

Influence des fluctuations hydro-pluviométriques sur la production des sédiments : cas du bassin de la Haute Tafna

Influence of rainfall and runoff fluctuations on sediment yield : case of the Upper Tafna watershed

Abdesselam Megnounif and Abderrahmane Nekkache Ghenim

Volume 26, Number 1, 2013

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1014919ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1014919ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE)

ISSN

1718-8598 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Megnounif, A. & Ghenim, A. N. (2013). Influence des fluctuations hydro-pluviométriques sur la production des sédiments : cas du bassin de la Haute Tafna. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 26(1), 53–62. <https://doi.org/10.7202/1014919ar>

Article abstract

Watersheds in semi-arid Mediterranean areas are subject to a variety of disturbances, including rainfall variability, land clearances, with consequent effects on the erosive potential. In this context, double mass plots were used to demonstrate recent trends in suspended sediment yields in this region. The study was conducted in the Upper Tafna basin of 256 km² located in northwest Algeria. Sediment yield was explained as a function of the annual and seasonal time series of rainfall and water contribution.

As observed elsewhere in North Africa, in the 70's, rainfall began to decrease in the study area, inducing a progressive degradation of the vegetation. As a result, rainfall often occurs on dry, hard and bare soil and leads to high peak discharges with associated high sediment transport. The study revealed that, since the beginning of 1990's, the behaviour of the seasons has changed. Even though annual precipitation has decreased, the amount of rainfall occurring during the dry season has doubled. The gradual disappearance of vegetation cover due to the recurrent drought ravaging the region over more than three decades, combined with the increase in summer storms, has led to changes in the functioning of the watershed and a more important susceptibility to erosion. For particular years, moderate annual precipitations have generated high water discharge carrying a significant sediment flux. Since the end of the 1980's, the annual mean sediment contribution was seven times greater than that in the prior period, with a 4-fold increase in the contribution of the dry season.

INFLUENCE DES FLUCTUATIONS HYDRO-PLUVIOMÉTRIQUES SUR LA PRODUCTION DES SÉDIMENTS : CAS DU BASSIN DE LA HAUTE TAFNA

Influence of rainfall and runoff fluctuations on sediment yield : case of the Upper Tafna watershed

ABDESSELAM MEGNOUNIF¹ ET ABDERRAHMANE NEKKACHE GHENIM¹

¹Laboratoire Eaux et Ouvrages dans leur Environnement, Université de Tlemcen, Faculté de Technologie,
BP 230, Tlemcen, 13000 Algérie.

Reçu le 17 octobre 2011, accepté le 21 novembre 2012

RÉSUMÉ

Les bassins versants des régions semi-arides méditerranéennes sont soumis à une variété de perturbations, comme la variabilité des précipitations et la dégradation du couvert végétal et, par conséquent, le potentiel érosif. Dans ce contexte, la méthode des doubles cumuls est utilisée pour observer la tendance de la production des sédiments en suspension. L'étude est menée sur le bassin versant de la Haute Tafna, situé au nord-ouest de l'Algérie et d'une superficie de 256 km². L'évolution de la charge solide est expliquée en fonction des séries chronologiques des précipitations et des apports en eau aux échelles annuelle et saisonnière.

À l'instar du nord de l'Afrique, la baisse de la pluviométrie, qui a sévi dans la région depuis le milieu des années 1970, a induit une dégradation progressive de la couverture végétale. De ce fait, les pluies s'abattent souvent sur des sols nus, compacts et desséchés générant des débits de pointe élevés et une forte érosion concentrée.

Par ailleurs, un changement de comportement des saisons est confirmé dès les années 1990. Quoique faibles et moins réguliers, les apports pluviométriques durant la saison sèche ont doublé, et ce, malgré une tendance globale à la baisse des apports annuels. La dégradation progressive du couvert végétal, combinée avec l'augmentation des orages estivaux, a induit des changements dans le fonctionnement du bassin versant avec une plus grande susceptibilité à l'érosion. Pour des années particulières, une pluviométrie modérée a généré des écoulements et des flux sédimentaires considérables. À partir de la fin des années 1980, la production annuelle des sédiments est devenue sept fois plus importante que celle de la période d'avant, avec une augmentation quatre fois plus importante du taux de contribution de la saison sèche.

Mots clés : *Précipitation, débit liquide, sédiments en suspension, courbe des doubles cumuls, semi-aride, Haute Tafna.*

ABSTRACT

Watersheds in semi-arid Mediterranean areas are subject to a variety of disturbances, including rainfall variability, land clearances, with consequent effects on the erosive potential. In this context, double mass plots were used to demonstrate recent trends in suspended sediment yields in this region. The study was conducted in the Upper Tafna basin of 256 km² located in northwest Algeria. Sediment yield was explained as a function of the annual and seasonal time series of rainfall and water contribution.

As observed elsewhere in North Africa, in the 70's, rainfall began to decrease in the study area, inducing a progressive degradation of the vegetation. As a result, rainfall often occurs on dry, hard and bare soil and leads to high peak discharges with associated high sediment transport. The study revealed that, since the beginning of 1990's, the behaviour of the seasons has changed. Even though annual precipitation has decreased, the amount of rainfall occurring during the dry season has doubled. The gradual disappearance of vegetation cover due to the recurrent drought ravaging the region over more than three decades, combined with the increase in summer storms, has led to changes in the functioning of the watershed and a more important susceptibility to erosion. For particular years, moderate annual precipitations have generated high water discharge carrying a significant sediment flux. Since the end of the 1980's, the annual mean sediment contribution was seven times greater than that in the prior period, with a 4-fold increase in the contribution of the dry season.

Key words: *Rainfall, water discharge, suspended sediment, double mass curve, semi-arid, Upper Tafna.*

1. INTRODUCTION

Les processus de production et de transfert des matières solides en suspension dans les bassins versants sont complexes. Ils sont étroitement liés à l'intensité des précipitations, à la configuration du bassin versant et aux caractéristiques hydrauliques du cours d'eau (GUY, 1978; VAN RIJN, 2005). En Algérie où la mobilisation des ressources en eau se fait, en grande partie, par le stockage superficiel, les ouvrages de stockage souffrent d'un alluvionnement rapide d'où une réduction annuelle de leur capacité estimée à 0,65 % (HALLOUCHE, 2007; REMINI *et al.*, 2009). En effet, les dégradations spécifiques enregistrées sont souvent excessives. Elles se situent dans la fourchette entre 1 000 et 5 000 t•km⁻²•an⁻¹ (WALLING, 1984) et dépassent par endroit, et/ou pour des années particulières, le seuil de 5 000 t•km⁻²•an⁻¹ (GHENIM *et al.*, 2007a; PROBST et AMIOTTE-SUCHET, 1992).

Ces dernières décennies, la région Nord Africaine connaît une diminution des précipitations se traduisant par des sécheresses aiguës (GHENIM et MEGNOUNIF, 2011; MEDJERAB et HENIA, 2011). En Algérie, les déficits pluviométriques sont estimés entre 20 et 50 % (AÏT MOUHOUB, 1998; MEDDI et MEDDI, 2009). Ils induisent non seulement une diminution des écoulements allant jusqu'à des taux de 70 % (GHENIM *et al.*, 2010; MEDDI et HUBERT, 2003), mais aussi un accroissement de la susceptibilité des sols à l'érosion (BARTHÈS et ROOSE, 2002; SCOTT, 2006).

Dans ce contexte, le bassin versant de la Haute Tafna est en proie depuis le milieu des années 1970 à un déficit pluviométrique estimé à 27 % (GHENIM *et al.*, 2010). Cette baisse est imputable principalement aux saisons d'hiver et de printemps (GHENIM, 2008). Elle a eu pour conséquence une réduction des écoulements dans le cours d'eau de 69 % (GHENIM *et al.*, 2010). Puisque la pluviométrie est le processus moteur qui régule les écoulements, et surtout l'intensité des mécanismes de production des sédiments (FOURNIER, 1969), il serait intéressant de mettre en évidence les répercussions de cette sécheresse pluviométrique sur la production et le transfert des matières en suspension dans l'oued Sebdou qui draine le bassin versant de la Haute Tafna. Pour ce faire, la méthode des doubles cumuls et celle des tests d'homogénéité de séries statistiques aux échelles annuelle et saisonnière sont utilisées.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Présentation du site

Situé au nord-ouest de l'Algérie, le bassin versant de la Haute Tafna, appelé aussi Oued Sebdou, est encaissé dans les massifs de l'Atlas tellien (Figure 1). Il s'étale sur une superficie de 256 km² et se caractérise par un relief abrupt. Presque la moitié (49 %) de sa superficie présente des pentes supérieures à 25 %. Le cours d'eau principal, Oued Sebdou, draine le bassin sur une longueur de 27 km. Il contribue en partie à l'alimentation du barrage Béni Bahdel mis en service en 1947 et d'une capacité de stockage initiale de 63 x 10⁶ m³. Le barrage Béni Bahdel, l'un des plus anciens de la région, est le moins envasé des barrages algériens. Au dernier relevé bathymétrique effectué en 2004 par les services de l'ANBT (Agence Nationale des Barrages et des Transferts), la capacité nette du barrage est de 54,63 x 10⁶ m³, d'où un taux d'envasement annuel moyen de 0,144 x 10⁶ m³•an⁻¹, soit une perte de volume de 0,23 %.

Le réseau de drainage se creuse dans des formations essentiellement gréseuses sur lesquelles se sont développées des formations carbonatées bien karstifiées (BOUANANI, 2004). Le nord et le nord-est du bassin versant représentent un

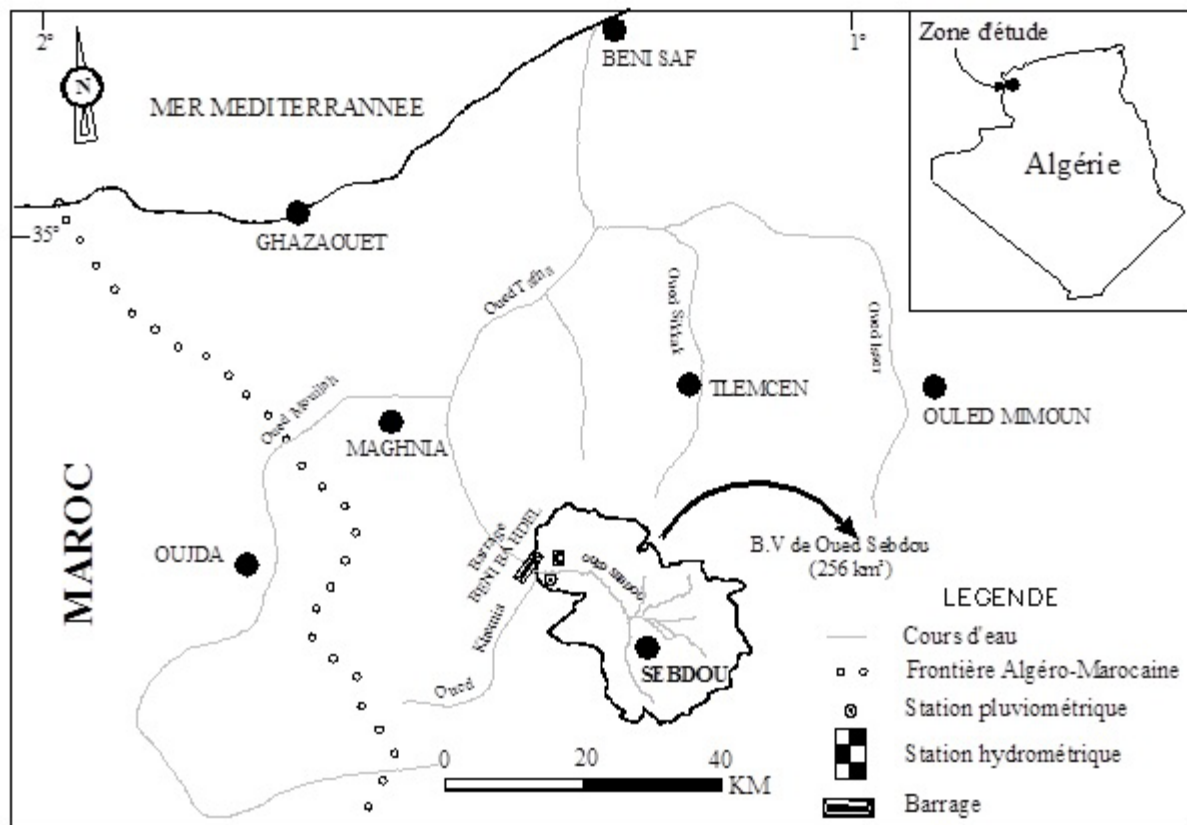


Figure 1. Situation du bassin versant de la Haute Tafna
Location of Upper Tafna basin.

horst Jurassique principalement carbonaté. Au Sud et à l'Est, on trouve un graben rempli de sédiments Plio-Quaternaires représentant le fossé de Sebdo. Le bassin versant est occupé sur 44 % de son étendue par un couvert végétal maigre et discontinu dominé par un couvert forestier dégradé.

À vocation rurale, près de 32 % de la population vit en habitat dispersé. Elle se situe principalement dans les vallées (fossé de Sebdo) et aux pieds des montagnes où la pression pastorale est intense (AIME et REMAOUN, 1988).

Sur cette région règne un climat fort contrasté. Les mécanismes imputables au froid, au gel à climat pluvieux ($538 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$) sévissent sur les hauts massifs (MEGNOUNIF *et al.*, 1999). Les plaines, situées de part et d'autre des chaînes montagneuses, se caractérisent par un climat relativement sec ($278 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$). À l'instar de l'ensemble de la région nord-africaine (BOUANANI, 2004; FILALI, 2004; GHENIM, 2008), les précipitations sont considérables et efficaces durant la saison humide composée de l'hiver et du printemps. Les écoulements générés par les premières averses automnales sont en général fortement chargés et les sédiments proviennent essentiellement des versants. La production des sédiments est aussi importante vers la fin de la saison humide et se limite principalement au réseau hydrographique (MEGNOUNIF *et al.*, 2007).

2.2 Données de mesure

L'hydrométéorologie du bassin versant de la Haute Tafna est caractérisée par une station climatique ($X = 01^{\circ} 29' 48''\text{W}$; $Y = 34^{\circ} 42' 33''\text{N}$; $Z = 660 \text{ m}$) et une station de jaugeage située à l'exutoire ($X = 01^{\circ} 27' 41''\text{W}$; $Y = 34^{\circ} 41' 41''\text{N}$; $Z = 669 \text{ m}$). Pour cette étude, on dispose d'une série de hauteurs mensuelles de précipitations correspondant à la période allant de septembre 1939 à août 2009 et d'une série comprenant 7 085 couples de valeurs instantanées du débit liquide, Q ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) et de concentration de la charge solide en suspension, C ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) correspondant à la période de septembre 1973 à août 2004. Les données sont fournies par les services de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) (<http://www.anrh.dz>). La technique de mesure est la même que celle décrite dans les travaux de TERFOUS *et al.* (2001), ACHITE et OUILLON (2007) et KHANCHOU *et al.* (2012).

La méthode de mesure du débit 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. La concentration, quant à elle, est estimée à partir du prélèvement d'un ou de deux échantillons d'eau turbide sur la rive à la surface de l'oued au moyen d'un flacon de 1 L.

La cadence de prises d'échantillons varie selon l'ampleur de l'événement. En période de crue, les prises se font à des pas de temps rapprochés jusqu'à 30 minutes en fonction de la vitesse de l'accroissement du débit. En période d'écoulement normal ou en période d'étiage, on se contente d'une lecture quotidienne effectuée généralement à 12 h. Lors des étiages sévères, la mesure est effectuée un jour sur deux et même une fois par quinzaine.

2.3 Méthode

La méthode des doubles cumuls a été initiée par MERRIAM (1937). Elle est souvent utilisée pour vérifier l'homogénéité des données chronologiques et déceler les changements dans le comportement de phénomènes hydro-climatiques. Pour une analyse globale de la tendance d'un phénomène, tel que les apports annuels d'un cours d'eau, la méthode consiste à tracer la courbe de valeurs cumulées en fonction des années. Pour repérer un changement dans le comportement d'un paramètre sous l'influence d'un autre paramètre, on trace pour une même période le cumul de valeurs d'une variable en fonction du cumul de l'autre variable (SEARCY et HARDISON, 1960). Dans les deux cas, la courbe obtenue est une ligne droite dont la pente représente la constante de proportionnalité. Une rupture de pente indique un changement de cette proportionnalité (KALRA et KUMAR, 1989; WIGBOUT, 1973; ZAHO *et al.*, 2004). La cassure de pente ainsi que l'angle formé par les deux droites indiquent la date et le degré du changement dans le comportement du phénomène. Dans le cas de deux variables, la relation montre le degré d'influence du changement de comportement d'un phénomène sur l'autre.

Bien que simple, la méthode des doubles cumuls s'est vue généralisée dans l'étude de nombreux phénomènes hydro-climatiques ainsi que leurs interactions (HINDALL, 1991; RUTELEDGE, 1985; WALLING et FANG, 2003). Récemment, WALLING (2006), IADANZA et NAPOLITANO (2006), WALLING (2008) et ALANSI *et al.* (2009) ont utilisé cette méthode pour analyser à long terme l'influence de l'action anthropique et les variations du climat sur le transport fluvial des sédiments.

Cette étude s'inscrit dans ce contexte et s'intéresse à l'influence des fluctuations des paramètres hydro-climatiques – en particulier la pluviométrie et l'écoulement – sur la production des sédiments dans le bassin versant de la Haute Tafna à climat semi-aride méditerranéen. Par la méthode des doubles cumuls, on étudie, en premier, les grandes fluctuations chronologiques que subissent les apports pluviométriques ainsi que les écoulements et le flux des sédiments qui transitent par l'exutoire du bassin versant. En second, on analyse les variations du flux des sédiments quant aux fluctuations de la pluviométrie et des apports en eau. Le degré de changement

dans la production des sédiments est apprécié aux échelles annuelle et saisonnière.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Pluviométrie

L'analyse de la tendance des apports pluviométriques par la méthode des doubles cumuls montre une perte d'homogénéité vers le milieu des années soixante-dix (Figure 2). Une cassure de la courbe laisse apparaître deux périodes distinctes représentées par deux branches de droites ayant des coefficients de proportionnalité distincts (513,8 avant 1976-77 et 363,6 après cette date). Le taux de diminution est alors de 26,5 %. Ce taux, de même ordre que celui estimé par GHENIM *et al.* (2010) utilisant la segmentation de Hubert, révèle l'ampleur de la sécheresse qui sévit dans la région depuis plus de trois décennies.

Deux saisons marquent les apports pluviométriques. Une saison humide s'étale du mois d'octobre jusqu'au mois de mai. Durant cette dernière, les précipitations sont efficaces avec une contribution annuelle moyenne de l'ordre de 92,2 %. Le coefficient de proportionnalité correspondant à la courbe représentant l'évolution des cumuls de la saison humide en fonction des cumuls annuels est de l'ordre de 92,8 % (Figure 3a). Ces valeurs très proches attestent de la régularité du taux de contribution de la saison humide qui évolue de manière homogène le long des soixante-dix années d'étude (Figure 3a). Par contre, la saison sèche est marquée par une contribution moins régulière justifiée par un coefficient de variation élevé $C_v = 78 \%$, soit 2,5 fois celui de la saison humide ($C_v = 31 \%$). Au cours de cette saison, la pluviométrie, quoique faible, a connu une nette augmentation depuis l'année 1993-94. La contribution moyenne des apports pluviométriques est passée de 7 % à 14,7 % et l'accroissement du taux de proportionnalité s'est élevé de 47 % (Figure 3b).

3.2 Fonctionnement du bassin versant dans la production des sédiments

La méthode des doubles cumuls est appliquée aux apports annuels en eau et en sédiments correspondant à la période allant de septembre 1973 à août 2004. Une augmentation significative dans la production des sédiments est observée à partir de l'année 1988-89, avec un coefficient de proportionnalité dix fois plus important que celui de la période 1973-87 (Figure 4) alors que les moyennes interannuelles montrent que la production est sept fois plus importante.

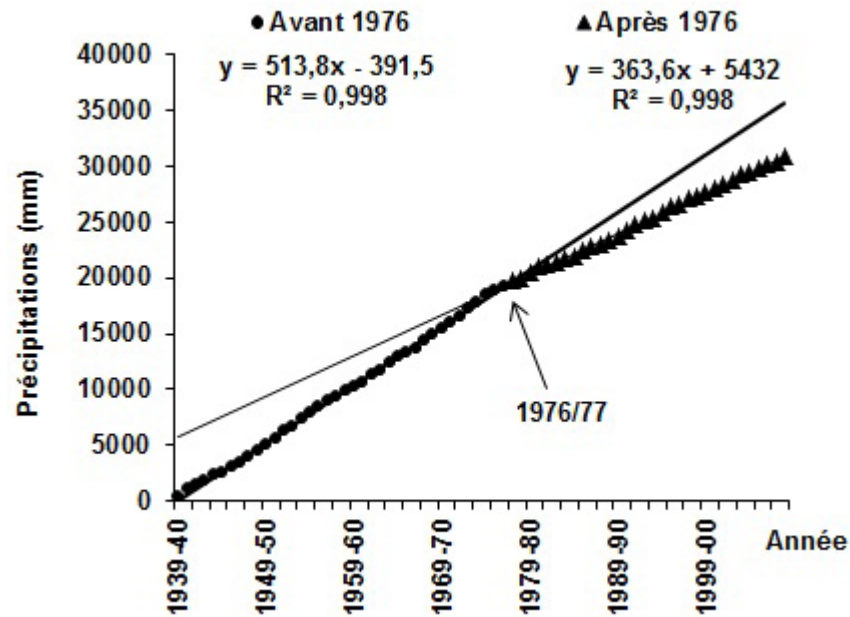


Figure 2. Courbe des cumuls des précipitations (septembre 1939 à août 2009).
Double mass plot of annual rainfall (September 1939 to August 2009).

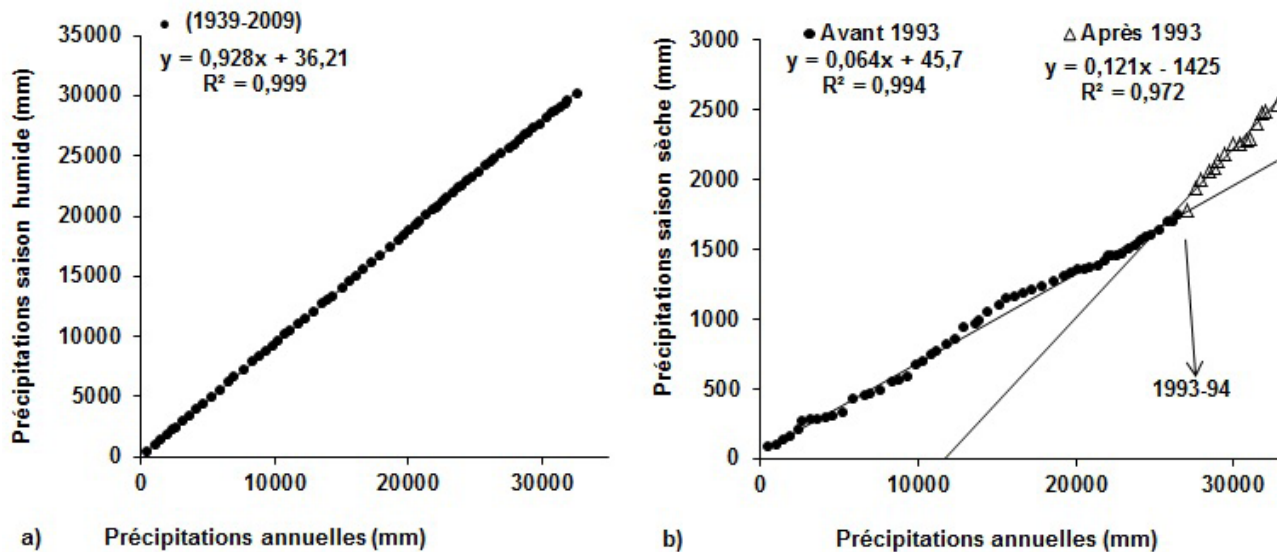


Figure 3. Courbes des doubles cumuls représentant la contribution des saisons humide (a) et sèche (b) en fonction de l'apport pluviométrique annuelle (septembre 1939 à août 2009).
Double mass plots of the annual contributions of the humid (a) and dry (b) seasons, as a function of the total annual rainfall (September 1939 to August 2009)

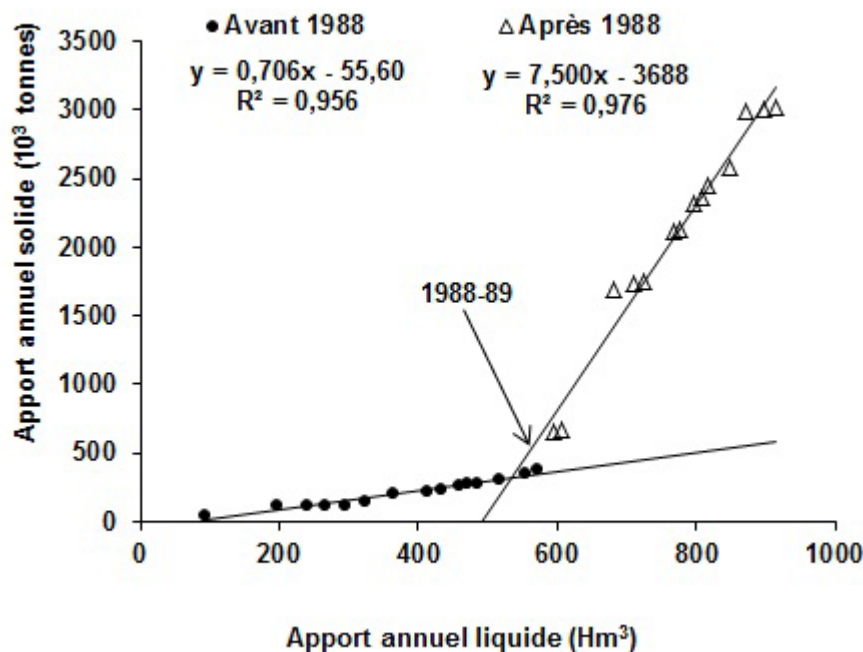


Figure 4. Courbes des doubles cumuls représentant la production annuelle des sédiments en fonction des apports en eau (septembre 1973 à août 2004).
Double mass plot of the annual sediment load as a function of the annual inflows (September 1973 to August 2004).

À la lumière des résultats obtenus, deux questions importantes s'imposent :

- 1) L'accroissement observé dans la production des sédiments est-il une conséquence directe de la sécheresse?
- 2) Le comportement des saisons a-t-il influencé la production des sédiments?

Malgré une tendance déficitaire de la pluviométrie, la production des sédiments a connu une évolution croissante. Le changement statistiquement significatif n'est observé qu'au milieu de la période sèche, soit à partir de l'année 1988-89 (Figure 4). Après cette date, une nette augmentation est observée dans la production des sédiments. Cependant, la dispersion du nuage de points dictée par la présence d'années à forte production sédimentaire observées après la date de rupture d'homogénéité, ne permet pas une lecture adéquate de la courbe des doubles cumuls. Contrairement à cela, à l'échelle saisonnière, le cumul des contributions en eau des saisons sèche et humide par rapport aux cumuls annuels semble évoluer avec un coefficient de proportionnalité fixe caractérisant chaque saison (Figure 5). La contribution de la saison humide est quatre fois plus importante que celle de la saison sèche.

Malgré un comportement sans changement significatif dans les écoulements saisonniers, le taux de contribution des saisons dans la production des sédiments a significativement

changé. En effet, à partir de la date de rupture, la production est devenue quatre fois plus importante durant la saison sèche au regard des valeurs des coefficients de proportionnalité (Figure 6).

À l'instar de la région nord-africaine, la perte d'homogénéité des séries pluviométriques en Algérie atteste de l'ampleur de la sécheresse qui sévit dans la région depuis les années 1970 (GHENIM *et al.*, 2010; LABORDE, 1993; MATHLOUTHI et LEBDI, 2009; MEDDI *et al.*, 2002). Selon MEDDI et HUBERT (2003), le déficit enregistré est plus accentué à l'ouest qu'à l'est du pays et varie de 20 à 50 %. Ceci a induit une dégradation progressive de la couverture végétale (AIME et REMAOUN, 1988). Les pluies de fréquence rare s'abattent sur les sols nus et desséchés (DEMMAK, 1982). Les gouttelettes de pluie sous l'effet « splash » sont accompagnées par le rejaillissement des particules de sol. De plus, l'humectation rapide du sol comprime l'air piégé dans les pores vides et provoque l'éclatement des agrégats. Ces deux processus accélèrent l'érosion diffuse et acheminent, à partir des versants, des quantités appréciables de sédiments vers le réseau de drainage. Par ailleurs, les écoulements superficiels se concentrent et s'amplifient rapidement au détriment de la recharge des nappes générant des débits de pointe élevés et une forte érosion concentrée (COELHO *et al.*, 2004; FOX *et al.*, 1997).

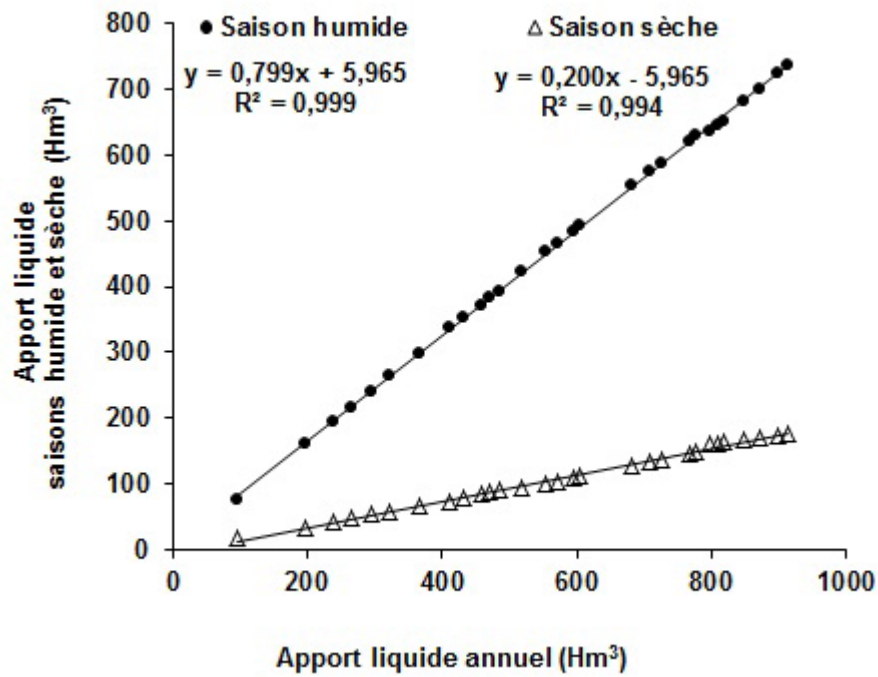


Figure 5. Courbe des doubles cumuls représentant la contribution annuelle des apports en eau durant les saisons humide et sèche en fonction de l'apport annuel en eau (septembre 1973 à août 2004).

Double mass plot of seasonal inflows versus total annual inflows (September 1973 to August 2004).

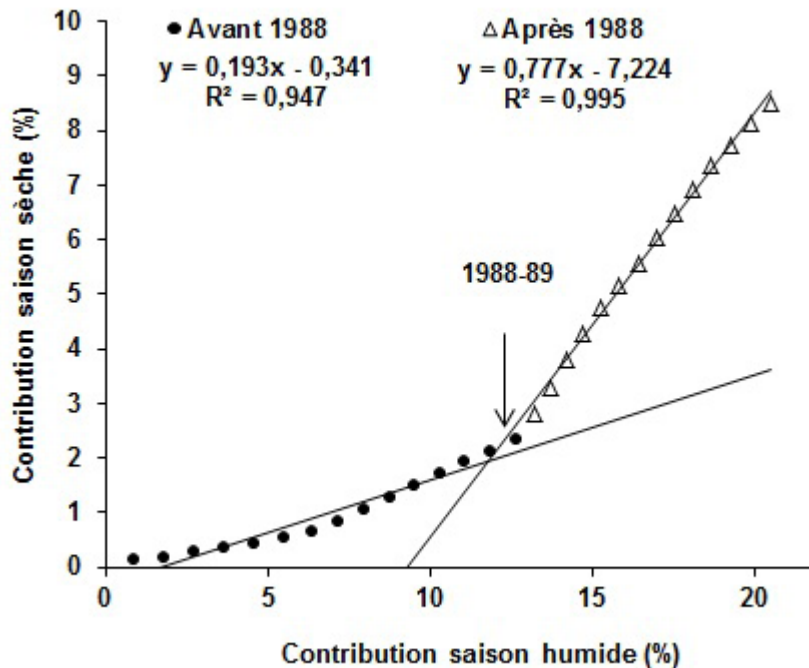


Figure 6. Courbe des doubles cumuls représentant le taux de sédiments produits durant la saison sèche en fonction de ceux produits durant la saison humide (septembre 1973 à août 2004).

Double mass plot of the ratio of sediment produced during the dry season, according to those produced during the wet season (September 1973 to August 2004).

Le comportement du bassin versant de la Haute Tafna dans la genèse des crues et la production des sédiments au cours de deux longues périodes distinctes, l'une humide et l'autre sèche, semble similaire au comportement des régions humides et arides. LANGBEIN et SCHUMM (1958), McMAHON (1979) et SCOTT (2006) montrent que sous-climat semi-aride, les susceptibilités à l'écoulement et l'érosion sont beaucoup plus importantes que sous climat humide. En particulier, ils relèvent la grande influence de la couverture végétale sur les écoulements de surface et le transport des sédiments en réponse à la pluviométrie. FOURNIER (1969) ainsi que BARTHÈS et ROOSE (2002) soulignent l'importance du taux d'érosion sur les sols nus exposés aux averses.

Durant la saison sèche, bien que de fréquence faible, les averses contribuent significativement dans la production des sédiments avec une contribution quatre fois plus importante que celle de la saison humide (Figure 6). Ce constat est confirmé par plusieurs études menées en Algérie (ACHITE et OUILLON, 2007; BENKHALED et REMINI, 2003; GHENIM *et al.*, 2007b; MEGNOUNIF *et al.*, 2003). Dans ce contexte, ROVIRA et BATALLA (2006) expliquent que la production des sédiments est cyclique et passe par deux phases. La première, de préparation, correspond à l'hiver, le printemps et l'été. La seconde, de transport, coïncide avec les premières pluies automnales. ASSELMAN (1999), HUDSON (2003) et ALEXANDROV *et al.* (2003) ont souligné que l'essentiel du transfert des sédiments s'effectue lors des premiers événements de crue.

4. CONCLUSION

Dans ce travail, on analyse les fluctuations qui ont affecté la pluviométrie et leur influence sur l'érosion et le transport des sédiments dans un bassin versant à climat semi-aride, la Haute Tafna. Une cassure au milieu des années soixante-dix marque les apports pluviométriques et laisse apparaître deux périodes distinctes, l'une humide et l'autre sèche. Le taux de déficit de la saison sèche par rapport à la saison humide est de l'ordre de 26 %. Un changement de comportement des saisons est observé à partir de 1993 avec une augmentation significative dans la contribution de la saison sèche dans les apports pluviométriques. L'accroissement du taux de proportionnalité est 47 %.

La sécheresse et le changement de comportement des saisons ont augmenté la susceptibilité du bassin versant à l'érosion et au transport des sédiments. Au milieu de la période sèche et à partir de l'année 1988-89, la production des sédiments a augmenté de manière considérable. A l'échelle annuelle, le coefficient de proportionnalité est dix fois plus important que celui de la période d'avant. Aussi, à partir de cette date, le

taux de contribution de la saison sèche par rapport à la saison humide croît avec un coefficient de proportionnalité quatre fois plus important que celui de la période précédente.

À la lumière des résultats obtenus et en l'absence d'enquêtes sur les actions anthropiques telles que la déforestation, les feux de forêts et la réorientation des terres vers les cultures, on peut conclure que le changement du comportement de la pluviométrie et l'accroissement à l'aridité ont substantiellement augmenté le potentiel érosif et la production des sédiments dans le bassin versant de la Haute Tafna.

5. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACHITE M. et S. OUILLON (2007). Suspended sediment transport in a semiarid watershed, Wadi Abd, Algeria (1973-1995). *J. Hydrol.*, 343, 187-202.
- AIME S. et K. REMAOUN (1988). Variabilité climatique et steppisation dans le bassin de la Tafna (Oranie occidentale). *Méditerranée*, 3, 63, 43-51.
- AÏT MOUHOUB D. (1998). *Contribution à l'étude de la sécheresse sur le littoral algérien par le biais de traitement des données pluviométriques et la simulation*. Thèse de Magister, École nationale polytechnique, Alger, Algérie, 128 p.
- ALANSI A.W., M.S.M. AMIN, G. ABDUL HALIM, H.Z.M. SHAFRI, A.M. THAMER, A.R.M. WALEED, W. AIMRUN et M.H. EZRIN (2009). The effect of development and land use change on rainfall-runoff and runoff-sediment relationships under humid tropical condition: Case study of Bernam Watershed, Malaysia. *Europ. J. Sci. Res.*, 31, 88-105.
- ALEXANDROV Y., J.B. LARONNE et I. REID (2003). Suspended sediment concentration and its variation with water discharge in a dryland ephemeral channel, Northern Negev, Israel. *J. Arid Environ.*, 53, 73-84.
- ASSELMAN N.E.M. (1999). Suspended sediment dynamics in a large drainage basin: the River Rhine. *Hydrol. Process.*, 13, 1437-1450.
- BARTHÈS B. et E. ROOSE (2002). Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. *Catena*, 47, 133-149.
- BENKHALED A. et B. REMINI (2003). Analyse de la relation puissance : débit solide-débit liquide à l'échelle du bassin versant de l'oued Wahrane (Algérie). *Rev. Sci. Eau*, 16, 333-356.

- BOUANANI A. (2004). *Hydrologie, transport solide et modélisation. Étude de quelques sous-bassins de la Tafna (NW-Algérie)*. Thèse Doctorat, Univ. Tlemcen, Algérie, 254 p.
- COELHO C.O.A., A.J.D. FERREIRA, A. LAOUINA, A.-K. BOULET, M. CHAKER, R. NAFAA, R. NACIRI, K. REGAYA, A. HAMZA, T.M.M. CARVALHO et J.J. KEIZER (2004). Changes in land-use and their impact on erosion rates and overland flow generation in the Maghreb region. *Rev. Sci. Eau*, 17, 163-180.
- DEMMAK A., 1982. *Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale*. Thèse, Docteur-Ingénieur, Univ. Paris, France, 323 p.
- FILALI B.A. (2004). L'irrigation dans les pays du Maghreb, enjeux stratégiques et défis majeurs. *Rev. H.T.E.*, 129, 2-7.
- FOURNIER F. (1969). L'érosion hydrique et le climat. *Bull. Tech. Inf. Meteorol. Agric.*, 237, 111-115.
- FOX H.R., H.M. MOORE et J.P. NEWELL PRICE (1997). Soil erosion and reservoir sedimentation in the High Atlas Mountains, Southern Morocco. *IAHS Publ.*, 245, 233-240.
- GHENIM A., A. TERFOUS et A. SEDDINI (2007a). Étude du transport solide en suspension dans les régions semi-arides méditerranéennes : cas du bassin versant de l'Oued Seb Dou (Nord-Ouest Algérien). *Sécheresse*, 18, 39-44.
- GHENIM A., A. SEDDINI et A. TERFOUS (2007b). Production et exportation des sédiments en suspension lors des événements de crue : cas du bassin versant de Oued Mouilah. *Larhyss J.*, 6, 33-42.
- GHENIM A. (2008). *Étude des écoulements et des transports solides dans les régions semi-arides méditerranéennes*. Thèse de Doctorat, Univ. Tlemcen, Algérie, 134 p.
- GHENIM A., A. MEGNOUNIF, A. SEDDINI et A. TERFOUS (2010). Fluctuations hydropluviométriques du bassin versant de l'Oued Tafna à Béni Bahdel (Nord-Ouest Algérien). *Sécheresse*, 21, 115-20.
- GHENIM A. et A. MEGNOUNIF (2011). Caractérisation de la sécheresse par les indices SPI et SSFI (Nord-Ouest de l'Algérie), *J. Eau Environ. (LJEE)*, 18, 59-77.
- GUY H.P. (1978). *Fluvial sediment concepts*. U.S. Geol. Survey Prof. Paper, Chapter C1, 53 p.
- HALLOUCHE W. (2007). *Prévision du transport solide et sédimentation des barrages*. Thèse de Doctorat, Univ. de Biskra, Algérie, 105 p.
- HINDALL S.M. (1991). Temporal trends in fluvial-sediment in Ohio, 1950-1987. *J. Soil Water Conserv.*, 46, 311-313.
- HUDSON P.F. (2003). Event sequence and sediment exhaustion in the lower Panuco Basin, Mexico. *Catena*, 52, 57-76.
- IADANZA C. et F. NAPOLITANO (2006). Sediment transport time series in the Tiber River. *Phys. Chem. Earth*, 31, 1212-1227.
- KALRA A.M. et S. KUMAR (1989). Changes in water yield and soil loss from a Himalayan catchment following afforestation. *J. Model. Simul. Control*, 18, 21-29.
- KHANCHOUK K., Z.A. BOUKHRIS, A. ACIDI et R. ALTSCHUL (2012). Estimation of suspended sediment transport in the Kebir drainage basin, Algeria. *Quaternary Int.*, 262, 25-31.
- LABORDE J.P. (1993). *Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord à l'échelle du 1/500 000, notice explicative*. Projet PNUD/ALG/88/021. Alger : Agence nationale des ressources hydrauliques.
- LANGBEIN W.B. et S.A. SCHUMM (1958). Yield of sediments in relation to mean annual precipitation. *Trans. Am. Geophys. Union*, 39, 1076-1084.
- MATHLOUTHI M. et F. LEBDI (2009). Analyse statistique des séquences sèches dans un bassin du nord de la Tunisie. *Hydrol. Sci. J.*, 54, 442-455.
- McMAHON T.A. (1979). *Hydrological characteristics of arid zones. Hydrology of areas of low precipitation*. International Association of Hydrological Sciences Publication, IAHS Press, Wallingford, England, 128, 105-123.
- MEDDI H. et M. MEDDI (2009). Variabilité des précipitations annuelles du nord-ouest de l'Algérie. *Sécheresse*, 20, 57-65.
- MEDDI M. et P. HUBERT (2003). Impact de la pluviométrie du régime pluviométrique sur les ressources en eau du nord-ouest de l'Algérie. Dans : *Hydrology In The Mediterranean And Semiarid Regions*. E. SERVAT, W. NAJEM, C. LEDUC et A. SHAKEEL (Éditeurs), IAHS Publ. 278, IAHS Press, Wallingford, UK, 329-235.

- MEDDI M., P. HUBERT et H. BENDJOUDI (2002). Évolution du régime pluviométrique du nord-ouest de l'Algérie. Dans : *Colloque International Sur l'Eau Dans Le Bassin Méditerranéen (WATMED)* « ressources et développement durable », Monastir, Tunisie, 10-13 octobre.
- MEDJERAB A. et L. HENIA (2011). Variations spatio-temporelles de la sécheresse climatique en Algérie nord-occidentale, *Cour. Savoir*, 11, 71-79.
- MEGNOUNIF A., A. BOUANANI, A. TERFOUS et K. BABA-HAMED (1999). Distributions statistiques de la pluviométrie et mise en évidence de l'influence du relief (cas des Monts de Tlemcen, Nord-Ouest Algérien). *Sci. Technol.*, 12, 77-80.
- MEGNOUNIF A., A. TERFOUS et A. BOUANANI (2003). Production et transport des matières solides en suspension dans le bassin versant de la Haute Tafna (Nord-Ouest Algérien). *Rev. Sci. Eau*, 16, 369-380.
- MEGNOUNIF A., A. TERFOUS, A. GHENAIM et J.B. POULET (2007). Key processes influencing erosion and sediment transport in a semi-arid Mediterranean area: the Upper Tafna catchment, Algeria. *Hydrol. Sci. J.*, 52, 1271-1284.
- MERRIAM C.F. (1937). A comprehensive study of the rainfall on the Susquehanna Valley. *Am. Geophys. Union Trans.*, 2, 471-476.
- PROBST J.L. et P. AMIOTTE-SUCHET (1992). Fluvial suspended sediment transport and mechanical erosion in the Maghreb (North Africa). *Hydrol. Sci. J.*, 37, 621-637.
- REMINI B., C. LEDUC et W. HALLOUCHE (2009). Évolution des grands barrages en régions arides : quelques exemples algériens. *Sécheresse*, 20, 96-103.
- ROVIRA, R. et R.J. BATALLA (2006). Temporal distribution of suspended sediment transport in a Mediterranean basin: The Lower Tordera (NE Spain). *Geomorphology*, 79, 58-71.
- RUTELEDGE A.T. (1985). *Use of double Mass curves to determine drawdown in a long term aquifer test in North Central Volusia County*. Florida HSSS, Water Resources Investigations, Report 84-4309, 29 p.
- SCOTT S. (2006). *Predicting sediment transport dynamics in ephemeral channels: A review of literature*. ERDC/CHL CHETN-VII-6, Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center. <http://chl.erdc.usace.army.mil/chetn>.
- SEARCY J.K et C.H. HARDISON (1960). *Double mass curves*. U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper 1541-B. 66 p.
- TERFOUS A., A. MEGNOUNIF et A. BOUANANI (2001). Étude du transport solide en suspension dans l'Oued Mouilah (Nord-Ouest Algérien). *Rev. Sci. Eau*, 14, 173-185.
- VAN RIJN L.C. (2005). Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas. *Aqua Pub*, Pays-Bas, 13 chapitres, 4 annexes.
- WALLING D.E. (1984). The sediment yield of African rivers. *IAHS Pub.*, 144, 265-283.
- WALLING D.E. (2006). Human impact on land-ocean sediment transfer by the world's rivers. *Geomorphology*, 79, 192-216.
- WALLING D.E. (2008). *The changing sediment loads of the world's rivers*. Ann. Warsaw Univ. of Life Sci. – SGGW, Land Reclam., 39, pp. 3-20.
- WALLING D.E. et D. FANG (2003). Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. *Global Planet. Change*, 39, 111-126.
- WIGBOUT M. (1973). Limitations in the use of double mass curves. *J. Hydrol.*, 12, 132-138.
- ZAHO W.W., B.J. FU, Q.H. MENG, Q.J. ZHANG et Y.H. ZHANG (2004). Effects of land-use pattern change on rainfall-runoff and runoff-sediment relations: a case study in Zichang watershed of the loess plateau of china. *J. Environ. Sci.*, 16, 436-442.