

**IMPACT DES CRUES DANS LA GENESE DU TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION : CAS DU BASSIN VERSANT D'OUED BOUMESSAOUD (N-O DE L'ALGERIE).**

**FLOODS IMPACT IN SUSPENDED SEDIMENT YIELD GENESIS: THE CASE OF WADY BOUMESSAOUD WATERSHED (N-W OF ALGERIA).**

**SidAhmed BOUGUERRA**, *Faculté de technologie, Univ. AbouBakr Belkaid - Tlemcen, Algérie, [boug11@hotmail.fr](mailto:boug11@hotmail.fr)*

**Abderrazak BOUANANI** *Faculté de technologie, Univ. AbouBakr Belkaid - Tlemcen, Algérie, [bouananidz@yahoo.fr](mailto:bouananidz@yahoo.fr)*

**Kamila BABA-HAMED** *Faculté de technologie, Univ. AbouBakr Belkaid - Tlemcen, Algérie, [kambabahamed@yahoo.fr](mailto:kambabahamed@yahoo.fr)*

**RESUME :** Des observations du régime hydrosédimentologique, menées sur le bassin versant de l'oued Boumessaoud (118 km<sup>2</sup>) à la station hydrométrique d'Henaya (environ 10 km de l'exutoire) sur une période de 16 années (sept1988-aout2004), ont permis de mettre en évidence la variabilité annuelle et saisonnière de l'apport solide, et d'examiner l'ampleur du phénomène pendant les périodes d'érosion active de l'année dans ce bassin des régions méditerranéennes semi arides, où la contribution des crues s'est élevée à 74% durant la saison de l'automne, pour atteindre 97% du tonnage global moyen au printemps. Les caractéristiques des 22 crues principales recensées ont été analysées de manière systématique : le débit maximal, la concentration maximale, l'occurrence et la durée de la crue sont autant de paramètres qui interviennent lors de ces événements exceptionnels.

**Mots clés :** débit liquide, débit solide, concentration, crue, hystérésis, oued Boumessaoud.

**ABSTRACT:** The exploitation of instantaneous water discharge and suspended sediment loads in the watershed of the Boumessaoud Wadi (118km<sup>2</sup>) on 16 years (period from September 1988 to August 2004), show the existence of sediment annual and seasonal Variability transit in this Mediterranean semi-arid catchment and examine the impact of flood event , which contribute about 74 % of overall solid tonnage in Autumn and reached 97 % in spring season. The characteristic of the 22 main flood were analyzed systematically: the outflow max, the suspended sediment

concentration max, the flood time and his event are as much as parameters which happen in this exceptional occurrence.

**Key words:** liquid outflow, solid yield, concentration, flood, hystérésis, wadi Boumessaoud.

## INTRODUCTION

Le transport solide est l'un des phénomènes réduisant les ressources hydriques tant en quantité qu'en qualité (Bouanani, 2014 ; Meddi et Hubert, 2003, Meghnounif & Ghenim, 2013). Cela est visible dans les retenues d'eau par leur envasement excessif menaçant ainsi la sécurité des ouvrages hydrotechniques. En Algérie du nord où règne un climat semi aride voir aride, le changement climatique qui commence à causer des désastres ailleurs, marque aussi notre pays par des intempéries violentes causant inondations des villes et glissement de terrains (Agoumi et al., 1999). L'urbanisation galopante, l'activité anthropique et les pratiques agricoles inadéquates accentuent davantage la vulnérabilité de la ressource en eau si rare en ce début du 3<sup>ème</sup> millénaire (Touaibia, 2010). Pour tenter de comprendre la genèse du transport solide lors de ces événements extrêmes, l'examen de certains paramètres caractéristiques des crues survenues durant la période d'observation a fait l'objet de notre étude. Les données disponibles sur les débits liquides de pointe et les concentrations correspondantes ont servi à distinguer les saisons de forts apports solides et à quantifier la contribution des crues. Ces résultats aideront les gestionnaires d'aménagements hydrauliques à en prédire les tendances futures des risques d'érosion hydrique.

## PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

Le bassin versant de l'oued Boumessaoud fait partie du grand bassin de la Tafna qui s'étend au nord-ouest de l'Algérie. Situé entre les longitudes 1°20' et 1°30' O, et les latitudes 34°51'15'' et 35°05'N (Fig. 1), il occupe une superficie de 118 km<sup>2</sup> avec un périmètre de 59 km, de forme assez allongée ( $K_G=1.52$ ) et d'un indice de pente global  $I_g=0.036$  lui offrant un relief assez marqué selon la classification de l'IRD (ex : ORSTOM). Les altitudes max et min sont respectivement 1150 et 150 m. Du point de vue géologique, le bassin versant dans sa partie sud est occupé par les formations carbonatées jurassiques des monts de Tlemcen. Au centre on trouve des formations marneuses et gréseuses du Tertiaire, des alluvions récentes du Pliocène et une carapace calcaire qui s'étale sur une grande

partie du plateau de Zenâta. Le nord du bassin est caractérisé par une dépression où affleurent des marnes du miocène inférieur et des alluvions récentes. Le régime pluviométrique est très irrégulier avec une moyenne interannuelle de 396 mm à la station d'Henaya (72/73 – 09/10).

Une tendance de périodes sèches plus fréquentes a été constatée entre 1978 et 2010 (Bouanani, 2004). Le débit moyen annuel écoulé durant la période allant de 1988/89 à 2003/04 à la station d'Henaya est estimé à  $0.268 \text{ m}^3/\text{s}$ .

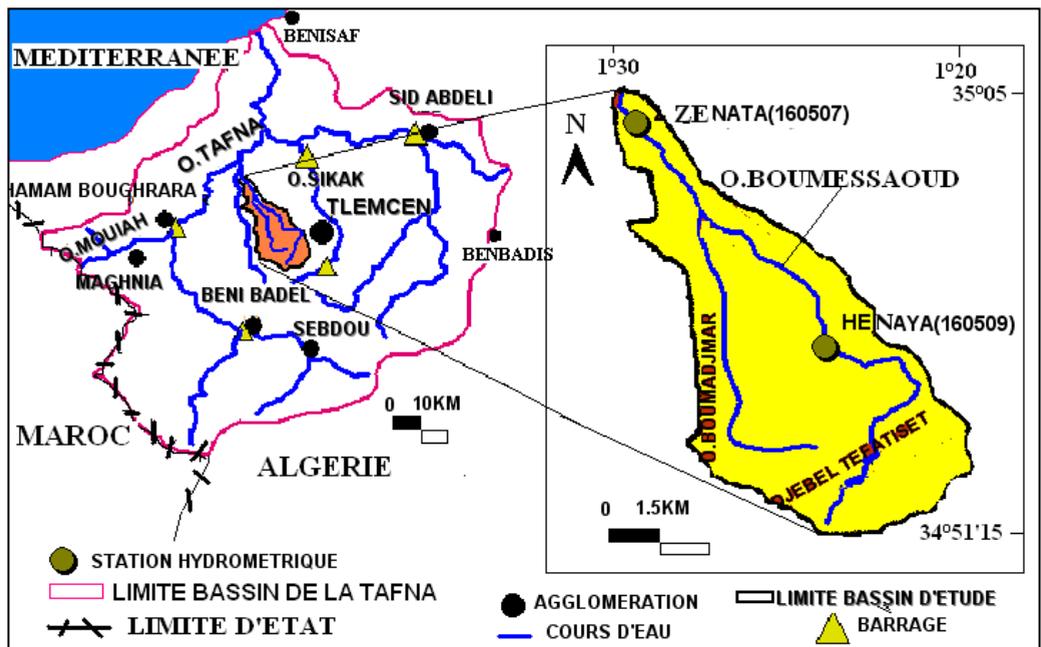


Fig.1. Situation géographique du bassin versant oued Boumessaoud.

## DONNEES ET METHODOLOGIE

Les données nécessaires à cette étude sont recueillies au niveau de la station hydrométrique d'Henaya (qui contrôle une surface de  $46 \text{ km}^2$  du bassin) située sur l'axe de l'oued principal du bassin à environ 10 km de l'exutoire et sont fournies par l'A.N.R.H (Agence nationale des ressources hydriques). Elles sont représentées par les débits liquides ( $Q_L$ ) et les débits solides ( $Q_s$ ) et couvrent une période allant de 1988/89 à 2003/04.

Le flux annuel des matières solides en suspension  $A_s$  (tonne) exporté par les différents oueds étudiés est calculé par l'expression 1:

$$A_s = \sum_{j=0}^N \frac{[Q_j C_j + Q_{j+1} C_{j+1}]}{2} (t_{j+1} - t_j) \quad (1)$$

où :

$C_j$  est la concentration des sédiments en suspension mesurée à l'instant  $t_j$  correspondant au débit liquide  $Q_j$ ;

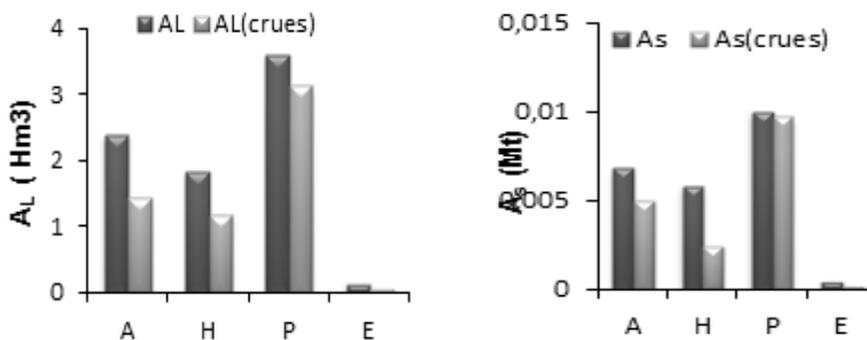
$N$  est le nombre de prélèvements effectués sur l'année considérée;  $(t_{j+1} - t_j)$  est le pas de temps séparant deux prélèvements consécutifs. De même, l'apport liquide annuel  $A_L$  ( $m^3$ ), engendrant le flux  $A_s$  est calculé par l'expression 2:

$$A_L = \sum_{j=0}^N \frac{[Q_j + Q_{j+1}]}{2} (t_{j+1} - t_j) \quad (2)$$

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les crues prises en considération sont celles qui se manifestent par une variation notable du débit liquide. D'après Remenieras (1976), on peut dire que les crues sont des débits égaux ou supérieurs à un certain multiple du module annuel (3 à 5 fois le débit annuel). Pour le cas des données qui nous sont disponibles et dans l'objectif de sélectionner les crues qui contribuent efficacement au transport solide, nous avons jugé utile d'appliquer le critère ci-dessus de choix d'une crue soit une valeur de débit prise égale à cinq fois le module annuel. Dans le bassin d'oued Boumessaoud, le printemps est la première saison de l'érosion (Fig.2) avec un apport solide de 10000 tonnes soit 43% de la charge globale (23851 T), pour un apport liquide aussi important de 3,6  $Hm^3$  soit 45% du volume total annuel écoulé (7.95  $Hm^3$ ). Les sapements des berges et des différents mouvements de masse des bas-versants qui atteignent les limites de liquidité en fin de printemps en sont probablement la principale cause. En effet les pluies du printemps assez abondantes survenues après un hiver assez pluvieux et froid avec une succession de gels et dégels favorisant la déstabilisation de la structure du sol le rendant plus vulnérable à l'érosion, trouvent un sol meuble et déclenchent alors des écoulements fortement chargés (Megnounif et al., 2003). La succession des crues générées durant cette période de l'année ont charrié la quasi-totalité des sédiments en suspension soit une contribution de 97%. L'automne avec 30% de transport solide, l'impact des crues a été considérable totalisant une part de 74% du flux de sédiments transportés durant cette saison. Les quantités de sédiments évacuées par l'écoulement à ce moment de l'année sont influencées par les phénomènes de glaçage et de splash provoqués par les premières averses

violentes de l'automne (Bouanani, 2004 ; Achite & Ouillon, 2007 ; Megnounif, 2007 ; Ghénim, 2008). Les crues qui surviennent en hiver n'ont pas eu un impact érosif comparable à celui des deux autres saisons, cela s'explique par le fait que des quantités importantes de particules solides ont été transportées par les premières crues d'automne (Achite & Meddi, 2005 ; Stephen, 2000), en revanche elles contribuent beaucoup plus à la reconstitution des nappes aquifères et participent au soutien des écoulements de surface jusqu'au mois de juin. L'été reste une saison sèche avec un transport quasi nul (environ 1% du flux global annuel).



**Fig. 2.** Apports saisonniers de l'oued Boumessaoud (88/89 – 03/04) : Apports liquides ( $A_L$ ) et Apports solides ( $A_s$ ).

Le tableau 1 résume les caractéristiques des 22 crues recensées durant la période d'observation, elles permettent de comprendre l'influence de quelques paramètres, variables tel que le débit et la concentration qui par leur valeurs maximales montrent comment se manifestent les hystérésis (Fig.3).

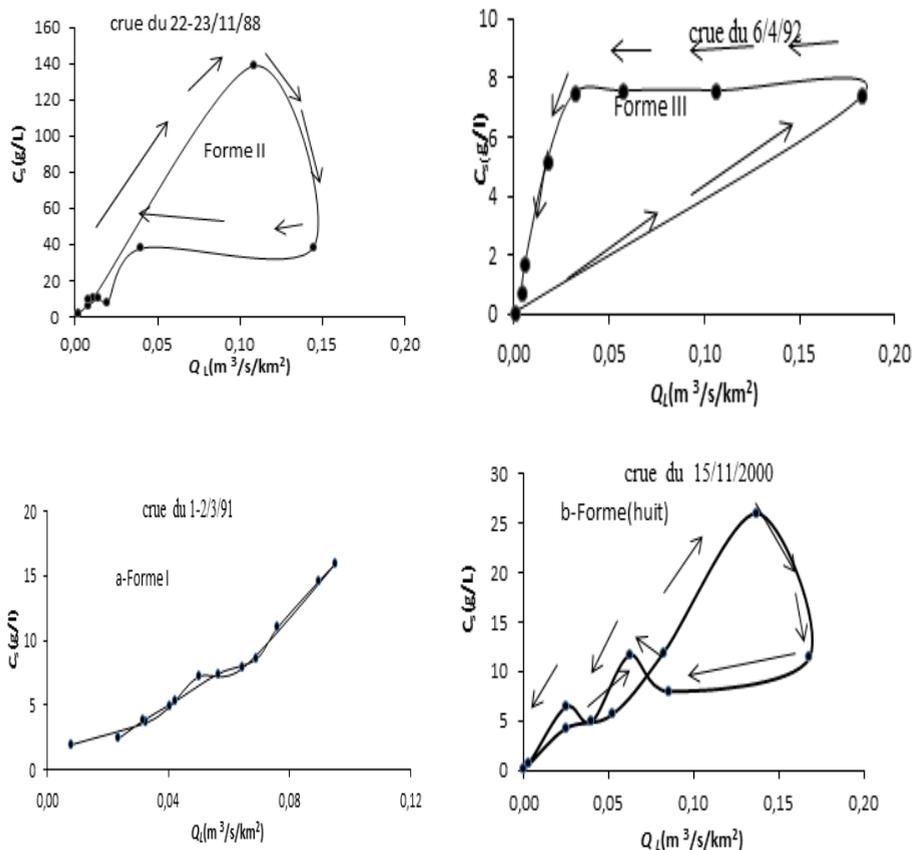
**Tableau 1.** Caractéristiques des 22 crues principales : période (1988-2004)

Date	Forme	Durée (h)	$Q_L$ max (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	(maxC <sub>s</sub> -maxQ <sub>L</sub> ) (h)	C <sub>s</sub> max (g/l)	A <sub>s</sub> (T/km <sup>2</sup> )
<b>22/11/1988</b>	II	15	0,144	0,25	138,79	485
<b>27/09/1997</b>	III	3	0,622	0,5	6,8	313
<b>14/10/2000</b>	huit	7,66	0,243	0,5	28,56	353
<b>15/11/2000</b>	huit	8,66	0,165	0,5	26,02	302
<b>25/11/2002</b>	I	1,16	0,17	0	12,36	268
<b>04/01/1990</b>	II	13	0,113	1	14,56	132
<b>14/01/1990</b>	II	4,08	0,101	3,08	5,9	68
<b>20/01/1994</b>	II	6,4	0,275	13,34	4,4	93
<b>18/01/1999</b>	II	24	0,203	8,25	13,34	112
<b>30/12/1999</b>	II	9	0,030	1	1,04	23
<b>27/02/2001</b>	III	5,16	0,053	0,66	9,92	72
<b>10/12/2003</b>	I	16,5	0,177	0	25,48	274
<b>20/03/1989</b>	II	36	0,308	11,5	20,96	623
<b>14/03/1991</b>	II	9,3	1,740	2,75	21,55	1536
<b>05/03/1992</b>	III	21	0,183	0	21,68	226
<b>06/04/1992</b>	III	13	0,183	0,8	7,58	113
<b>09/04/1992</b>	III	6,8	0,083	3	9,31	95
<b>04/05/1992</b>	II	10	0,217	1,75	9,1	142
<b>05/05/1993</b>	II	22	0,204	3,5	11,84	210
<b>03/05/1998</b>	II	7	0,115	1	2,18	68
<b>01/03/1999</b>	I	11	0,134	0	15,14	336
<b>07/05/2002</b>	III	9	0,224	0,75	2,94	64

Les résultats montrent qu'environ 50 % des crues ayant un impact érosif ont manifesté une forme en II, soit un maximum de charge solide atteint bien avant celui du débit. Ce décalage est lié à un épuisement du stock de sédiments disponible avant le maximum du débit (Walling, 1984; Wood, 1977) comme il a été constaté en automne durant la crue du 22 novembre 1988 très importante par sa plus forte concentration (138 g/L) de toute la série d'observations. La forme II résulte aussi d'une activité érosive de remobilisation de particules fines (Kattan *et al.*, 1987) ou d'une remise en suspension (Arnborg *et al.*, 1967) comme, par exemple, la crue du 20 mars 1989 ou celle du 14 janvier 1990. Le printemps avec 23 % de forme II a été la saison d'écoulement abondant avec des taux interannuels moyens de 64 % au mois de mars et 52 % au mois de mai. Cela montre davantage une

concentration des crues dans cette saison. Leur succession en nombre important permet d'affirmer une activité érosive de remobilisation de particules fines pour de faibles débits le long du lit fluvial et sur les terrasses latérales. L'hiver a été marqué par la même fréquence d'hystérésis positive que le printemps. En effet, cette saison a connu une pluviométrie élevée d'une valeur moyenne de 161 mm soit 37 % du total moyen interannuel. L'effet donc des averses sur le bassin versant après une longue phase de dessèchement très dure facilite l'épuisement de stock de sédiments disponibles avant le maximum du débit. Les apports solides ont connu une diminution sensible, car la plus grande partie des particules solides a été transportée par les premières crues. La forme III, très fréquente au printemps, résulte du fait que le sol étant plus ou moins saturé et couvert, il résiste mieux à la pluie. L'érosion et le transport solide se verront légèrement retardés par rapport aux écoulements. Ainsi, ce n'est qu'après une érosion prolongée que la concentration en matières en suspension augmente, ce qui donne un pic des concentrations retardé par rapport à celui des débits. Pour la forme I les sédiments sont en grande partie arrachés des berges et du lit du cours d'eau, la charge solide a été importante durant ces crues et est étroitement liée au débit liquide (Megnounif, 2007). La forme en huit survenue en automne permet de voir au départ que le pic des concentrations est atteint avant celui des débits, suite à la réserve de sédiments disponible après une longue période sèche. La tendance s'inverse avec le temps dès l'épuisement du stock de sédiments.

L'occurrence et la durée de la crue, l'humidité du sol, sa nature pédologique et le type de couvert végétal sont autant de facteurs qui interviennent dans le processus de genèse du transport solide.



**Fig.3.** Graphe temporel de la concentration des sédiments ( $C_s$ ) et du débit liquide ( $Q_L$ ) et type d'hystérésis pendant les événements de crues à l'oued Boumessaoud.

## CONCLUSION

Une forte variabilité saisonnière des apports solides a été constatée avec une capacité d'érosion qui diffère entre les périodes humides et sèches. Le potentiel érosif est relativement élevé durant le printemps en raison des effondrements de berges et des mouvements de masses souvent déclenchés en cette saison. À l'échelle événementielle, on montre que les crues recensées durant la période d'étude (1988-2004) représentent en moyenne 10 % du temps annuel. Elles contribuent à 57 % en apport liquide sur un apport annuel moyen estimé à 7,95 millions de mètres cubes. Alors que le flux des matières solides transportées en suspension par ces dernières dépasse en moyenne 85% du flux moyen annuel évalué à 23 851 t.

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Achite M. & Meddi M. (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. & Ouillon S. (2007). Suspended sediment transport in a semiarid watershed, Wadi Abd, Algeria (1973-1995). *J. Hydrol*, 343, 187-202
- Agoumi A, Senoussi N & Yacoubi A. (1999). Changements climatiques et ressources en eau. *Hydrogéologie appliquée* ; 12 : 163-82.
- Arnborg L., Walker H.J. & Peippo J. (1967). Suspended load in the Colville River, Alaska, 1962. *Geografiska Annale, Ser. A*, 49 (2-4), 131-144.
- Bouanani A. (2004). Hydrologie, Transport solide et modélisation : étude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérien). *Thèse de Doctorat d'état, Univ. Tlemcen*, 250 p., 81 Fig.
- Ghenim, A. N. (2008). Etude des écoulements et des transports solides dans les régions semi-arides méditerranéennes. *These Doctorat, Université Aboubekr Belkaid, Tlemcen*, 134p.
- Kattan Z., Gac J.Y. & Probst J.L. (1987). Suspended sediment load and mechanical erosion in the Senegal basin, estimation of the runoff concentration and relative contributions of channel and slope erosion. *J. Hydrol.*, 92, 59-76.
- Meddi M. & Hubert P. (2003). Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du Nord-Ouest de l'Algérie. Dans: *Hydrology In TheMediterranean And Semiarid Regions*. E. Servat , W. Najem , C. Leduc et A. Shakeel (Éditeurs), *IAHS Publ. 278, IAHS Press, Wallingford, UK*, 329–235
- Megnounif A. (2007). Etude du transport des sédiments en suspension dans les écoulements de surface. *Thèse de Doctorat, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen*, 184p.
- 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* 26(1) (2013) 53-62.
- Megnounif A., Terfous A. & Bouanani A. (2003). Production et transport des matières solides en suspension dans le bassin versant de la Haute Tafna (Nord Ouest Algérien). *Rev. Sci. Eau* 16(3), 369–380
- Remenieras G. (1976). *L'hydrologie de l'ingénieur*. Collection : Direction des études et recherches d'Électricité de France (EDF), Eyrolles, Paris, France, 465 p.

- Stephen T. (2000). *Process, from and change in dry land rivers: a review of recent research*. *Earth-Science Reviews*, 51, 67-107.
- Touaibia B. (2010). *Problématique de l'érosion et du transport solide en Algérie septentrionale*. *Sécheresse*, 21(1e), 1-6.
- Walling D.E. (1984). *The sediment yield of African rivers in Challenges in African hydrology and water resources*. Walling D.E., S.S.D. Foster et P. Wurzel (Éditeurs), *IAHS Publication*, No 144, Wallingford, Grande-Bretagne, pp. 65-283.
- Wood P.A. (1977). *Sediment transport in the Hope River, Jamaica: a tropical drainage basin characterized by seasonal flow*. in : *Erosion and Solid Matter Transport in Inland Waters.*, IAHS Publication, No 122, Wallingford, Grande- Bretagne, pp. 149-156.

&&&&&