
Modélisation du Transport des Particules du Sol en suspension dans L'oued Sikkak (Nord Ouest Algérien)

Ouassila Fandi* — Abderrezak Bouanani* — Kamila Baba-Hamed* — Abdelmalek Bekkouche**

* *Laboratoire n°25, Promotion des Ressources Hydriques, Minières et Pédologiques. Législation de l'Environnement et Choix Technologiques. Université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen, Algérie, W_fandi@yahoo.fr, a_bouananidz@yahoo.fr, kambabahamed@yahoo.fr*

** *Département de Génie Civil, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université Abou Bekr Belkaïd, 13000 Tlemcen, Algérie, a_bekkouche@mail.univ-tlemcen.dz*

RÉSUMÉ. L'ampleur de l'alluvionnement de l'exhaussement du fond des barrages par dépôts successifs des sédiments ramenés, par les cours d'eau maghrébins, ont suscité l'intérêt d'un grand nombre de chercheurs qui ont tenté d'expliquer les mécanismes complexe du transport des particules des sols et de quantifier les volumes des sédiments transportés. Ils ont tenté d'expliquer l'érosion mécanique et de déterminer les dégradations spécifiques des bassins versants de ces régions. En conclusion de leurs travaux, ils ont présenté des informations significatives sur le flux des matières transportées par les cours d'eau de quelques bassins versant Tunisiens, Marocains et Algériens.

En Algérie, pays à faible ressource hydrique, les dépôts des sédiments dans les retenue des barrages sont estimés, en moyenne, à 20 millions de m³ par an, ce qui contribue à réduire de 0,3 % par an les capacités de stockage de l'eau estimées à 6,2 milliards de m³. L'objet du présent travail est de mieux comprendre le phénomène des exportations de matières solides en suspensions véhiculées par le cours d'eau Oued Sikkak, et de quantifier le flux des sédiments susceptibles de se déposer dans le barrage de Sikkak (capacité de stockage de 27 millions de m³), mis en service en 2002.

Les résultats d'analyse graphique des valeurs instantanées des débits solides en suspension dans le cours d'eau de l'Oued Sikkak et leurs relations avec les débits liquides, durant les campagnes de prélèvements de 1972-1989, ont permis de montrer l'existence de deux périodes d'érosion actives. Le flux des matières solides en suspension dans le cours d'eau est très variable d'une année à une autre et la dégradation spécifique moyenne annuelle sur les 18 années d'étude est estimée à 170 tonnes par km². Cette valeur est relativement faible par rapport à celle trouvées pour d'autres régions à régime hydrologique similaire.

MOTS-CLÉS : Pluie, débit liquide, débit solide en suspension, dégradation spécifique des sols, Modèle, particules des sols, bassin versant, Oued Sikkak

1. Présentation générale du bassin versant

1.1. Caractéristiques physiques

Le bassin versant de l'Oued Sikkak est un sous bassin de la Tafna, situé au nord - ouest de l'Algérie. Il est le prolongement de l'Oued N'chef qui est coupé par le barrage Meffrouche en amont des cascades. Il s'étend sur une superficie de 218 km², pour un périmètre de 65 km. (Tableau 1).

Superficie (km ²)	218
Périmètre (km)	65
Longueur du thalweg principal (km)	55,7
Indice de compacité	1,23
Indice de pente de roche	0,36
Indice de pente global (m/km)	0,037
Altitude	
Minimale (m)	200
Maximale (m)	1400
Moyenne (m)	475

Tableau 1. Caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Sikkak.

Affluent rive gauche de l'oued Isser (lui même affluent rive droite de la Tafna) avec lequel il conflue au Nord d'Aïn Youcef, prend naissance sur le plateau de Terny au Sud de Tlemcen à la source d'Aïn Rhannous. (Figure 1), l'Oued Sikkak s'écoule sur une longueur de 55,7 km.

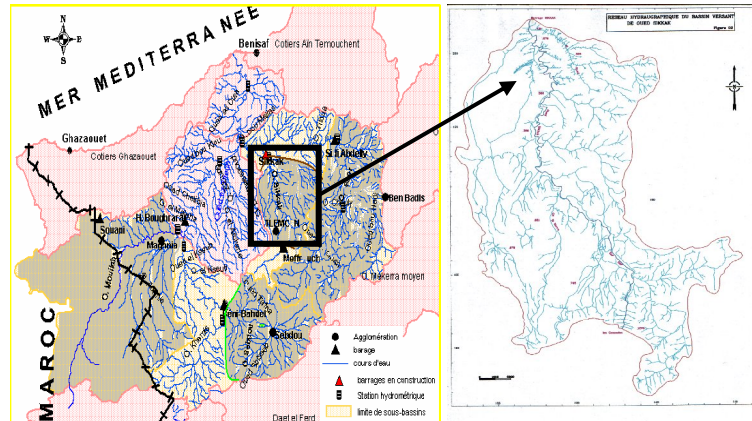


Figure 1. Situation du bassin versant de l'Oued Sikkak

1.2. Géologie du site

Le bassin de l'Oued Sikkak est occupé par une série géologique allant du Secondaire au Quaternaire, il se creuse dans du matériel à résistance fort variable. Sur les formations carbonatées du secondaire, se sont déposés des sédiments du Tertiaire principalement des argiles et grés du miocène et des alluvions quaternaires occupant les bas fonds des vallées et des plaines. (Benest et Bensalah, 1999).

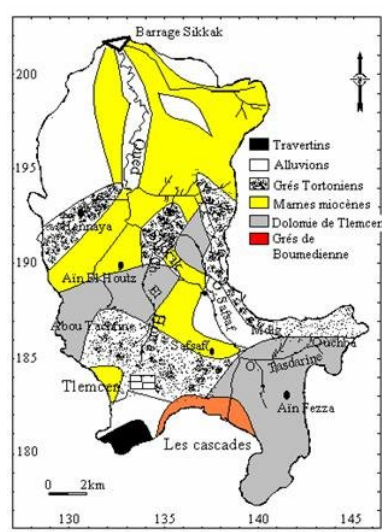


Figure 2. Carte lithologique du bassin versant d'Oued Sikkak

1.3. Climatologie

Le bassin versant d'Oued Sikkak se caractérise par un climat semi-aride. Les précipitations sont relativement faible (Figure 3). Avec une moyenne inter-annuelle de 595,53 mm (Station Tlemcen - période 1913 -2000), elles sont très inégalement réparties au cours de l'année.

Toutefois, on remarque une irrégularité inter-annuelle modérée des hauteurs. En effet, sur la période d'étude, le coefficient de variation est de 0,26. Cette hypothèse est confortée aussi par le coefficient d'asymétrie, estimé à 0,27, valeur au dessous des valeurs critiques d'un coefficient d'asymétrie d'un échantillon d'une variable normale de Laplace-Gauss.

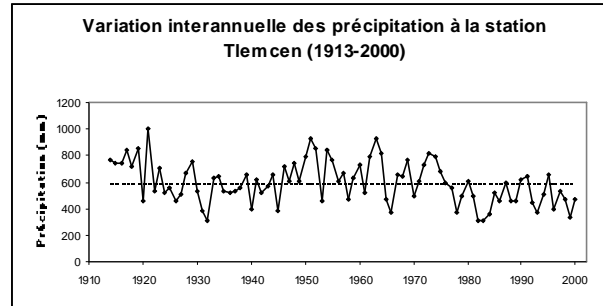


Figure 3. Variation inter-annuelle des précipitations. Station de Tlemcen (Période 1913 -2000).

2. Données Hydrologiques

L'étude porte sur les valeurs instantanées des débits liquides, donnés en m^3/s , mesurés à l'exutoire du bassin versant durant la période allant de septembre 1972 à août 1989. À chaque mesure effectuée a été évaluée la charge de la matière en suspension obtenue à partir d'échantillons d'eau prélevés sur les rives de l'Oued. Après séchage, et élimination des matières organiques, la boue recueillie sur papier filtre est pesée. On détermine ensuite la charge correspondante à un litre d'eau prélevé, ce qui établit la concentration, donnée en g/l.

Le débit des matières en suspension est donc le produit de la concentration évaluée en kg/m^3 par le débit liquide mesuré en m^3/s .

Le nombre de prélèvements a été adapté au régime hydrologique. Ces derniers sont effectués un jour sur deux et intensifiés jusqu'à un quart d'heure en période de crue.

2.1. Analyse des débits instantanés

Comme pour la plupart des cours d'eau, on trouve pour l'Oued Sikkak une bonne relation en puissance (Probst et Bazerbachi, 1986) liant le débit des matières solides en suspension en kg/s au débit liquide en m^3/s , (Figure 4). Une première analyse, graphique, de cette figure montre qu'à de faibles débits liquides généralement estivaux (moins de $0,5 m^3/s$) peuvent être associés de forts débits solides (près de $10 kg/s$) déclenchés sûrement à la suite d'orages violents. De même, de fortes valeurs des débits liquides n'ont engendré qu'un faible transport solide (moins de $10 kg/s$) dû à la vidange des nappes survenue à la suite d'une crue importante.

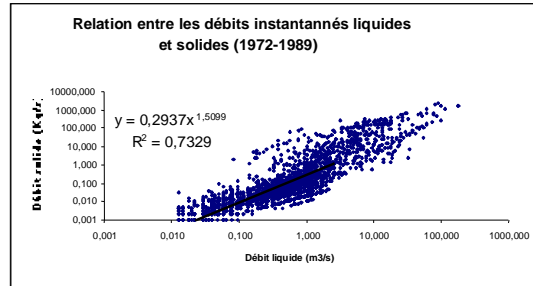


Figure 4. Relation entre les débits instantannés liquides et solides.

2.2. Analyse saisonnière

Pour étudier les réponses du bassin aux débits liquides et matières en suspension au cours de l'année hydrologique, on a jugé utile de regrouper suivant les différentes saisons les valeurs instantanées (prélevées sur les 18 années d'étude), et d'analyser la relation liant les débits liquides aux débits solides en suspension. Le tableau 2 résume les modèles trouvés pour chaque saison.

L'analyse graphique de la figure 5, laisse apparaître que l'hiver et le printemps se distinguent par leurs débits liquides forts engendrant un flux important de matières solides en suspension. Le débit solide maximal est de l'ordre de 2459 Kg/s, atteint en mars 1974, résultant d'un débit liquide de 89,50 m³/s. En revanche, durant l'automne et l'été, on constate une régression nette des débits liquides qui ne dépassent guère les 20,350 m³/s en automne et les 4 m³/s en été.

Saison	Modèle de corrélation R	Coefficient de prélèvement	nombre
Automne	$Q_S = 0,3594 Q_L^{1,405}$	0,789	494
Hiver	$Q_S = 0,3119 Q_L^{1,823}$	0,835	884
Printemps	$Q_S = 0,415 Q_L^{1,531}$	0,907	518
Eté	$Q_S = 0,0643 Q_L^{0,850}$	0,787	321

Tableau 2. Modèles saisonniers liant les débits solides en suspension aux débits liquides.

Toutefois, on remarque quelques spécificités pour chaque saison.

Les nuages des points pour le printemps et l'hiver sont assez épais, variation large des débits solides pour des débits liquides peu variants, ce qui se traduit par l'existence d'un nombre important de prélèvement lors des tarissements, et donc une contribution importante des nappes dans l'écoulement durant ces deux saisons.

Après la grande saison sèche, les premières pluies de l'automne trouvent un sol sec et dur, difficilement érodable. La réponse du bassin en matière en suspension est donc très faible. C'est les pluies torrentielles qui surviennent en décembre qui arracheront de grandes quantités de matières solides, qui seront par la suite véhiculées en suspension par le cours d'eau.

La réponse du bassin se manifeste rapidement par des ruissellements et des écoulements hypodermiques peu profonds. La relation entre les deux débits semble être plus étroite pour les valeurs fortes.

Quoique moins importantes que celles de l'hiver, les pluies du printemps survenues après un hiver pluvieux et froid avec une succession de gel et dégel favorisant la déstabilisation de la structure du sol le rendant plus vulnérable à l'érosion, trouvent un sol meuble et déclenchent alors, des écoulements chargés.

Sans oublier de rappeler le rôle de la couverture végétale, l'état du sol, qui font que l'action érosive se trouve diminuée par rapport aux écoulements abondants.

En hiver, période de transition entre les deux saisons humides, bien que la pluviométrie soit nettement faible, les écoulements le sont moins, ce qui est dû essentiellement aux réserves importantes en eau, emmagasinées dans le sol, suite aux fortes pluies de l'automne.

L'été se distingue des autres saisons, par ses valeurs très dispersées. On trouve (Figure 5) un premier nuage dense regroupant les débits les plus faibles de l'année, et un deuxième nuage éparpillé représentant des débits solides relativement forts, associés à des débits liquides faibles dûs, sûrement, aux orages estivaux.

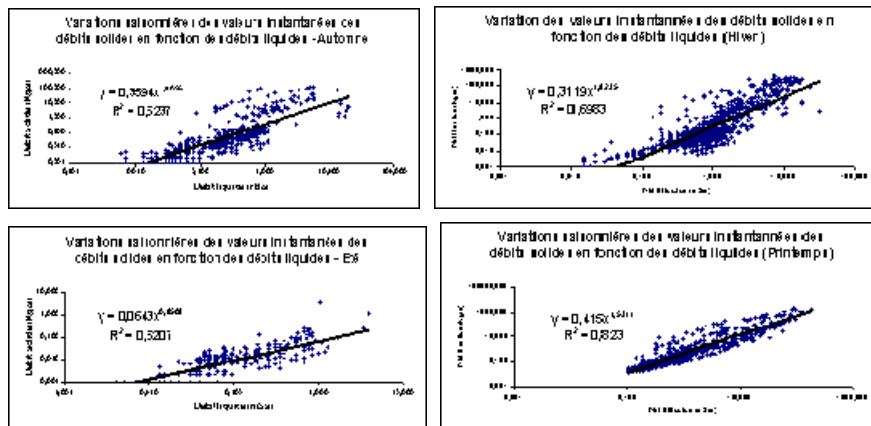


Figure 5. Variations saisonnières des valeurs instantanées des débits solides en fonction des débits liquides.

3. Apport annuel

Le flux annuel des matières solides en suspension exporté par l'Oued Sikkak, est calculé par la formule $A_s = \sum (t_{j+1} - t_j) C_j$, où C_j est la concentration évaluée 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. Au moment des crues les prélèvements sont intensifiés, et donc par suite le pas de temps est réduit.

De même, A_L l'apport liquide annuel engendrant le flux A_s est calculé par la formule $A_L = \sum (t_{j+1} - t_j) Q_j$.

Un bilan annuel des apports liquides et solides est alors établi, il en découle les résultats suivants :

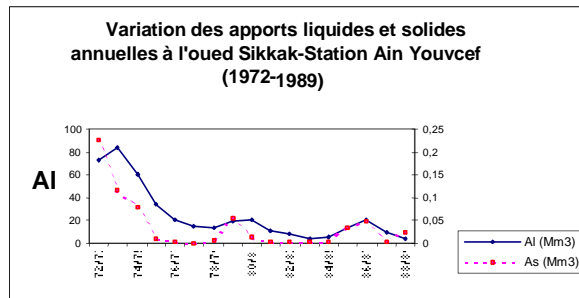


Figure 6. Variations inter-annuelles des apports liquides et solides.

L'apport liquide annuel est évalué à 24,64 millions de m^3 (période 1972-1989), soit une lame d'eau moyenne écoulee, $L_E = (A_L \cdot 1000)/S$ de 115,72 mm, S étant la surface du bassin. Ce qui donne un coefficient d'écoulement relativement faible ($100 \cdot L_E/P$), estimé à 20 %. Par leurs valeurs extrêmes très dispersées et leurs intensités très variables, les précipitations mensuelles sont très favorables ou non à l'hydraulicité. Ce qui engendre une irrégularité inter-annuelle des lames d'eau écoulees.

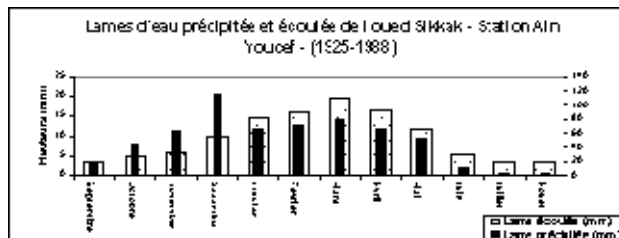


Figure 7. Variation de la lame d'eau précipitée et lame d'eau écoulee.

L'apport moyen annuel en matières solides en suspensions à l'exutoire du bassin est estimé à 37 000 tonnes, ce qui correspond à une perte de sol spécifiques de 170 tonnes par km² par an et variant de 4,50 à 1034 t/km²/an. On notera que cette valeur est très modérée par rapport à celle publiées pour d'autres bassins de la région, tels que le bassin de l'Oued Mazafran (Côtiers Algérois) et l'oued Isser (Lakhdaria) dont les dégradations spécifiques sont respectivement de l'ordre de 1610 et 2300 t/km²/an (Bourouba., 1998) (Tableau 3).

Bassin versant	Dégradation spécifique (tonnes/km ² /an)	Auteurs
Maghreb	1000 à 5000	Walling 1984
Maghreb	397	Probst et Amiotte Suchet, 1992
Maroc	750	Snoussi, 1988
La Tafna (Algérie)	150	Sogreah, 1967
Oued Mazafran (côtiers Algérois)	1610	Bourouba, 1997
L'Isser (Lakhdaria)	2300	Bourouba, 1998
Mouilah	126	Terfous et al, 2001

Tableau 3. *Quelques valeurs des dégradations spécifiques publiées pour des bassins versant voisins.*

Les apports liquides et solides inter-annuels sont très contrastés. Les variations interannuelles des apports solides montrent une grande irrégularité pour le bassin, liée à l'irrégularité des précipitations et donc des apports liquides.

Le bilan annuel des apports liquide et solides laisse apparaître (Figure 6) que les plus forts apports liquides annuels 73,15 et 83,02 millions de m³, ont été enregistré durant l'année 72-73 et 73-74 engendrant un apport solide respectivement de 225 000 et 115 000 tonnes. Cet apport liquide est plus important que celui de l'année, 74-75, évalué à 60 millions de m³, et qui a apporté 0,078 millions de tonnes, soit une dégradation spécifique de plus de 361,53 tonnes/km²/an. Ceci est dû à l'importance, remarquable, de la crue de mars 1973 survenue avec un débit de 176 m³/s qui a drainé 35% de l'apport liquide total annuel. Pendant la période de sécheresse, l'année 1979/80 a enregistré quelques crues qui ont permis un apport solide appréciable et une dégradation de 249 t/km²/an.

4. Conclusion

On doit retenir de cette étude que les transports solides en suspension dans le bassin versant de l'Oued Sikkak se font essentiellement lors des périodes de crue.

On distingue alors, deux périodes d'érosion actives, une première période en hiver, la seconde, à plus faible ampleur, au printemps.

L'Oued Sikkak apporte annuellement 24,64 millions de m³ d'eau avec un flux moyen de 37 000 tonnes de sédiments en suspension, ce qui correspond à une dégradation spécifique relativement faible, de l'ordre de 170 tonnes/km²/an, valeur nettement au dessous des estimations publiées pour des bassins voisins en Algérie et au Maghreb. Toutefois, les quantités de sédiments exportés par l'Oued sont très variables d'une année à une autre. On remarquera que l'année 72-73 a apporté à elle seule 0,225 millions de tonnes, soit une dégradation spécifique de plus de 1034,31 tonnes/km²/an, valeur qui correspond aux estimations de Walling (1984), pour les bassins versant Maghrébins.

5. Bibliographie

- Benest, M., Bensalah, M., « La couverture mésozoïque et cénozoïque du domaine tlemcenien (avant pays d'Algérie occidentale) : Stratigraphie, paléo-environnement, Dynamique sédimentaire et tectogénèse alpine », *Bull. Serv. Géol. Algérie*. 1999, Vol.10, n°2, p. 127-157. 7fig.
- Bengueddach B., « Potentialités des ressources en eau et leur affectation », *Bul.Int. de l'eau et de l'env.*, 1999, 21 : p. 8-12.
- Bourouba M., « Essai de quantification de l'érosion actuelle à partir des mesures de turbidité en Algérie orientale », *Bulletin de l'ORSTOM*, 1996, 16 : p. 232-250.
- Bourouba M., « Les variations de la turbidité et leurs relations avec les précipitations et les débits des Oueds semi-arides de l'Algérie orientale », *Bulletin de l'ORSTOM*, 1997, 17 : p. 345-360.
- Bourouba M., « Phénomène de transport solide dans les hauts plateaux orientaux. Cas de oued Lougmene et oued Leham dans le bassin de la Hodna. », *Revue des sciences et technologie*, 1998, 9 : p. 5-11.
- Bourouba M., « Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides de l'Oued Medjerda supérieur (Algérie orientale) », *Bulletin de l'ORSTOM*, 1998, 18 : p. 76-97.
- Demmak A., Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en suspension en Algérie septentrionale, Thèse de Docteur – Ingénieur, Univ. Paris VI, France. 1982
- Ghorbel A., Claude J., « Mesure de l'envasement dans les retenue de sept barrages en Tunisie : estimation des transports solides », *IAHS Publ.*, 1977, 122 : p. 219-232.
- Heusch B., Milliers - Lacroix A., « Une méthode pour estimer l'écoulement et l'érosion dans un bassin. Application au maghreb ». *Mine et géologie*, 1971, (Rabat), 33 : p. 21-39.

- Heusch B., « Etude de l'érosion et des transports solides en zones semi-aride. Recherche bibliographique sur l'Afrique du nord ». Projet RAB/80/04/PNUD, 1982.
- Terfous A., Megnounif A., Bouanani A., « Étude du transport solide en suspension dans l'Oued Mouilah (Nord Ouest Algérien) ». *Revue des sciences de l'eau, Rev. Sci. Eau*, 2001, p. 173-185.
- Probst J.L., Bazerbachi A., « Transports en solution et en suspension par la Garonne supérieure ». *Sci. Géol., Bull.*, 1986, 39,1 : p. 79-98.
- Remini B., « Envasement des barrages dans le Maghreb ». *Bul. Int. De l'Eau et de l'Env.*, 1999, 22 : p. 4-8.
- Sogreah., « Erosion et transport solide au Maghreb. Analyse bibliographique ». Rapport du Projet RAB/80/011/PNUD, 1983.
- Tixeront J., « Débit solide des cours d'eau en Algérie et en Tunisie ». *In : IAHS Publ.*, 1960, 53 : p. 26-42.
- Walling D.E., « The sediment yields of African rivers ». *I.A.H.S. Publ. 1984, 144, Harare Symp.* : 265-283.