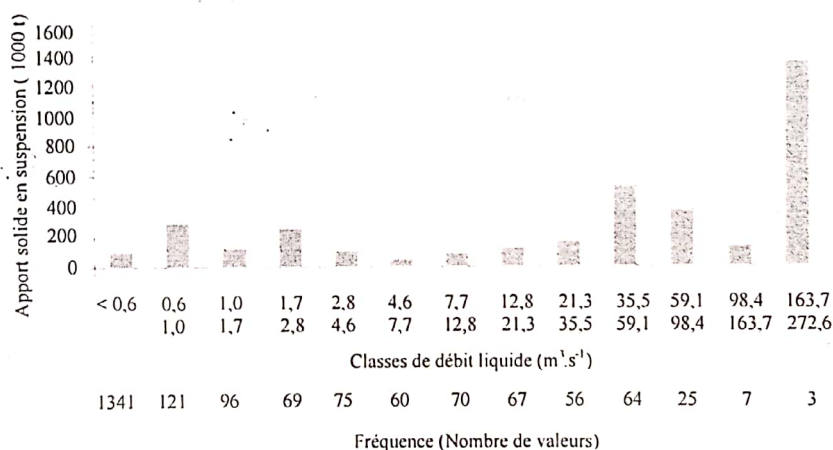


Figure 6. Apport solide basé sur les concentrations mesurées pour différentes classes de débit

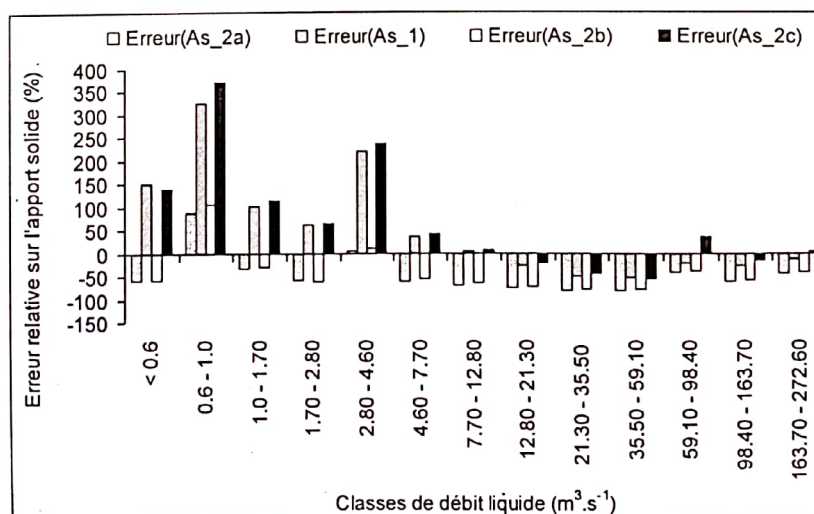


Figure 7. Erreur relative de l'apport solide calculé par les modèles par rapport à l'apport solide mesuré pour les différentes classes de débit



4. CONCLUSION

Malgré leurs insuffisances les régressions logarithmiques (2c) et arithmétique (1) sont susceptibles d'estimer avec une précision acceptable l'apport solide en suspension du bassin versant de l'Oued Sebdou. Les erreurs commises sont jugées acceptables. Il est à noter que même l'apport solide basé sur les concentrations mesurées et calculé par la méthode de l'approximation trapézoïdale ne peut refléter le tonnage exact des sédiments

5. BIBLIOGRAPHIE

- [1] D. E. Walling, Assessing the accuracy of suspended sediment rating curves for a small basin, water resources research. 13-3 (1977) 531-538.
- [2] N.E.M. Asselman, Fitting and interpretation of sediment rating curves, J. Hydrol. 234 (2000) 228-248.
- [3] A. Megnounif, Etude du transport des sédiments en suspension dans les écoulements de surface, Thèse de doctorat, université de Tlemcen, Algérie, (2007).
- [4] A. Ghenim, Etude des écoulements et des transports solides dans les régions semi-arides méditerranéennes, Thèse de doctorat, université de Tlemcen, Algérie, (2008).
- [5] G.D. Glysson, Sediment-transport curves, U.S. Geol. Surv, Open file report 87-218, (1987).
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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 Sebdou (Nord Ouest Algérien). Sécheresse, 18-1 (2007a) 39-44.
- [9] 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.
- [10] 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 10-13 octobre, Monastir -Tunisie (2002).
- [11] 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.
- [12] 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, Larhyss Journal, 6 (2007b) 35 – 44.
- [13] M.B. Jansson, Estimating of sediment rating curve of the Reventazon river at Polomo using loggest mean loads within discharges classes, J. Hydrol, 183 (1996) 227-241.
- [14] D.R. Helsel, R.M. Hirsch, Statistical methods in water resources, U.S. Geol. Surv, Chapter A3, (2002).