

APPROCHE PAR MODÉLISATION DU TRANSPORT SOLIDE DANS LES RÉGIONS SEMI-ARIDES. EXEMPLE DU BASSIN VERSANT DE MESKIANA-MELLEQUE AMONT (CONFINES ALGÉRO-TUNISIENS)

Moufida BELLOULA* et Hadda DRIDI*

RÉSUMÉ

Les régions semi-arides sont généralement caractérisées par l'irrégularité du régime pluviométrique où l'estimation des écoulements et des transports solides apparaît comme une démarche relativement complexe. L'évaluation de l'aptitude aux écoulements dans ces régions est tributaire de nombreux paramètres dont la quantification n'est pas toujours aisée. Pour pallier à cette problématique, une modélisation mathématique des rapports débits liquides / débits solides apparaît comme un moyen fiable d'évaluation lorsque les modèles sont bien validés. Notre travail présente une modeste contribution en terme d'évaluation des écoulements et des transports, sous forme de modélisation des rapports Q_l / Q_s à différentes échelles dans quelques bassins versants de la Medjerda. Les corrélations montrent des valeurs variables d'une échelle à une autre. Elles sont assez significatives au pas annuel et mensuel et moins évidentes au pas saisonnier, une comparaison avec les résultats obtenus par les diverses méthodes empiriques usuelles appliquées dans nos régions, permet de valider ces modèles.

Mots-clés - Érosion - Écoulement - Bassin versant - Medjerda - Modélisation - Débit liquide - Débit solide.

SOLID TRANSPORT MODELING APPROACH IN THE SEMI-ARID REGIONS. EXAMPLE OF THE MESKIANA-MELLEQUE UPSTREAM WATERSHED (ALGERIAN-TUNISIAN BORDERS).

ABSTRACT

The semi-arid areas are generally characterized by the irregularity of the pluviometric regime where the estimation of the flows and solid transport seems relatively complex step. In addition, the evaluation of the flow property in these areas is dependent on many parameters which quantification is not always easy. To overcome these problems, a mathematical modeling of the ratios liquid flow / solid flow ratios appears as a reliable means of evaluation when the models are well validated. Our work presents a modest contribution in term of evaluation of the flows and transport, in the form of modeling of the Q_l / Q_s ratios on various scales in some watershed of Medjerda.

*Laboratoire des Risques Naturels et Aménagement du Territoire (LRNAT). Faculté des Sciences. Université de Batna. Route de Biskra, Batna, Algérie. moufida.belloula @yahoo.fr

- Manuscrit déposé le 04 Novembre 2013, accepté après révision le 31 Décembre 2014.

The correlations show variable values from one scale to another. They are rather significant at the annual and monthly time step and less obvious at the seasonal one. In addition a comparison with the results obtained by the various usual empirical methods applied in our areas makes it possible to validate these models.

Keywords - Erosion - Flow - Watershed - Medjerda - Modeling - Liquid flow - Solid flow.

I - INTRODUCTION

La contrainte majeure rencontrée en matière d'action territoriale, orientée vers le développement local, est la recherche d'un juste et nécessaire équilibre entre les impératifs du développement et les aptitudes réelles du milieu dans sa composante physique et humaine. La prise en charge de cette problématique trouve sa pertinence en particulier dans les régions semi-arides et arides, où le facteur «ressource hydrique» pèse de tout son poids et appelle à ce titre, à une gestion rationnelle de la ressource. Le choix de l'oued Medjerda, notamment le bassin versant Meskiana - Mellegue amont constituant son haut cours, se justifiait à plus d'un titre. En effet, l'étude de ce bassin hydrologique sur des espaces physiques contrastés et des nuances bioclimatiques très peu variées, permet une approche homogène de la réponse hydrologique de l'impluvium. Par ailleurs, le caractère transfrontalier de ce cours d'eau justifie une évaluation assez fine des potentialités hydriques; car à terme, des conflits à propos des ressources pourraient surgir. Une vision prospective et anticipée du problème doit être alors envisagée au moins à titre préventif. L'approche doit intégrer aussi, l'évaluation des transports solides qui constituent une contrainte majeure à la pérennité des ouvrages assurant la mobilisation de cette ressource. L'évaluation objective des écoulements impose une analyse précise des variables hydropluviométriques et des vulnérabilités spatiales associées, notamment la perte en sols. Ainsi, nous avons essayé d'analyser les régimes hydrologiques et la modalité d'écoulement sur un plan spatio-temporel. Nous avons essayé de mettre en œuvre

d'une part, la construction de modèles mathématiques à des pas de temps variables et d'autre part, le rapport avec les transports solides. La validation des modèles implique une restitution aussi fidèle que possible de la réalité du terrain par ces derniers.

II - ÉTUDE DU MILIEU

Le bassin versant Meskiana - Mellegue amont qui est l'objet de notre étude, fait partie du grand bassin versant de la Medjerda, situé à l'extrême est algérien, limité par : le bassin hydrologique des Côtiers constantinois au nord, le Sahara au sud, la Seybouse à l'ouest et la Tunisie à l'est (fig.1).

Les caractéristiques des composantes physiques et morphométriques et leur articulation dans l'espace, influent fortement sur la réaction hydrologique des bassins versants. Le bassin versant de l'oued Meskiana-Mellegue amont associe tous les caractères et toutes les aptitudes d'un écoulement brutal et la dynamique érosive associée qui découle des caractéristiques morphométriques de ce dernier (tabl. I).

Le bassin versant de Meskiana-Mellegue amont est drainé principalement par l'oued Mellegue d'une longueur de 58 km et une superficie de l'ordre de 3370 km². Il se présente sous une forme allongée, avec une pente modérée à forte. Le temps de concentration est estimé à 33 heures. Ces facteurs offrent des conditions très favorables à la dégradation du sol (fig.2).

APPROCHE PAR MODÉLISATION DU TRANSPORT SOLIDE DANS LES RÉGIONS SEMI-ARIDES.
EXEMPLE DU BASSIN VERSANT DE MESKIANA-MELLEGUE AMONT (CONFINES ALGÉRO-TUNISIENS).

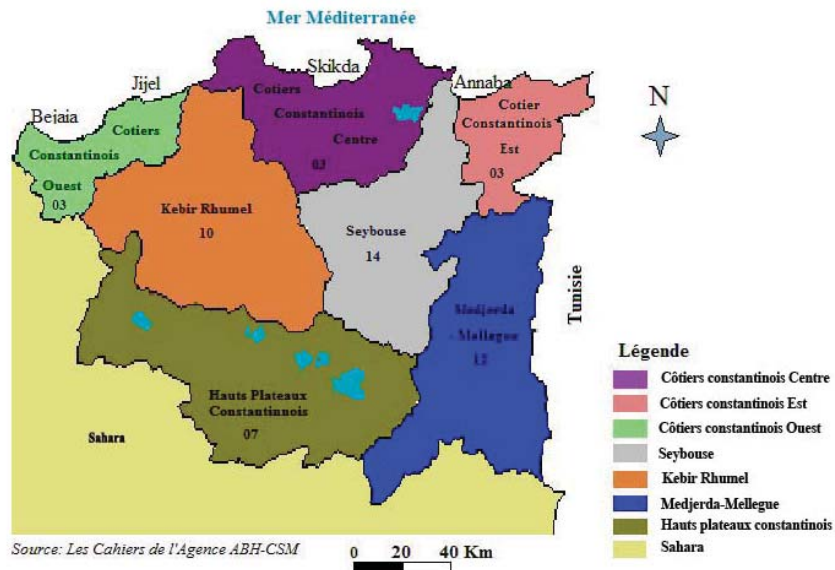


Fig. 1- Situation géographique du bassin versant de la Medjerda.

Geographical situation of the Medjerda watershed

Tableau I - Caractéristiques morphométriques et orographiques

Morphometric and orographical characteristics.

Paramètres	Unités	Symbole	Mellegue amont	Meskiana
Surface	km ²	S	1516	1854
Indice de compacité	/	Kc	1.68	1.61
Longueur	km	L	101.93	106.36
Largeur	km	l	15.57	17.64
Altitude :				
Moyenne	m	Hmoy	710	1059
Maximale	m	Hmax	1423	1459
Minimale	m	Hmin	369	589
Fréquence 5%	m	H5%	1369	1398
Fréquence 50%	m	H50%	690	1020
Fréquence 95%	m	H95%	411	721
Dénivelé	m	D	1054	870
Classe de relief	/	/	Modéré à assez fort	Modéré à assez fort
Densité de drainage	/	Dd	4.11	4.47
Coefficient de torrentialité	km/km ²	Ct	28.93	23.38
Temps de concentration	h	Tc	14.58	16.45

Le réseau hydrographique du bassin versant de Meskiana-Mellegue amont, présente une forme dendritique et les points de confluence sont le plus souvent, dans des secteurs à faibles pentes, ce qui par conséquent, défavorise la concentration rapide des débits.

La dominance des formations géologiques friables (calcaires friables, conglomérats et alluvions) et la dégradation du couvert végétale (steppes, cul-

tures), favorisent la vulnérabilité du milieu au phénomène d'érosion (fig.3).

Le bassin versant de Meskiana-Mellegue amont est caractérisé par un climat semi-aride de type continental (hiver froid et été chaud). En revanche, le gradient orographique s'impose fortement et définit des étagements bioclimatiques (Seltzer, 1949; Cosandy et Robinson, 2000).

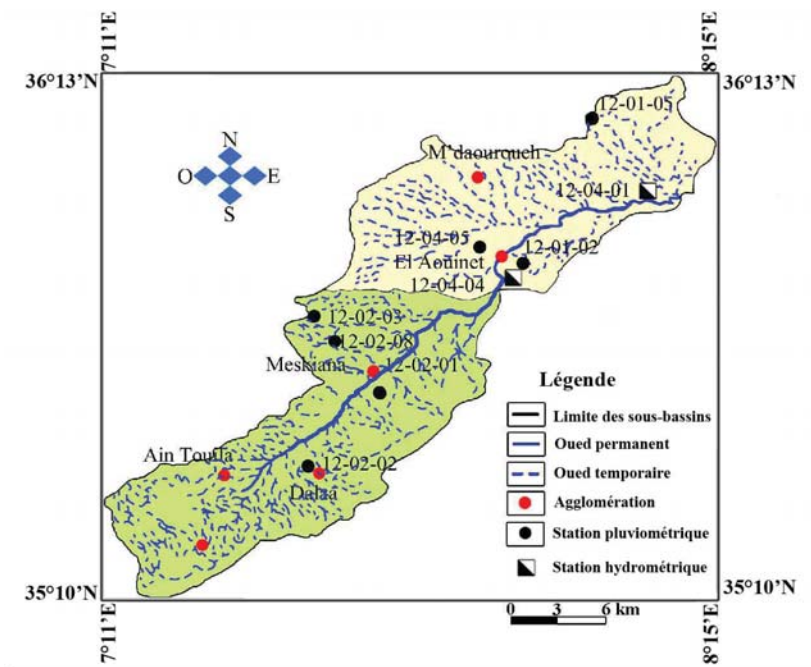
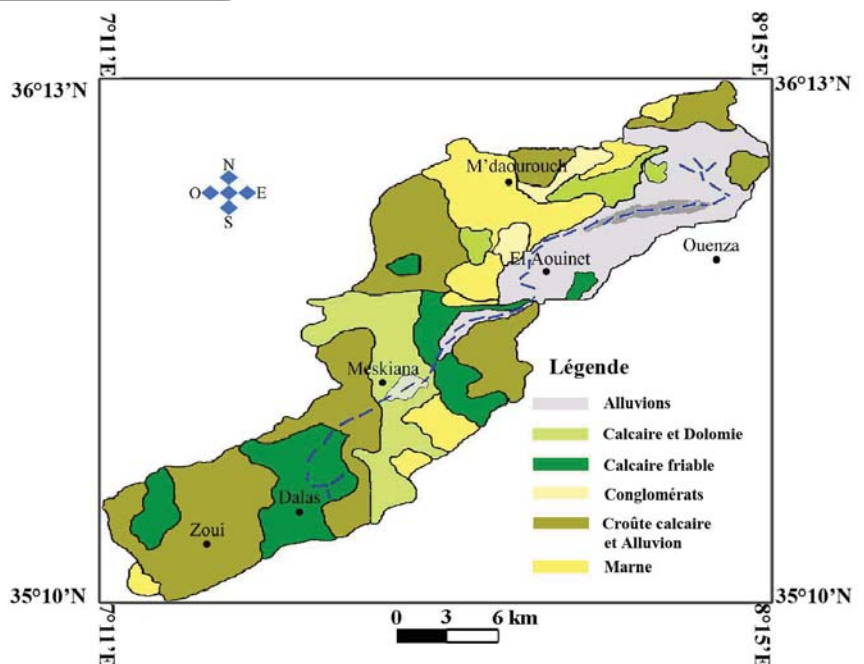


Fig. 2 - Carte du réseau hydrographique du bassin versant Meskiana- Mellegue amont.

Hydrographical network Map of the Meskiana-Mellegue upstream watershed.

Fig. 3 - Carte lithologique du sous bassin versant Meskiana-Mellegue amont.

Lithological map of the Meskiana-Mellegue upstream watershed.



APPROCHE PAR MODÉLISATION DU TRANSPORT SOLIDE DANS LES RÉGIONS SEMI-ARIDES.
EXEMPLE DU BASSIN VERSANT DE MESKIANA-MELLEGUE AMONT (CONFINES ALGÉRO-TUNISIENS).

a. La pluviométrie et température

Les régimes pluviométriques montrent une grande variabilité spatio-temporelle. Une nette diminution des précipitations est relevée d'ouest en est, mais aussi à partir des fonds des vallées vers les sommets. Cette variabilité semble par ailleurs, évoluer au rythme des saisons (fig.4). Les précipitations moyennes annuelles sur une période de 26 ans sont estimées à 382 mm pour le bassin de Mellegue amont et 375mm

pour le bassin de Meskiana. La variabilité mensuelle du coefficient de variation (C_v) est plus marquée que la variabilité interannuelle des modules pluviométriques durant la période (1980-2006).

Le régime thermique est caractérisé par des températures moyennes annuelles comprises entre 15°C et 17°C (fig.5), durant la période (1980-2006).

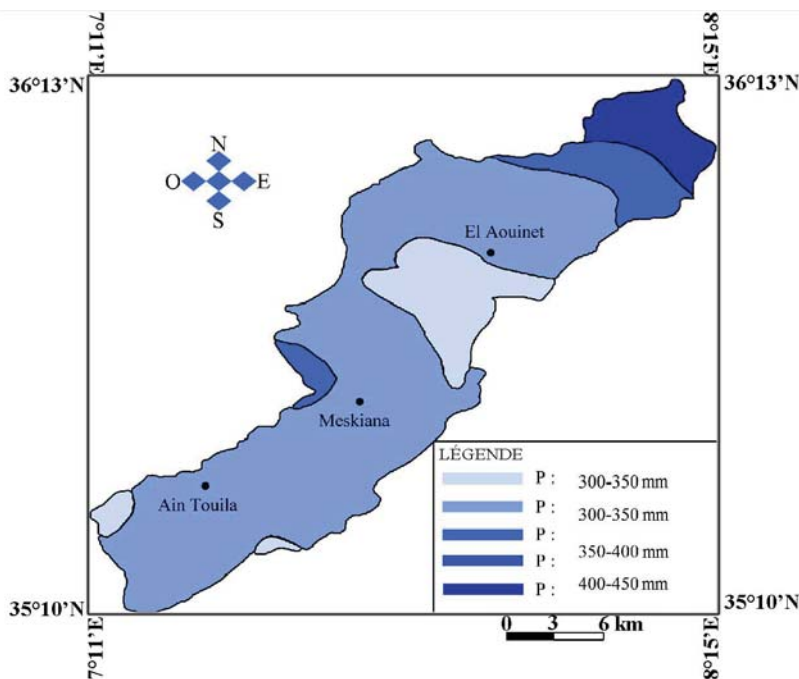
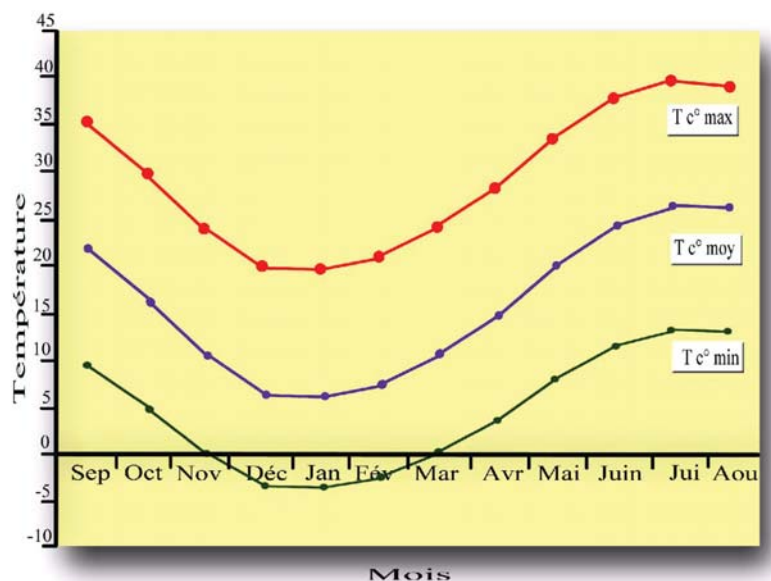


Fig. 4 - Carte pluviométrique du bassin versant Meskiana- Mellegue amont (ANRH, 2000).

Isopluvial map of the Meskiana-Mellegue upstream watershed (ANRH, 2000).

Fig. 5 - Variations mensuelles des températures (station de Tébessa).

Monthly variations of temperatures (Tébessa station).



b. Le bilan hydrique

D'après les résultats obtenus par la méthode de (Thornthwaite), on constate que l'ETR annuelle représente 86 % des précipitations pour la station de Tébessa. Le ruissellement estimé par la formule empirique de (Tixeront et Berkaloff) ne bénéficie que de 9 % des précipitations, tandis que l'infiltration calculée par la formule du bilan serait de 5 % des précipitations totales (tabl. II et fig.6).

c. L'hydrologie

L'analyse statistique des données hydrologiques et les graphiques obtenus nous ont permis

d'apprécier les variations spatiales de l'écoulement superficiel (Belloula, 2008).

Le régime saisonnier du bassin est essentiellement pluvial, sous forme de crue. Ces débits de crue permettent de mettre en évidence la réaction du bassin à une averse pendant un laps de temps ou séquence pluvieuse donnée. Par contre, les étiages sont moins brutaux dans leur apparition, et les débits en phase de tarissement connaissent une forte décroissance (tablx. III et IV).

Tableau II - Tableau récapitulatif des composantes du bilan calculé par les différentes méthodes.

Summary table of the assessment parameters calculated by the various methods.

Paramètres	Formule utilisée	Meskiana-Mellegue Amont	%
ETR (mm)	Thornthwaite	333.86	86.28
Ruissellement (mm)	Tixeront et Berkaloff	32.31	8.35
Infiltration (mm)	Bilan	20.75	5.36

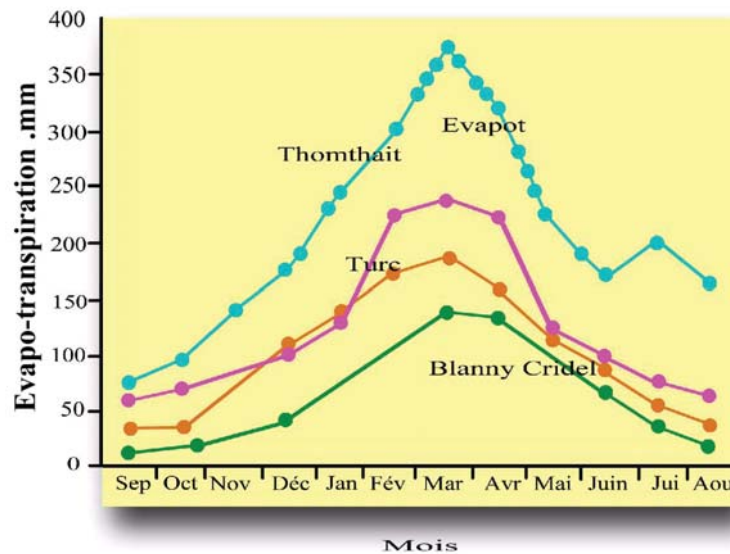


Fig. 6 - Courbes d'évapo-transpirations mensuelles.

Monthly evapo-transpiration curves.

APPROCHE PAR MODÉLISATION DU TRANSPORT SOLIDE DANS LES RÉGIONS SEMI-ARIDES.
EXEMPLE DU BASSIN VERSANT DE MESKIANA-MELLEGUE AMONT (CONFINES ALGÉRO-TUNISIENS).

Tableau III - Précipitations annuelles fréquentielles en (mm).

Frequency annual precipitations in (mm).

A - Bassin versant Mellegue amont.

Mellegue upstream watershed.

Station	P (année sèche)			P	P (année humide)		
	T=100ans F=0.99 U=2.329	T=50ans F=0.98 U=1.282	T=10ans F=0.90 U=1.282	T=2ans F=0.5 U=0.00	T=10ans F=0.10 U=1.282	T=50ans F=0.02 U=2.056	T=100ans F=0.010 U=2.329
Ouenza	291	231	231	157	398	447	464
Mdaourouche	257	212	212	156	490	578	609
El Aouinet	316	231	231	126	407	469	490
Meslloula	228	168	168	94	286	311	320

P : Précipitation

F : Fréquence

U : Variable réduite

B - Bassin versant de Meskiana.

Meskiana watershed.

Station	P (année sèche)			P	P (année humide)		
	T=100ans F=0.99 U=2.329	T=50ans F=0.98 U=1.282	T=10ans F=0.90 U=1.282	T=2ans F=0.5 U=0.00	T=10ans F=0.10 U=1.282	T=50ans F=0.02 U=2.056	T=100ans F=0.010 U=2.329
Meskiana	280	242	242	196	362	413	431
Rihia	173	149	149	119	372	421	439
A. Dhalaa	244	184	184	110	317	342	350

P : Précipitation

F : Fréquence

U : Variable réduite

Tableau IV - Les débits moyens annuels et durées de récurrence.

Average flows and durations of recurrence

Oued	Galton	Année T=100 F=0.99 U=2.3	T=50 F=0.98 U=2.05	T=20 F=0.95 U=1.65	Sèche T=10an F=0.90 U=1.28	Module T=2 F=0.5 U=0.0	Année T=10 F=0.1 U=1.2	T=2 F=0.05 U=1.6	T=50 F=0.02 U=2.05	Humide T=100 F=0.01 U=2.32
Mellegue (Ouenza)	a=3.27 b=-1.20 Q0=0	0.08	0.10	0.13	0.17	0.42	1.06	1.37	1.82	2.20
Meskiana (El Aouinet)	a=4.89 b=-0.20 Q0=0	0.30	0.35	0.42	0.50	0.91	1.66	1.97	2.39	2.71

F : Fréquence

U : Variable réduite

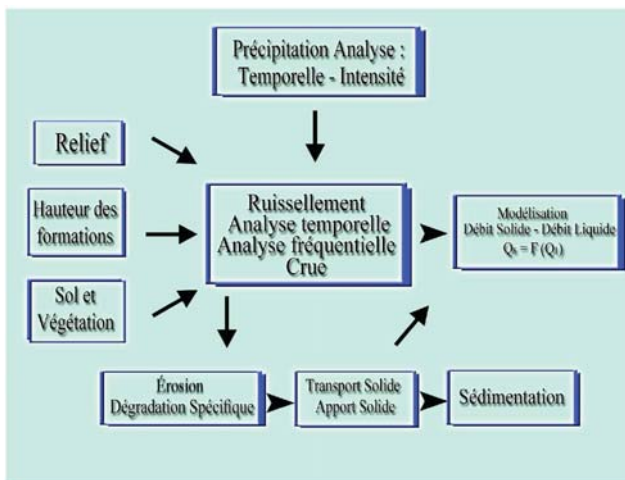


Fig. 7 - Schéma synthétique de la méthodologie d'approche utilisée
Synthetic scheme of the used approach methodology

III - MODÉLISATION

Le bassin versant de Meskiana-Mellegue amont offre des conditions très favorables surtout à la mobilisation et au transport des matériaux. Les résultats calculés par les différentes formules empiriques (Fournier, Tixeront, Sogreah et ANRH) nous indiquent un écart important qui s'explique par les différentes approches utilisées par chaque auteur. La raison en est l'importance de l'érosion pour laquelle de nombreux facteurs propres aux bassins sont négligés par ces formules. Nous tenterons, pour y remédier, de faire une estimation du transport solide dont, un grand nombre de chercheurs ont tenté d'expliquer les mécanismes complexes et de quantifier les volumes des sédiments transportés. Dans ce contexte, on notera les travaux de Tixeront (1960); Sari (1977), Demmak (1982); Sogreah (1983); Belhadj (1999); Meddi (1999); Cerdan (2001); Terfous et al. (2001); Campy et Macaire (2003); Brivois (2005); Kingumbai (2006).

Méthode utilisée

Le principal but à atteindre dans notre étude est de réaliser une liaison entre les paramètres hydro-climatiques en utilisant une approche mathématique, selon les démarches suivantes:

a) Collecte des données contribuant au phénomène étudié

Les données utilisées pour élaborer notre modèle concernent le débit et la concentration des matières en suspension mesuré aux deux stations hydro-métriques (El Aouinet : 1973-1984), (Ouenza: 1972-2003). Elles sont définies d'après le schéma suivant (fig. 8) :

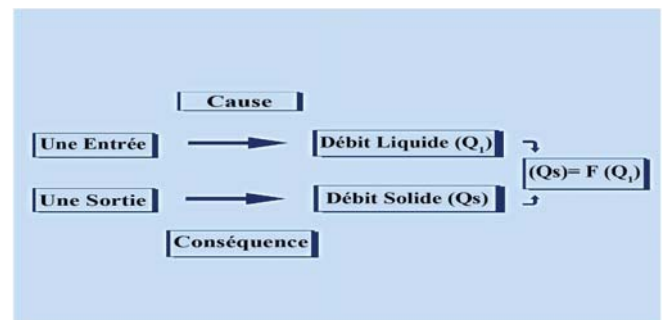


Fig. 8 - Schéma illustratif de la démarche du modèle.
Illustrative scheme of the model approach.

Les données de transport solide en suspension sont exprimées en termes de concentration (g/l) et le débit solide Q_s a été déduit par la formule suivante :

$$Q_s = C \cdot Q_l ; \quad (1)$$

avec :

Q_s : débit solide en suspension moyen journalier (kg/s).

Q_l : débit liquide moyen journalier (m^3/s).

C : concentration moyenne journalière (g/l).

b) Traitement statistique des données

Les points qui forment le modèle sont choisis selon certains critères; à savoir l'homogénéité par le test de (Man-Whitney), l'indépendance et la stationnarité à partir du test de (Wald-Wilforvite) (fig. 9).

Les critères sont les suivants :

APPROCHE PAR MODÉLISATION DU TRANSPORT SOLIDE DANS LES RÉGIONS SEMI-ARIDES.
 EXEMPLE DU BASSIN VERSANT DE MESKIANA-MELLEGUE AMONT (CONFINES ALGÉRO-TUNISIENS).

- 1- le coefficient de corrélation (R) et de détermination (R²), (corrélation entre les x et y);
- 2- le test de Fisher (F);
- 3- l'erreur type (Sy, x).

Donc, la précision du modèle est bonne lorsque (R) se rapproche de 1, (F) de Fisher calculé est supérieur à F théorique et (Sy, x) est inférieur à 1,40.

c) Élaboration du modèle

D'après les différentes formes de régressions qui ont été effectuées a partir des données (fig. 10), la forme polynomiale semble la plus acceptable.

$$Y = aX^2 + bX + c \quad (2)$$

Selection by Chronological Periods

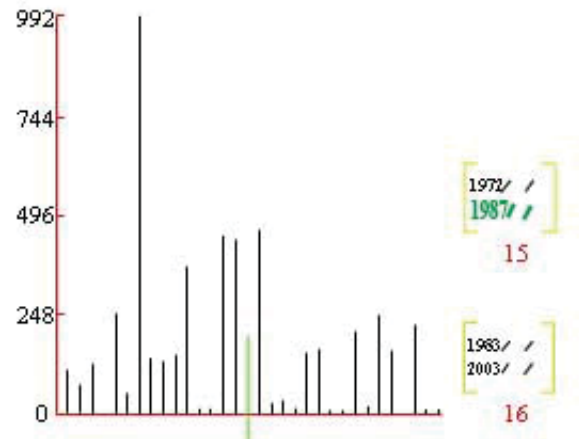


Fig. 9 - Résultat de HFA pour les débits solides (Ouenza).

HFA result for solid flow (Station of Ouenza).

Régression polynomiale

Régression linéaire

Régression logarithmique

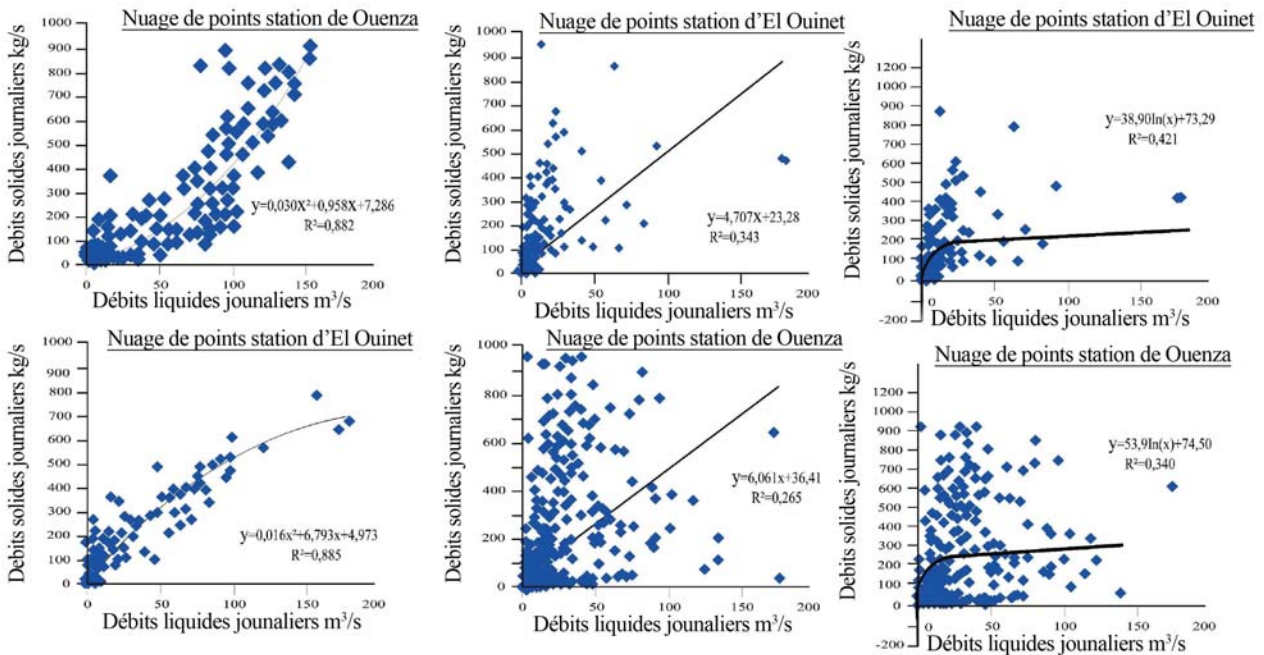


Fig. 10 - Les différents type de régression.

Various types of regression.

Cette forme de régression peut être écrite de la manière suivante :

$$Q_s = aQl^2 + bQl + c; \quad (3)$$

Pour identifier les différents paramètres a et b nous utiliserons la méthode des moindres carrés.

$$Y = ax + b; \quad (4)$$

avec :

Y : détermine le débit solide (Q_s);

x : détermine le débit liquide (Ql);

a, b : constants.

IV - DISCUSSION DES RÉSULTATS

Les résultats des coefficients des moindres carrés à l'échelle annuelle (fig 10) donnent :

(station El Aouinet) $Q_s = 74,92 Ql^2 - 155,7 Ql + 241,2$;

(station Ouenza) $Q_s = 0,354 Ql^2 - 25,37 Ql + 89,20$;

où :

Q_s : débit solide en suspension moyen annuel en kg/s.

Ql : débit liquide moyen annuel en m^3/s .

En tenant compte des paramètres de régressions suivants :

$R = 0,78$ - $R^2 = 60,84\%$ - $F_c = 38,75$ - $S_{y,x} = 0,91$
(station El Aouinet).

$R = 0,77$ - $R^2 = 59,80\%$ - $F_c = 36,95$ - $S_{y,x} = 1,20$
(station Ouenza).

L'évaluation des débits solides a été effectuée sur la base d'un concept et d'une analyse où nous respectons le même raisonnement à différentes échelles.

Les résultats obtenus (fig. 11) mettent en exergue l'existence d'une liaison entre le débit solide et le débit liquide, représentée par une loi de forme ($Q_s = aQl^2 + bQl + c$), les graphes montrent qu'il y a une bonne corrélation dans la station d'El Aouinet, qui est plus ou moins acceptable dans la station d'Ouenza entre ces deux paramètres qui représentent la dynamique des sédiments dans l'oued Meskiana-Mellegue amont. L'analyse graphique montre qu'à de faibles débits liquides peuvent correspondre de forts débits solides, engendrés par des pluies violentes (Belloula et al., 2010).

Les nuages des points pour la saison humide, présentent une certaine variation qui doit être importante entre les débits solides et les débits liquides, ce qui nous amène à dire qu'il existe un nombre de prélèvements lors de tarissement. Par contre, lors de la saison sèche, on constate que les premières pluies de la saison d'automne se trouvent face à un sol sec. Les pluies contribuent à détacher la liaison entre les particules, la réponse du bassin versant en matière solide est très faible, ce qui nous pousse à dire que les pluies torrentielles arracheront une grande partie des sédiments qui seront transportés ensuite, par le cours d'eau.

Estimation de l'érosion spécifique

À partir du modèle (3), on déduit la relation suivante :

$$Es = Q_s / S; \quad (5)$$

Es : érosion spécifique en (tonne/ km^2 /an).

S : superficie du bassin versant en (km^2).

Ql : débit liquide moyen annuel en (m^3/s).

Q_s : débit solide en suspension moyen annuel en (kg/s).

De l'application des formules (3 et 5), sur les données des stations d'Ouenza et d'El Aouinet, sur la base d'un débit liquide moyen annuel de $0,43 m^3/s$ et d'une superficie de $3370 km^2$, on obtient les résultats suivants (tabl. V).

APPROCHE PAR MODÉLISATION DU TRANSPORT SOLIDE DANS LES RÉGIONS SEMI-ARIDES.
EXEMPLE DU BASSIN VERSANT DE MESKIANA-MELLEGUE AMONT (CONFINES ALGÉRO-TUNISIENS).

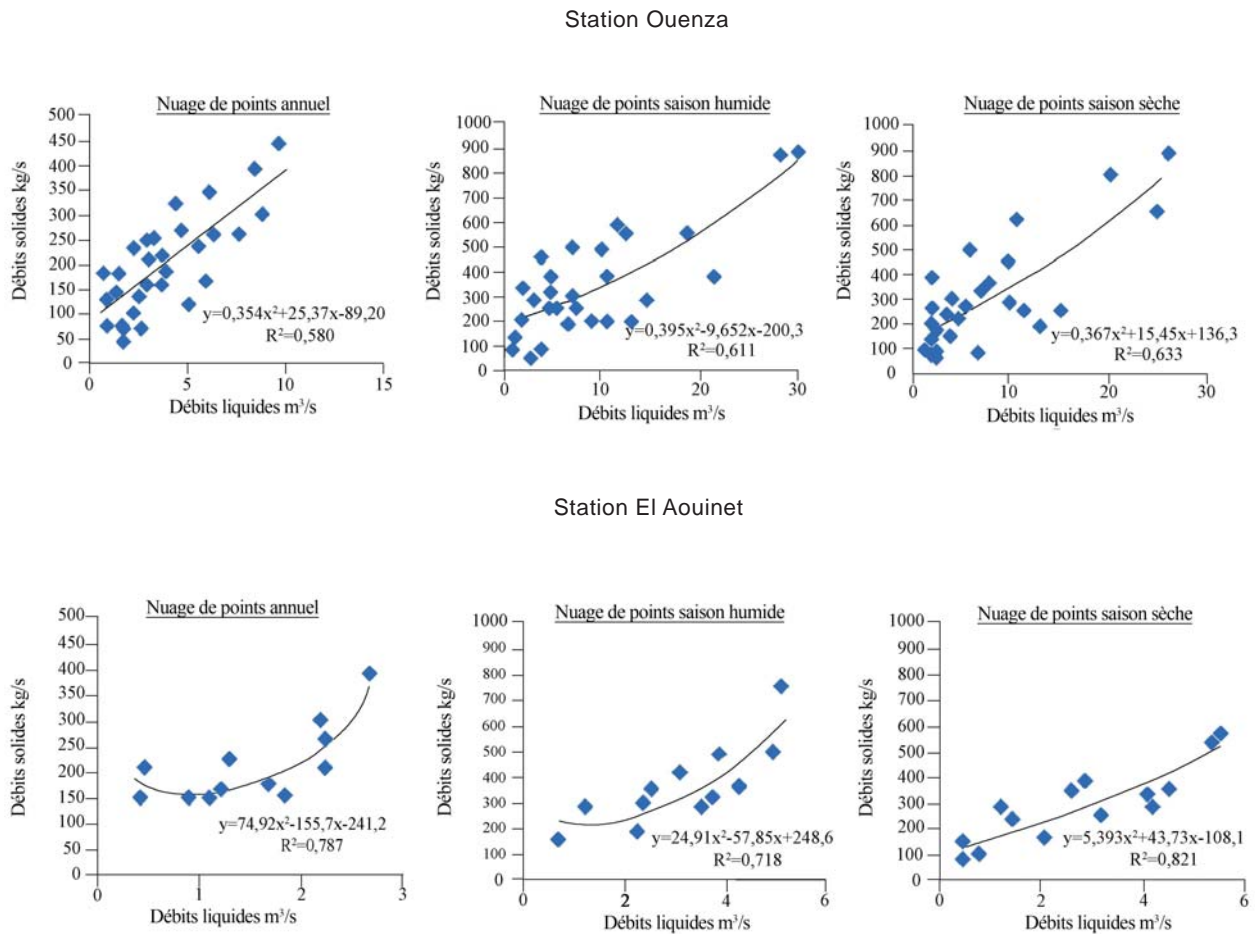


Fig. 11 - Relation débits solides-débits liquides

Relationship liquid flows-solid-flows

Tableau V - Dégradations spécifiques trouvées par différentes méthodes

Specific degradations found by various methods

Méthodes	Dégradation spécifique tonne/km ² /an	
	Ouenza	El Aouinet
Érosion spécifique (Es) déterminée par le modèle (échelle annuelle)	349.60	95.86
Fournier	550.35	160.20
A.N.R.H	883.15	322.86
Tixeront	212.2	207.51
Sogreah	136.12	134.25

V. CONCLUSION GÉNÉRALE

Après avoir étudié la variation des débits solides en fonction des débits liquides à différentes échelles (annuels, saisonniers et journaliers), on peut dire que le coefficient de corrélation à l'échelle annuelle est significatif soit pour l'Ouenza ou El Aouinet ($R= 0.79$, $R= 0.89$). A l'échelle saisonnière, la valeur du coefficient de corrélation est la même aussi bien pour la saison humide que pour la saison sèche. Donc, la relation entre le débit solide et le débit liquide reste toujours significative.

Autrement dit, l'évaluation de la quantité des sédiments en suspension, par l'emploi du modèle établi à différentes échelles, donne des valeurs de dégradation spécifiques presque identiques sauf à l'échelle journalière où, l'on remarque des valeurs surestimées.

Les relations utilisées peuvent servir de base pour l'extension des séries courtes, pour l'analyse et le contrôle de toutes les observations utiles, et pour combler le déficit en matière d'information.

À cet égard, nous pouvons dire que l'érosion spécifique ($445.46 \text{ tonne/km}^2/\text{an}$) est en relation avec le débit solide (22.24 kg/s), que subit le bassin versant de Meskiana-Mellegue amont. Ces résultats attestent du rôle combiné de l'état dégradé du couvert végétal avec des sols pauvres sur des terrains tendres à pente moyenne, générés dans une ambiance climatique agressive accompagnée d'une action anthropique mal adaptée aux conditions du milieu.

BIBLIOGRAPHIE

AGENCE DES BASSINS HYDROGRAPHIQUES (ABH), 2000. (Constantinois-Seybouse-Mellègue). *Les cahiers de l'agence*, n°5, Bassin des hauts plateaux constantinois.

ATTAL, M. 2003. Érosion des galets des rivières de montagne au cours du transport fluvial : étude expérimentale et application aux réseaux hydrographiques d'orogénies actifs. *Thèse de Doctorat, UJF, Grenoble*, 288p.

BELHADJ, M.-S. 1999. Modélisation numérique de l'hydrologie pour l'aide à la gestion des bassins versants par l'utilisation conjointe des systèmes d'information géographique et de la méthode des éléments finis : un nouvel outil pour le développement durable, *SAGESS, U, Québec*.

BELLOULA, M. 2008. Modélisation des écoulements et perspectives de prévention contre le risque d'inondation dans quelques bassins de la Medjerda (confins algéro-tunisien). *Thèse de Magister, Université El Hadj Lakhdar, Batna*, 166p.

BELLOULA, M, DRIDI, H. ET KALLA, M. 2010. Modélisation des écoulements et de transport solide dans le bassin versant de Mellegue amont. *Le 1^{er} Séminaire International Euro-Méditerranéen Université de BATNA- Algérie (LRNAT) en collaboration avec (GEOSYSCOM) CNRS France*, 27-29 Avril.

BRIVOIS, O. 2005. Contribution à la modélisation de l'érosion de fortes pentes par un écoulement turbulent phasique. *Thèse de Doctorat, Université d'Aix-Marseille II, France*, 233p.

CAMPY, M. ET MACAIRE, J.-M. 2003. Géologie de la surface. (Erosion, transfert et stockage dans les environnements continentaux, 2^{ème} édition, édition Dunod, France, 448p.

CERDAN, O. 2001. Analyse et modélisation du transfert de particules solides à l'échelle de petits bassins versants cultivés. *Thèse de Doctorat, Université d'Orléans, France*, 163p.

COSANDEY, C. ET ROBINSON, M. 2000. Hydrologie continentale. *Édition Armand, Collins, France*, 360p.

DEMMAK, A. 1982. Contribution à l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. *Thèse de Docteur-Ingénieur. Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, France*, 323p.

KINGUMBI, A. 2006. Modélisation hydrologique d'un bassin affecté par des changements d'occupation. Cas du Merguellil en Tunisie central ENIT. *Thèse de Doctorat, Université El Manar de Tunis*, 218p.

APPROCHE PAR MODÉLISATION DU TRANSPORT SOLIDE DANS LES RÉGIONS SEMI-ARIDES.
EXEMPLE DU BASSIN VERSANT DE MESKIANA-MELLEGUE AMONT (CONFINES ALGÉRO-TUNISIENS).

- MEDDI, M. 1999.** Étude du transport solide dans le bassin versant de l'Oued Ebda (Algérie). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 43, pp. 167-183.
- SARI, D. 1977.** L'érosion dans les Aurès. *Éditions SNED, Alger*, 450p.
- SELTZER, P. 1949.** Le climat de l'Algérie. *Impr. La typolitho et Journal Carbonel*, 219p.
- SOGREAH, 1983.** Érosion et transport solide au Maghreb. Analyse bibliographique. *Rapport interne du projet RAB/80/011/PNUD*.
- TERFOUS, A., MEGNOUNIF, A. ET BOUANANI, A. 2001.** Étude du transport solide en suspension dans l'Oued Mouilah (Nord-ouest algérien). *Revue des Sciences de l'Eau*, 14 (2), pp. 175–187. http://www.rse.inrs.ca/art/volume14/v14n2_173.pdf [Accessed 31 October 2012].
- TIXERONT, J. 1960.** Débit solide des cours d'eau en Algérie et en Tunisie. *In* : International Association of Hydrological Sciences, ed., *Assemblée générale de Helsinki*. Wallingford, UK: IAHS Press, IAHS Publ. 53, pp. 26-42. <http://iahs.info/redbooks/a053/053004.pdf> [Accessed 31 October 2012].