



CONTRIBUTION A L'ETUDE DU TRANSPORT SOLIDE EN ALGERIE DU NORD

MEDDI M.

École Nationale Supérieure d'Hydraulique de Blida, LGEE, ALGERIA,

m.meddi@ensh.dz

RESUME

Actuellement, le phénomène de l'érosion devient de plus en plus important dans les bassins-versants algériens. L'érosion hydrique est la forme la plus répandue dans les bassins algériens. Elle dépend de la résistance des sols et de l'agressivité climatique. L'intensité de l'érosion se produit principalement en période de crue, où une quantité importante de sédiments est produite par les bassins. L'érosion, le transport des sédiments et la sédimentation sont la cause de la dégradation des sols agricoles, de l'envasement des barrages et des dommages portés aux infrastructures dont les coûts sont considérables. En Algérie, par exemple, les études de développement des ouvrages hydrotechniques se heurtent au problème d'absence de données relatives au transport solide dont l'importance devrait être évaluée. Cela pousse l'ingénieur à utiliser les méthodes empiriques existantes pour évaluer les quantités solides transportées annuellement par les cours d'eau lors des études de dimensionnement. Pour ce faire, nous avons jugé nécessaire l'amélioration de notre précédente relation, avec de nouvelles données, pour calculer le transport des sédiments à l'échelle annuelle, tout en se basant sur trois paramètres disponibles au niveau de tous les bassins-versants contrôlés par des stations hydrométriques, à savoir, l'écoulement, la pluviométrie et la superficie. Pour donner plus de rigueur au modèle, nous avons utilisé les données de 67 stations hydrométriques et barrages. Après avoir utilisé les données de 53 sites de mesure pour calibrer le modèle, la validation a été réalisée en tenant compte de 14 stations. La fiabilité du modèle a été effectuée en utilisant le critère Nash. Pour que la relation soit linéaire, les variables ont subi une transformation logarithmique. Tous les coefficients de corrélation sont significatifs et sont au

seuil de 95% avec un coefficient de détermination égal à 0,77. Le critère de Nash pour la calibration et la validation du modèle est respectivement de 77% et 88%

Mots-Clés : Transport solide ; Pluviométrie ; Modèle ; Algérie du Nord

ABSTARCT

Nowadays, erosion phenomenon is becoming increasingly important in the Algerian catchment basins. Hydric erosion is the most extensive form in the Algerian basins. It depends on the soils resistance and climate aggressivity. Erosion intensity occurs mainly when there are floods, where a significant amount of sediments is being generated by the basins. Erosion, sediment transport and sedimentation are the cause of the degradation of agricultural soils, siltation of dams and damaged substructures the costs are considerable. In Algeria, for instance, the hydro technical-structures development studies come up against the problem of the lack of data relevant to sediment transport in order to assess its importance. This leads the engineer to use the rule-of-thumb techniques currently in existence for assessing the solid quantities transported annually by water courses during sizing designs. For this, we considered necessary to improve our previous relation along with new data in order to calculate the sediment transport, on annual scale, based on three parameters available at all catchment basins controlled by hydrometric stations, i.e., runoff, pluviometry and surface area. To give more meaning to the model, we used data from 67 Algerian stations and dams. After using the data of 53 measuring sites for calibrating the model, the validation was performed by taking 14 stations into account. The model reliability was done using Nash criterion. For linearity purposes of the relation, the variables were subject to logarithmic transformation. All Correlation coefficients are significant at the 95% threshold along with a determination coefficient equal to 0,77%. The Nash criterion for model calibration and validation is 77% and 88% respectively.

Key-Words: Specific degradation; rainfall; model; North of Algeria

INTRODUCTION

L'envasement et le transport solide constituent, de par leurs importances, un problème majeur dans les pays du Maghreb. L'érosion, le transport solide et la sédimentation sont la cause de la dégradation des sols agricoles, de l'alluvionnement des retenues et de nombreux dégâts dont les coûts sont considérables. En Algérie, par exemple, les études d'aménagement hydrotechniques butent sur le problème de manque de donnée. L'ingénieur a utilisé les méthodes empiriques disponibles pour évaluer les quantités solides transportées annuellement par le cours d'eau étudié. Les surfaces menacées par la dégradation due à la désertification et à l'érosion hydrique sont estimées à 50 millions d'hectares le (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural). Elle représente plus de 20 % de la surface totale du pays qui est de l'ordre de 238 millions d'hectares (Mostephaoui *et al.*, 2013). Les surfaces menacées sont réparties en 14 millions d'hectares de zones montagneuses au Nord (touchées par l'érosion hydrique), 32 millions d'hectares en zones steppiques (menacées par la désertification) et 4,1 millions d'hectares de forêts soumises aux menaces induites par les effets des changements climatiques (Mostephaoui *et al.*, 2013).

De nombreux auteurs ont étudié l'impact des pluies sur l'érosion des sols dont le détachement de leurs particules est provoqué par l'énergie des gouttes de pluie. Ce phénomène a été mis en évidence par de nombreux chercheurs, entre autres, Wischmeir (1960) aux États-Unis d'Amérique. Roose (1980) a constaté que l'énergie des pluies en Afrique de l'Ouest est 256 fois plus importante que celle des eaux de ruissellement de surface. Selon Heush (1970), l'énergie des eaux de ruissellement de surface est plus importante que celle des pluies dans le phénomène de l'érosion dans les régions semi-arides et méditerranéennes. Cet état de fait a été vérifié par Meddi (1992), Meddi *et al.* (1998), Meddi *et al.* (2001) et Morsli *et al.* (2013) dans le bassin-versant de l'oued Mina et dans les monts de Beni Chougrane dans le nord-ouest de l'Algérie.

L'étude de la relation entre le transport solide, comme facteur expliqué, et les facteurs géomorphologiques, hydrométriques et climatiques, comme facteurs explicatifs, a été menée dans de nombreuses régions du monde tels que : Zhang *et al.* (2004) en République Populaire de Chine, Ray *et al.* (2011), Essien *et al.* (2011) au Nigeria, Kane et Julien (2007) aux États-Unis d'Amérique et Zekai (2014) dans les régions arides.

En Algérie, de nombreux chercheurs ont développé des relations liant le transport solide aux facteurs géomorphologiques et climatologiques pour certains bassins algériens (Achite et Meddi, 2005 ; Touaibia *et al.*, 2001;

Benkhaled et Remini, 2003). Par contre, Demmak (1982) et Meddi *et al.* (1998) ont développé des modèles d'estimations de la dégradation spécifique pour l'Algérie septentrionale.

Pour développer un modèle permettant l'estimation de la dégradation spécifique, à l'échelle annuelle, pour le Nord de l'Algérie, nous avons utilisé les données de 67 postes de mesures (barrages et stations hydrométriques) réparties aléatoirement dans l'espace étudié. Le développement d'un modèle régional consiste à calibrer et valider un modèle par les mesures ou valeurs des paramètres (expliqué et explicatifs) d'un grand nombre de bassins jaugés. Les approches de régionalisation consistent à mettre en relation les caractéristiques physiques du modèle à développer et les caractéristiques des bassins-versants au niveau desquels l'information est disponible par la technique des régressions (S. Zekai, 2014; Meddi *et al.*, 1998; Kane et Julien, 2007).

L'objectif principal de ce travail consiste à mettre au point une relation permettant de calculer la dégradation spécifique, pour le Nord de l'Algérie, en fonction de paramètres disponibles pour l'ensemble des bassins-versants contrôlés par des stations de mesure.

MATERIELS ET METHODES

Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude s'étend sur une superficie d'environ 381 000 km², dont 200 000 km² constitués de plaines et de plateaux. Ladite zone est située entre 9° Est et à environ 3° Ouest (Fig. 1). La partie du littoral s'étend sur 1200 km environ. Elle est caractérisée par un climat doux, l'humidité y est relativement élevée et la pluviométrie varie entre 400 mm à l'ouest et 1000 mm à l'est. L'Atlas tellien commence à l'ouest par les hauteurs du djebel Tessala (1061 m) qui, limite au Nord, la plaine de Sidi Bel Abbes, suivi par les djebels Daya (1417 m), Saïda (1288 m), Frenda (1132 m), El Ouencheriss (1 985 m), Dahra (1071 m) et Zekkar (1579 m). A l'est du djebel Zekkar, débute une série de montagnes constituée par l'Atlas de la Mitidja (1972 m), à l'est de celui-ci, on trouve les hauteurs de la Kabylie (Djurdjura, 2328 m). L'Atlas Tellien est également composé par des plaines du littoral telles que : la plaine d'Oran, Mitidja et Annaba et des plaines intérieures : la plaine de Tlemcen, de Sidi Bel Abbess et de Sersou.

Les Hauts Plateaux s'étendent sur 700 km environ. Ils s'étalent d'ouest en est, les hauteurs varient de 1000 à 1200 m. Parmi ces djebels, on cite ceux de Tlemcen (1142 m). Les Hauts Plateaux se rétrécissent à l'est du fait de leur proximité de l'Atlas tellien. L'altitude diminue jusqu'à 400 m au niveau du chott El Hodna.

Au sud de l'Atlas saharien, s'étend l'immense désert du Sahara qui représente 80% de la superficie de l'Algérie. Le Sahara se compose, pour une grande part, de plateaux rocheux et de plaines caillouteuses. Deux vastes régions de sables (le Grand Erg occidental et le Grand Erg oriental) constituent les principaux ensembles de reliefs dunaires du désert saharien.

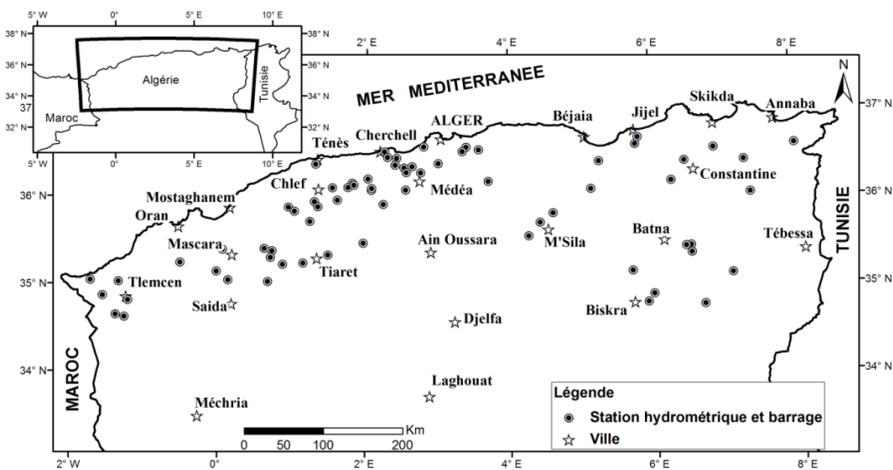


Figure 1 : Carte de situation et postes pluviométriques

Climat et pluviométrie

Le nord de l'Algérie est dans la zone tempérée et jouit d'un doux climat méditerranéen. Compte tenu de sa topographie, il existe de forts contrastes dans les températures avec des incidences sur la pluviométrie. Dans le Tell, la température moyenne en été se situe entre 21°C et 24°C et chute en hiver de 10°C à 12°C. Les hivers ne sont pas froids, mais le taux d'humidité est élevé et les maisons sont rarement chauffées d'une manière convenable. Dans l'est de l'Algérie, les températures moyennes sont un peu plus basses, et sur les steppes du Haut Plateau, les températures hivernales sont à quelques degrés au-dessus de zéro. Une caractéristique marquante du climat dans cette région est le sirocco : un vent soufflant du sud au large du désert. Ce vent atteint aussi, à l'occasion, les zones côtières. Les pluies sont assez abondantes le long de la

partie côtière du Tell, les précipitations augmentent de l'ouest vers l'est. La pluviométrie moyenne annuelle est de 400 mm à l'ouest, 700 mm au centre et 1400 mm à l'est pour le littoral. Les précipitations y sont plus importantes dans la partie nord de l'est de l'Algérie, où elles atteignent jusqu'à 1400 mm/an. Le massif du Djurdjura, situé en Kabylie, et le massif de l'Edough, situé plus à l'est, sont les zones les plus arrosées de l'Algérie (Touazi *et al.*, 2011). Encore plus à l'intérieur des terres, les précipitations sont moins abondantes. Les vents dominants de l'est et du nord-est en été changent pour l'ouest et le nord en hiver avec un effet sur l'augmentation générale des précipitations de septembre à décembre, une baisse vers la fin de l'hiver et les mois du printemps, et une absence presque totale durant les mois d'été.

a) Données utilisées

Les données utilisées sont : la dégradation spécifique annuelle, le débit liquide moyen annuel, les pluies mensuelles et la superficie (S en km²) des bassins-versants contrôlés. Pour l'Algérie, la dégradation spécifique des bassins-versants alimentant des barrages a été calculée à partir des levés bathymétriques relevés à différentes dates et mesurés par l'Agence Nationale des Barrages et des Transferts (ANBT). La dégradation spécifique observée (Dsobsr) à l'exutoire des bassins-versants a été calculée à partir des mesures effectuées au niveau des stations hydrométriques gérées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).

L'évaluation des quantités transportées se fait par deux types d'actions :

- l'évaluation des taux d'envasement des barrages, qui est un moyen permettant l'obtention des valeurs globales sur l'importance du transport solide par les oueds barrés. Cette méthode prend en considération les quantités transportées, ce qui élimine les erreurs sur les relevés. Elle tient compte des charriages de fond, mais elle néglige, par contre, les variations temporelles des sédiments déversés, en période de crue par exemple, et mesure un volume, c'est dire que l'interprétation des poids des matériaux s'avère difficile. Par conséquent, cette méthode ne permet pas une étude physique du phénomène, du fait qu'on a des valeurs cumulées, espacées dans le temps.
- mesure de la turbidité aux stations hydrométriques : Cette méthode se fait par des mesures instantanées relatives aux transports en suspension et elle permet, grâce aux mesures instantanées, une étude de variation temporelle du phénomène, ainsi que l'influence des facteurs climatiques

et morphométriques sur elle. Elle permet également, l'établissement des abaques ou modèles mathématiques permettant d'évaluer les apports solides annuels. Par contre, son inconvénient est dû à la technique utilisée pour la détermination de la turbidité, c'est-à-dire qu'on ne peut pas mesurer la concentration à tous les points de la section du cours d'eau, où la concentration varie.

La mesure du transport solide en suspension consiste en des prises systématiques d'échantillons d'eau à l'aide d'un flacon d'une contenance de 500cl. Ces échantillons sont pris en un point unique, soit sur le bord, ou au milieu de l'oued. Les prélèvements sont plus nombreux en période de crue, alors qu'en étiage ou lorsque le débit liquide est constant au cours de la journée, un seul prélèvement est effectué. La difficulté de la mesure est la non uniformité de la concentration en sédiment dans la section de mesure. La procédure de mesure de la turbidité, utilisée par l'ANRH, est développée dans les travaux de Meddi (1992) et Bourouba (1998a).

Les cours d'eau sélectionnés ont un régime hydrologique non perturbé. En outre, le choix et la sélection des données étaient basés sur les résultats des critiques des données du transport solide en Algérie, lesquelles critiques ont été effectuées par de nombreux chercheurs tel que : Demmak (1982); Touat (1989); Meddi (1992); Remini (1997); Kassoul et al. (1997); Remini (1997); Bourouba (1998 a et b); Meddi et al. (1998); Ghenim (2001); Touaibia (2000); Touaibia et al. (2001); Terfous et al. (2003); Benkhaled (2006); Bouanani (2004); Achite et Meddi (2005); Khanchoul (2006); Meghnouf (2007); Bouchelkia (2009); Remini et al. (2009); Ammari (2012); Louamri (2013); Belhadj Bouchaib (2014); El Mahi (2014). Sur la base des deux conditions précédentes, à savoir ; sélection des données et résultats de leur critique, que les données de vingt huit (28) barrages en exploitation et de trente-neuf (39) stations hydrométriques ont été extraites. La durée d'observation du transport solide varie de 8 à 24 ans.

Les caractéristiques statistiques de ces séries sont regroupées dans le tableau 1 et figure 2.

Tableau 1 : Caractéristiques des variables utilisées

	Dsobsr (t/km ² /an)	Ql (m ³ /s)	S (Km ²)	IMF (mm)
Val. Min	64,4	0,031	10	18,4
Val. Max	7619	334	7950	187,3
Val Moyenne	1411,2	7,1	1452,4	80,6

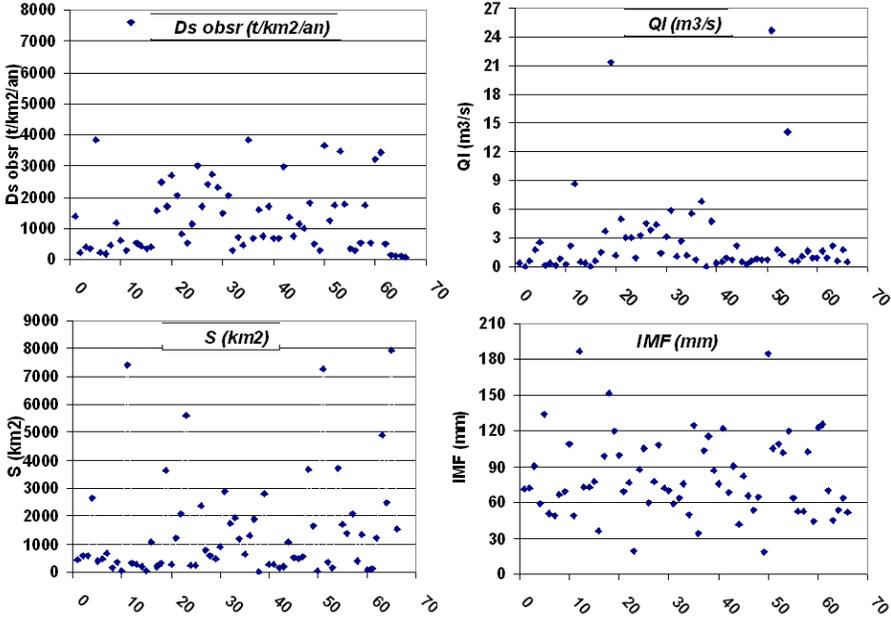


Figure 2 : Variables utilisées dans l'étude

Mise en évidence du problème à traiter

L'étude effectuée par Saidi (1991) a montré l'état très avancé de l'envasement des barrages algériens (Tab. 2). Ce phénomène est dû principalement à une érosion très active au niveau des bassins-versants algériens (Meddi, 1992; Demmak, 1982) et maghrébins (Lahlou, 1994 ; Saadaoui, 1991). Le phénomène d'érosion est dû, en Algérie, aux caractères très irréguliers et agressifs des pluies, essentiellement celles de la saison d'automne (Meddi, 1992). Pour cela, nous avons estimé nécessaire d'établir une expression permettant le calcul de la dégradation spécifique en Algérie du nord, nécessaire à toute étude d'aménagement là où le débit solide fait défaut.

La relation retenue entre le débit solide et liquide depuis les travaux d'E. Remy-Berzencouitch (1959) et des chercheurs américains, est de type :

$$Q_s = aQ^n \tag{1}$$

Où a et n sont des paramètres du bassin-versant considéré.

Cette expression fournit une première approximation de la variation, dans le temps, du débit solide des cours d'eau.

Fournier et Henin (1962), en portant en abscisses les débits liquides mensuels de l'année moyenne, et en ordonnées les débits solides correspondants, ont trouvé de véritables boucles d'hystérésis représentatives du phénomène. Donc, on ne peut calculer les débits solides à partir d'une courbe de tarage (Walling, 1977).

Nous allons essayer d'éclairer le phénomène de variation spatio-temporelle du transport solide au niveau du bassin (aux stations hydrométriques). Pour cela, nous allons étudier les relations et l'influence des facteurs hydro-pluviométriques sur la variation de la turbidité à l'échelle annuelle, saisonnière et de la crue, ainsi que la dégradation spécifique à l'échelle annuelle.

SOGREAH (1967) a mené, dans la région, une étude fondée sur des données concernant 9 barrages et 18 stations hydrométriques. Leurs résultats ont été représentés par une relation de la forme:

$$A = R^\beta \tag{2}$$

Où :

A est la dégradation spécifique exprimée en t/km²/an,

R est la lame d'eau annuelle moyenne écoulée exprimé en mm

$\beta = 0.15$, est un paramètre empirique variant avec le degré de perméabilité des bassins de 3.3 (perméabilité élevée) à 1.2 (perméabilité faible).

Tableau 2 : Dégradation spécifique (t km² an⁻¹) de quelques bassins-versants algériens alimentant des barrages (Saidi, 1991).

Barrages	Ghrib	Cheurfas	K'sob	Oued Fodda	Ighil Emda	Samo	Hamiz	Bakhada	Sidi B.Aouda
Ds (t km ² an ⁻¹)	111	41	198	2098	2493	234	690	122	213

Méthode utilisée

Nous avons employé la régression multiple « pas à pas » (Tomassone, 1987) pour établir les modèles. Tous les coefficients de corrélation partielle et multiple ont été contrôlés par les tests de validité. Les équations sont présentées sous la forme suivante :

$$Ds = a_0 X_1^{a_1} X_2^{a_2} \dots \dots \dots X_n^{a_n} + \varepsilon \quad (3)$$

Ds = variable expliquée (dégradation spécifique). X_1, X_2, \dots, X_n = variables explicatives (indépendantes) :

a_0 = constante de régression et a_1, a_2, \dots, a_n = coefficients de régression.

Cette technique a été largement utilisée pour estimer des paramètres hydrologiques d'intérêt dans le cas où l'information est non disponible et elle est essentielle pour le dimensionnement des ouvrages hydrotechniques et l'aménagement des bassins versants par exemple (Zekai, 2014; Meddi *et al.*, 1998; Kane et Julien, 2007 ; Lahlou, 1994 ; Cipruani *et al.*, 2012).

Indices pluviométriques

L'érosivité de la pluie représente l'interaction entre l'énergie cinétique de la pluie et la surface du sol (Wischmeier et Smith, 1978). L'indice représentatif de la pluie érosive traduit l'influence climatique dans le phénomène d'érosion des sols (Lal, 1990, Hashim *et al.*, 2001).

La hauteur de pluie annuelle, à elle seule, ne suffit pas à expliquer le phénomène de l'érosion. Il faut donc considérer les variations saisonnières de la pluviométrie, en faisant intervenir un indice, qui tient compte de la concentration des pluies mensuelles, ainsi que des fréquences des précipitations journalières à un seuil donné. L'impact de la répartition pluviométrique annuelle a été montré par Tixeront (1960) lors de l'étude de 32 bassins algériens et tunisiens. A partir de constat, l'auteur a fait sortir trois zones distinctes :

- une pluviométrie inférieure à 300 mm est insuffisante pour donner une quantité significative de terre érodée,
- une pluviométrie comprise entre 300 et 700 mm donne une érosion très active ($Ds > 1200 \text{ t/km}^2/\text{an}$).
- une pluviométrie supérieure à 700 mm avec un couvert végétal protecteur, ce qui donne lieu à une dégradation spécifique inférieure à $350 \text{ t/km}^2/\text{an}$. C'est - à - dire, que le couvert végétal masque l'effet de la pluie lorsqu'il dépasse une certaine hauteur.

Deux indices seront considérés dans ce travail, à savoir: l'indice de Fournier (IF) et l'indice de Fournier modifié (IMF) en plus de la pluie moyenne annuelle.

Fournier (1960) a défini un indice de distribution des précipitations (FI), comme étant le rapport entre les précipitations pour le mois le plus pluvieux de l'année (p_m) et les précipitations annuelles (P) en utilisant la formule :

$$FI = \frac{p_m^2}{P} \quad (3)$$

Cet indice représentant l'agressivité des pluies a été utilisé dans nombreuses régions du monde (Meddi, 1992; Ferro *et al.*, 1999; Odura-Afrive, 1996) pour estimer les pertes en sol et dans les projets d'aménagement.

Arnoldus (1980) a montré que la corrélation entre l'indice de Fournier (FI) et EI30 n'étaient n'était pas significative ($R^2 = 0,55$). En se basant sur ce résultat, il a proposé l'indice de Fournier modifié (IMF) en tenant compte des précipitations de tous les de l'ensemble des mois de l'année (p_i). Il obtenu des résultats satisfaisants pour 164 stations aux États-Unis et pour 14 stations en Afrique de l'Ouest. Le nouvel indice proposé s'écrit comme suit :

$$IMF = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{P} \quad (4)$$

Selon Arnoldus (1980), l'IMF constitue une bonne approximation du facteur R de l'équation universelle dont la relation est linéaire. Les classes de cet indice, proposées dans CEC (1992), figurent dans le tableau n° 3

En Algérie, en étudiant le transport solide dans treize (13) bassins- versants du nord-ouest algérien, Meddi (2013) a montré la prédominance de l'indice de Fournier modifié (IMF), par rapport à d'autres indices, dans la représentation de l'agressivité des pluies. Cet indice a été utilisé dans les études d'aménagement et pour la régionalisation de l'agressivité des pluies dans de nombreuses régions du monde (De Louis *et al.*, 2010; Lujan et Gabriels, 2005 ; Mohamed *et al.*, 2013). Pour pallier aux manques de données nécessaires au calcul du coefficient R de l'équation universelle, des chercheurs ont développé des formules empiriques liant le coefficient R à l'indice de Fournier modifié pour estimer les pertes en terre (Meddi, 1992 ; Renard et Freimund, 1994; Diodato *et al.*, 2007; Rowntree, 1982; Coutinho et Tomas, 1994; Cohen *et al.*, 2005; Khorsandi *et al.*, 2012).

Cet indice a été largement utilisé dans les modèles d'estimation du facteur R de l'équation universelle (Renrad et Freimund, 1994; Lastoria *et al.*, 2008; Gabriels, 2006; Lee et. Heo, 2011).

L'équation n°5 (Meddi et Toumi, 2014) permet de calculer l'indice de Fournier modifié (IMF). L'indice peut également être extrait de la carte de la figure 3 (Meddi et Toumi, 2014).

$$IFM = 0,43 P^{0,94} X^{-0,09} \quad (5)$$

Avec P : Pluies annuelles en mm

X : Longitude en km

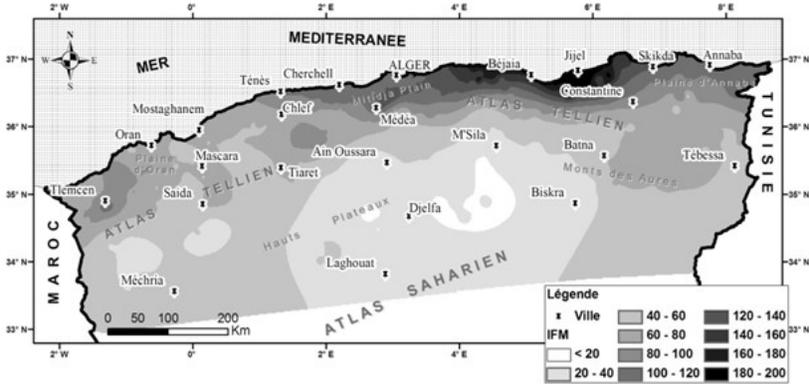


Figure 3 : Carte de la variabilité spatiale de l’IMF (Meddi et Toumi, 2014)

Tableau 3 : Classe de l’indice de Fournier modifié (IMF)

Classes	Description	IMF catégorie
1	Très faible	< 60
2	Faible	60 - 90
3	Moyen	90 – 120
4	Elevé	120 – 160
5	Très élevé	> 160

L’indice de concentration des pluies (PCI), proposé par Oliver en 1980, exprime la variabilité saisonnière et annuelle des précipitations en %. Les faibles valeurs du PCI indiquent une distribution uniforme des précipitations dans l’année, .Par contre, des valeurs élevées représentent une concentration élevée des pluies mensuelles ou bien une saisonnalité. Il s’écrit comme suit :

$$PCI = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{(\sum_{i=1}^{12} p_i)^2} \tag{6}$$

Les limites théoriques du PCI sont (Lujan et Gabriels, 2005) :

- Lorsque les précipitations de chaque mois de l’année sont les mêmes, cet indice est égal à 8,3.
- Lorsque toutes les précipitations de l’année se produisent dans un seul mois, le PCI est égal à 100

Oliver (1980) a dressé les fourchettes suivantes pour caractériser le caractère de répartition des pluies mensuelles dans l’année :

- un PCI inférieur à 10 indique une répartition uniforme des pluies dans l'année ;
- une valeur du PCI entre 11 et 15 représente une répartition saisonnière modérée ;
- une valeur du PCI variant de 16 à 20 représente une distribution saisonnière ;
- Un indice supérieur à 20 représente de forts effets saisonniers, avec des valeurs croissantes montrant un accroissement de la concentration mensuelle des pluies.

Oliver (1980) et Michels *et al.* (1992) ont démontré que le PCI était approprié pour évaluer et comparer la concentration des pluies entre les stations pluviométriques.

RESULTATS ET COMMENTAIRES

L'étude de l'érosion, du transport solide et de l'envasement des barrages a fait l'objet de nombreux travaux effectués par de nombreux auteurs (Tixeront, 1960 ; Capolini 1965-1969 in Demmak, 1982; Demmak, 1982; Meddi, 1992; Saidi, 1991). Ils ont tenté de montrer l'influence des différents paramètres (pluviométrie, ruissellement, lithologie, couvert végétal) sur le phénomène du transport solide.

En zone méditerranéenne et semi-aride, l'énergie de ruissellement est plus importante que celle de la pluie (Heusch, 1970; Meddi, 1992). Suivant ce résultat, on a fait intervenir le débit liquide moyen annuel comme facteur explicatif des variations de la dégradation spécifique. Également, les indices caractérisant l'agressivité des pluies (Pluie annuelle, IF et IMF) ainsi que la concentration saisonnière des pluies comme facteurs explicatifs (PCI).

La dégradation spécifique varie, pour les points considérés dans l'étude, de 64 à 7 620 t/km²/an. Cette dernière est enregistrée au niveau du bassin de l'oued Djendjen qui représente le bassin le plus dégradé de l'Algérie septentrionale (Bourouba, 1988b) et également du Maghreb (Nicod, 1993).

Pour pallier au manque de données nécessaires pour le calcul de la dégradation spécifique, de nombreux chercheurs ont développé une relation liant cette variable à l'écoulement moyen annuel et à la surface des bassins-versants (Demmak, 1982; Meddi *et al.*, 1998; Lahlou, 1994; Zekai, 2014).

Les 67 points de mesure seront utilisés pour identifier les paramètres appropriés pour prédire la dégradation spécifique (Ds). Les facteurs explicatifs sont le débit annuel (m³/s), la surface du bassin (km²), la pluviométrie annuelle (mm), l'indice Fournier (IF), l'indice Fournier modifié (IMF) et l'indice de concentration des pluies (PCI).

Les facteurs explicatifs sont : le débit moyen annuel m³/s, la pluviométrie annuelle en mm, la longitude en km et la latitude en km. La normalité de ces séries a été testée par le test de Jarque et Bera (1987). Ces deux tests ont montré que les séries ne suivent pas une loi normale. Les relations sont de forme puissance, obtenues par régression linéaire des quatre variables transformées par le logarithme décimale et ajustées selon le critère des moindres carrés. L'intervalle de confiance est de 70 % (probabilité de 70% que la vraie valeur soit à l'intérieur de cet intervalle). La performance des modèles est évaluée par la différence entre les valeurs mesurées et calculées de la dégradation spécifique. Les critères utilisés sont le coefficient de détermination et le critère de Nash (1969) repris par Nash et Sutcliffe (1970). Ce critère est le plus communément utilisé dans la modélisation hydrologique. La formulation s'écrit comme suit :

$$\text{Nash (\%)} = \left[1 - \frac{\sum (\sqrt{Ds_{\text{obs}}} - \sqrt{Ds_{\text{cal}}})^2}{\sum (\sqrt{Ds_{\text{obs}}} - \sqrt{Ds_{\text{obs}}})^2} \right] \times 100 \quad (7)$$

Généralement, on considère qu'un modèle hydrologique donne des résultats acceptables si la valeur du critère de Nash est supérieure à 80% (Gaume, 2002)

$$\text{RRMSE (\%)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{Ds_{\text{obs}} - Ds_{\text{cal}}}{Ds_{\text{obs}}} \right] \quad (8)$$

Plus cette erreur se rapproche de zéro, plus l'estimation de la dégradation spécifique est considérée meilleure.

$$\text{RMSE (\%)} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{Ds_{\text{obs}} - Ds_{\text{cal}}}{Ds_{\text{obs}}} \right]^2} \quad (9)$$

Plus cette erreur quadratique tend vers zéro, plus l'estimation est meilleure. C'est le critère le plus utilisé en hydrologie pour quantifier l'erreur.

Où N est le nombre de points de mesure, $D_{s_{obs}}$ est la dégradation spécifique observée et $D_{s_{cal}}$ est la dégradation spécifique calculée.

Pour les besoins de calage et de validation du modèle, on a utilisé respectivement 53 et 14 stations. Les modèles de régression ont été sélectionnés sur la base du coefficient de détermination (R^2), le critère de Nash, l'erreur quadratique moyenne (RRMSE) et la racine quadratique de l'erreur moyenne (RMSE). Le tableau 4 résume les différents modèles de régression testés. Le meilleur modèle est sélectionné sur la base de la valeur la plus élevée du coefficient de détermination et la plus faible du critère de Nash. Le modèle n°1 donne les meilleures valeurs de Nash en calage et en validation, ainsi que pour le coefficient de détermination. Ce modèle sera utilisé pour calculer la dégradation spécifique. L'indice de concentration des pluies (PCI) n'a pas amélioré la relation en terme statistique. L'indice de Fournier modifié (IMF) représente l'influence de la pluviométrie sur le transport solide. Ce résultat est en concordance avec les conclusions émises par Meddi et al. (2013) pour le nord-ouest de l'Algérie.

Tableau 4 : Modèles testés

	R^2	Nash (%)		RMSE		RRMSE	
		Calib	Valid	Calib	Valid	Calib	Valid
$D_s = 16115,58 QI^{0,67} * S^{-0,52} IMF^{0,10}$	0,773	77	88	0.428	1.375	-5.5	-0.79
$D_s = 2,14 IMF^{1,29} S^{0,09}$	0,383	40	50	0.981	3.907	-29.3	-2.26
$D_s = 12,55 QI^{0,30} IMF^{1,01}$	0,589	52	41	0.737	3.214	-19.3	-1.96

Calib : Calibration du modèle ; *Valid* : Validation du modèle

La figure 4 montre que les valeurs du D_s observées et calculées sont contenues dans l'intervalle de confiance de 95% pour le modèle. L'étude des résidus a confirmé les hypothèses relatives aux résidus entre les valeurs observées et estimées par le modèle, à savoir : la normalité des résidus, vérifiée dans notre cas, par le test de Jarque et Bera (1987), l'indépendance; la non-autocorrélation et enfin la homoscedasticité.

Ce modèle de prévision fournit un outil d'estimation de la dégradation spécifique pour la planification et la conception de barrages et d'ouvrages hydrotechniques ainsi que l'aménagement de bassins-versants. L'estimation des pertes de terres est essentielle pour préserver et gérer les barrages qui sont confrontés à la problématique de l'envasement (Remini, 2005). Le modèle est également un outil pour l'étude et le dimensionnement des ouvrages de

protection contre les crues et inondations que le Nord de l'Algérie subit régulièrement. L'estimation des pertes de terres est aussi nécessaire, dans l'évaluation des conséquences de l'érosion hydrique sur l'agriculture dont les conséquences sont représentées par l'appauvrissement généralisé des sols et la baisse de la fertilité de ces sols (Merzouki et al., 1994).

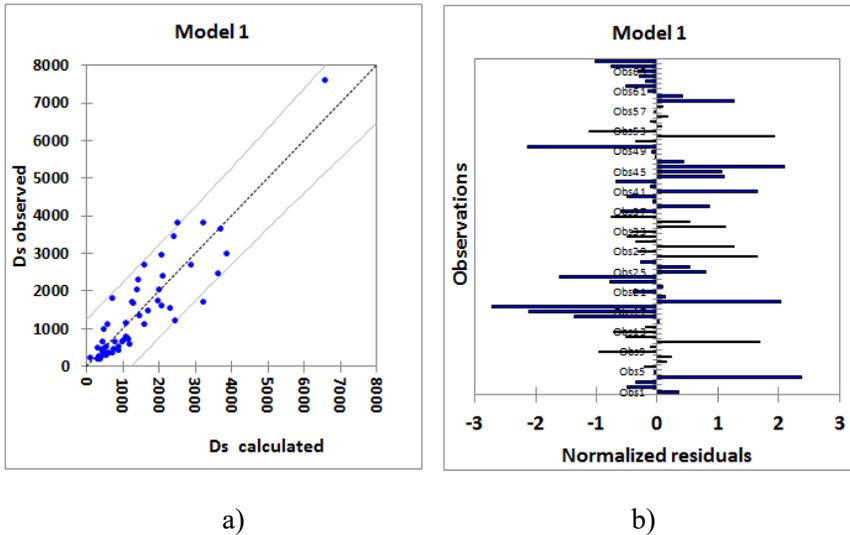


Figure 4 : Résidus normalisés pour le modèle 1 – intervalle de confiance (95%)

CONCLUSION

Au terme de ce travail, nous pouvons dire que le modèle développé pour estimer le transport solide en Algérie du Nord est acceptable au vu des différentes vérifications (normalité des résidus, coefficient de Nash pour la calibration et la validation). Le coefficient de détermination est de l'ordre de 77% et le critère de Nash dépasse les 77 % pour la calibration et la validation. Ce modèle doit être manipulé avec prudence afin d'éviter les erreurs qui peuvent être engendrées par son application. Les résultats montrent l'existence de relation entre la dégradation spécifique, le débit liquide, la pluviométrie représentée par l'indice de Fournier modifié et la superficie. L'importance du modèle réside dans la

disponibilité des facteurs explicatifs sur pratiquement l'ensemble des cours d'eau algériens.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACHITE M. et MEDDI M. (2005) - Variabilité spatio-temporelle des apports liquides et solides en zone semi-aride. Cas du bassin versant de l'Oued Mina (Nord-Ouest Algérien). *Revue des Sciences de l'Eau*. N°18 Spécial (37-56), 2006.
- AMMARI A. (2012). Vulnérabilité à l'envasement des barrages (Cas du bassin hydrographique des côtières algérois). Thèse de doctorat, Univ. De Biskra, 2012.
- ARNOLDUS H.M.J. (1977) - Prédiction des pertes de terres par érosion en nappe et en griffe. Aménagement des bassins versants, *Bulletin FAO*, pp. 121-149.
- ARNOLDUS H.M.J. (1980). An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. In M. deBoot and D. Gabriels (eds), *Assessment of erosion*. Wiley, chichester.
- BELHADJ BOUCHAIB F. (2014). Modélisation du transport solide bassin versant de l'Oued Mina et de la sédimentation du barrage S.M.B.A. Thèse de doctorat, ENSH Blida, 2014, 182 p.
- BENKHALED A. et REMINI B. (2003) - Analyse de la relation puissance débit solide – débit liquide à l'échelle du bassin-versant de l'oued Wahrane (Algérie). *Revue des Sciences de l'eau*, 16 (3), 333-356.
- BENKHALED A. (2006). Contribution à l'étude du transport solide en suspension de oued Ouahrane Bassin Hydrographique chelif-Zahrez. Université d'Oran (USTO), 2006.
- BOUANANI A. (2004) Hydrologie, transport solide et modélisation. Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW Algérie). Thèse de Doctorat d'Etat, Univ Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie.
- BOUCHELKIA H. (2009). Etude du transport solide dans le bassin versant et son impact sur l'envasement des barrages – cas du bassin versant de Chellif. Thèse de doctorat. Université de Tlemcen pp. 166.
- BOUROUBA M. (1998a) Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides de l'Oued Medjerda supérieur (Algérie orientale). *Bull. Réseau Érosion* 18, 76–97.
- BOUROUBA M. (1988b) - Hydrologie et érosion actuelle dans le Tell oriental : le cas du bassin versant de l'oued Djendjen. Thèse de 3ème cycle, Aix - Marseille II, 404.
- CEC (Commission of European Communities) (1992) - CORINE Soil erosion risk and important land resources in the southern regions of the European Community. Brussels, Commission of the European Community EUR 13233 EN, Luxemburg, Office for official Publications of the European Community, pp 97

- CIPRIANI T., TOILLIEZ T. et SAUQUET E. (2012) - Estimation régionale des débits décennaux et durées caractéristiques de crue en France. *La Houille Blanche*, n° 4-5, 2012, p. 5-13
- COHEN M.J., SHEPHERD K.D. et WALSH M.G. (2005) - Empirical formulation of the universal soil loss equation for erosion risk assessment in a tropical watershed. *Geoderma* 124, 235–252
- COUTINHO M.A. et TOMAS P.P. (1994) - Comparison of Fournier with Wischmeier rainfall erosivity indices. In: Rickson, R.J. (Ed.), *Conservation Soil Resources, European Perspectives*. CAB International, Wallingford.
- DE LUIS M. et GONZALEZ J.C. et LONGARES L.A. (2010) - Is rainfall erosivity increasing in the Mediterranean Iberian peninsula? *Land Degrad. Develop.* 21 : 139-144 (2010).
- DEMMAK A. (1982) - Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de Docteur Ingénieur, université de Pierre et Marie Curie, Paris XI.
- DIODATO N. et BELLOCCHI G. (2007) - Estimating monthly (R) USLE climate input in a Mediterranean region using limited data. *Journal of Hydrology* 345: 224–236.
- EL MAHI A. (2014). Quantification et modèles de prévision de l'envasement des barrages en Algérie à l'échelle de la crue. Thèse de doctorat, Univ. D'ORAN (USTO), 2014. 273 p.
- ESSIEN O. E. et OKON E. G. (2011) - Rainfall characteristics, runoff rate and traffic flow on gully morphometric parameter growth and soil loss in sand-mined peri-urban, Uyo, Nigeria. *Journal of Geology and Mining Research* Vol. 3(7), pp. 180-187, July 2011
- FERRO V., PORTO P. & YU B. (1999) - A comparative study of rainfall erosivity estimation for southern Italy and southeastern Australia, *Hydrological Sciences Journal*, 44:1, 3-24, DOI: 10.1080/02626669909492199
- FOURNIER F. (1960) - Climat et érosion - la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. P.U.F., Paris, 201 p.
- FOURNIER F. et HENIN S. (1962) - Etude de la forme de la relation existant entre l'écoulement mensuel et le débit solide mensuel. *Pub. AIHS*, n° 59, pp. 353-358
- GABRIELS D. (2006) - Assessing the modified Fournier index and the precipitation concentration index for some European countries. In: Poesen, Boardman (Ed.), *Soil Erosion in Europe*. John Wiley & Sons, pp. 675–684.
- GAUME E. (2002). Un parcours dans l'étude des phénomènes extrêmes en hydrologies. *Mém. H.D.R., Ecole Nationale des Ponts et Chaussées*. 269 p.
- GHENIM A. (2001). Contribution à l'étude des écoulements liquides et des dégradations du bassin versant de la Tafna : cas de oued Isser, oued Mouilah et la Haute Tafna. Thèse de magister, université de Tlemcen, Algérie, 2001.

- HASHIM B., YU G.M et EUSOF Z. (2001) - Estimating the r-factor with limited rainfall data: A case study from Peninsular Malaysia. *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol 56, No.2.
- HAK LEE J. et HAENG HEO J. (2011) - Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea. *Journal of Hydrology* 409 (2011) 30–48
- HEUSCH B. (1970) - L'érosion du Préfif occidental : une étude quantitative de l'érosion hydrique dans les collines marneuses du Préfif occidental. *Annales de la Recherches Forestières du Maroc*, Tome 12, Rabat, p. 9-176.
- JARQUE C. M. & BERA A. K. (1987) - A test for normality of observations and regression residuals. *International Statistical Review* 55, 163–172.
- KANE B. et JULIEN P.Y. (2007) - Specific degradation of watersheds. *International Journal of Sediment Research*, Vol 22, N°2, 2007, pp. 114-119.
- KASSOUL M., ABDELGADER A., BELORGEY M., (1997). Caractérisation de la sédimentation des barrages en Algérie. *Revue des Sciences de l'Eau*. 3 : 339-358.
- KHANCHOUK K. (2006). Quantification de l'érosion et des transports solides dans certains bassins versants de l'extrême Nord-Est algérien. Thèse de doctorat, Univ. Université Badji Mokhtar de Annaba, 2006.
- KHORSANDI N., HOSSEIN MAHDIAN M., PAZIRA E., NIKKAMI D. et CHAMHEIDAR H. (2012) - Spatial Variability of Imprecise Values of Rainfall Erosivity Index. *World Applied Sciences Journal* 18 (2): 243-250, 2012.
- LAHLOU A. (1994) - Envasement des barrages au Maroc. *Collection Sciences et Techniques*, éd. Wallada, Maroc, 286 p.
- LAL R. (1990) - *Soil Erosion in the Tropics: Principles and Management*. McGraw-Hill, New York.
- LASTORIA B., MISEROCCHI F., LANCIANI A. et MONACELLI G. (2008) - An Estimated Erosion Map for the Aterno-Pescara River Basin. *Eur. Water* 21/22, 29–39.
- LEE J.H. et HEO J.H. (2011) - Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea. *Journal of Hydrology* 409 (2011) 30–48
- LOUAMRI A. (2013). Le bassin-versant de la Seybouse (Algérie orientale) : hydrologie et aménagement des eaux. Thèse de doctorat, Univ. de Constantine 1, 2013.
- LUIJAN L. D. et GABRIELS D. (2005) - Assessing the rain erosivity and rain distribution in different agro-climatological zones in Venezuela. *Sociedade & Natureza*, Special Issue: 16-29
- MEDDI M. (1992) - Hydro-pluviométrie et transport solide dans le bassin versant de l'Oued Mina (Algérie). *Doct. Thèse. Uniq., Université Louis Pasteur -Strasbourg*, 285 p.
- MEDDI M., KHALDI A. et MEDDI H. (1998) - Contribution à l'étude du transport solide en Algérie du Nord. *Pub. AHS Pub. no 249. Pp 393 - 398*

- MEDDI M. et MORSLI B. (2001) - Etude d'érosion et du ruissellement sur bassins versants expérimentaux dans les monts de Beni-Chougrane. *Revue Z. Gemorph NF* 2001 ; 45/4/443-452.
- MEDDI M. (2013) - Sediment transport and rainfall erosivity evolution in twelve basins in Central and Western Algeria. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, v.7, n.2 p. 253-263, 2013
- MEDDI M. et TOUMI S. (2014) - Regionalisation of rainfall erosivity in northern Algeria. *Int. J. Hydrology Science and Technology*, Vol. 4, No. 2, 2014.
- MEGHNOUF A. 2007. Etude du transport des sédiments en suspension dans les écoulements de surface. Thèse de doctorat. Tlemcen. Université de Tlemcen pp. 168.
- MERZOUK A., RAYAN J. et KACEMI M., (1994) - A perspective on soil erosion in Morocco's dry land semi-arid zone. Actes du colloque International des Sciences du Sol: « Sciences du sol au développement », Rabat, Maroc, 6-8 Avril 1993, 12 p.
- MICHIELS P., GABRIELS D., HARTMANN R. (1992) - Using the Seasonal and Temporal precipitation concentration index for characterizing the monthly rainfall distribution in Spain. *Catena*, Vol 19 43 - 58.
- MOHAMED A. M. A., JINBAI H., CSP O., HIROSHI Y., et ELTAYEB O. (2013) - Spatiotemporal Changes of Rainfall Erosivity in Loess Plateau, China. *ISRN Soil Science*. Volume 2013 (2013), Article ID 256352, 8 pages.
- MORSLI B., HABI H. et MEDDI M. (2013) - Dynamique de l'érosion en zone méditerranéenne algérienne : facteurs explicatifs de variation du ruissellement et de l'érosion sous différentes occupations du sol. *Revue des sciences de l'eau*, Volume 26, numéro 2, 2013, p. 89-105. <http://id.erudit.org/iderudit/1016061ar.10.7202/1016061ar>.
- MOSTEPHAOUI T., MERDAS S., SAKAA B., HANAFI M. T. et BENAZZOUC M.T. (2013) – Cartographie des risques d'érosion hydrique par application de l'équation universelle de pertes en sol à l'aide d'un système d'information géographique dans le bassin versant d'El Hamel (Boussaada) Algérie. *Journal Algérien des Régions Arides*. N° Spécial 201. Pp 131-146
- NASH J.E. (1969) - A course of lectures on parametric or analytical hydrology. Great Lakes Institute. University of Toronto Pr 38: Lecture 12.
- NASH J.E. et SUTCLIFFE J. (1970) - River flow forecasting through conceptual model. Part I: a discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10 pp.282-290
- NICOD J. (1993) - Hydrologie et érosion dans quelques bassins versants de l'Algérie orientale et du Maroc septentrional. *Revue de géomorphologie et aménagement de la Montagne*, Caen, 141 - 153.
- ODURO-AFRIVE K. (1996) - Rainfall erosivity map for Ghana. *Geoderma* 74, 161-166.

- OLIVER J.E. (1980) - Monthly precipitation distribution: a comparative index, *Professional Geographer*, 32, 300–309.
- RAY H. H. et YUSUF M. B. (2011) - The Incidence of Soil Erosion in Zing Local Government Area of Taraba State, Nigeria. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management* Vol. 4 No.2 2011
- REMINI B. (1997). Envasement des retenues de barrages en Algérie: importance, mécanismes et moyen de lutte par la technique du soutirage. Thèse de doctorat d'état. Algiers. Ecole nationale polytechnique d'Alger pp. 342.
- REMINI B. et HALLOUCHE W. (2005). Prévision de l'envasement dans les barrages du Maghreb. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 04, Juin 2005, pp.69-80.
- REMINI B., HALLOUCHE W., ACHOUR B., (2009). L'Algérie : Plus d'un siècle de désenvasement des barrages. L'état des ressources en eau du Maghreb en 2009. UNESCO. p : 123-142.
- REMY-BERZENCOVITCH E. (1959) - Nouvelle méthode de calcul du débit solide des cours d'eau. *Osterreichische Wasser - Wirtschaft*, mars 1952, pp. 59-66 (traduction n°606 EDF/Chatou)
- RENARD K.G. et FREIMUND J.R. (1994) - Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology*. 157, 287–306.
- ROOSE E.,(1980) - Erosion et ruissellement en Afrique de l'ouest, vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. *Travaux et doc. de l'ORSTOM* n° 78.
- ROWNTREE K.M. (1982) - Rainfall erosivity in Kenya some preliminary considerations. In: Thomas, D.B., Senga, W.M. (Eds.), *Proceedings of the Second National Workshop on Soil and Water Conservation in Kenya*. Institute for Development Studies and Faculty of Agriculture, University of Nairobi, Kenya, pp. 1 –19.
- SAADAOU M. (1991) - Érosion et transports solide en Tunisie : impact sur l'infrastructure. In *Colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages* (Alger, décembre 1991). 18-43. Publication de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Alger.
- SAIDI A. (1991) - Erosion spécifique et prévision de l'envasement. In : *Colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages* (Alger, décembre 1991), 2004-226. Publication de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Alger.
- SOGREAH (1967) - Étude générale des aires d'irrigation et d'assainissement agricole en Algérie, dossier, ministère de l'agriculture et de la réforme agraire, Alger.
- TERFOUS A, MEGNOUNIF A, BOUANANI A. (2033). Détermination des dégradations spécifiques dans trois bassins-versants des régions méditerranéennes algériennes. *IAHS Publication 2003(278)* : 366-72.
- TIXERONT J. (1960) - Débit solide des cours d'eau en Algérie et en Tunisie. In : *Assemblée Générale d'Helsinki* 25 juillet-6 août, 26-41. IAHS pub.no.53.

- TOMASSONE R. (1987) - Comment interpréter les résultats d'une régression linéaire ? Publ. De l'Institut Technique de Céréales et des Fourrages. Paris.
- TOUAIBIA B., (2000). Erosion-Transport solide-Envasement des barrages. Cas du bassin versant de l'oued Mina. Thèse de doctorat. INA. Algérie
- TOUAIBIA B., AIDAOUI A., GOMER D. et ACHITE M. (2001) - Quantification et variabilité temporelles de l'écoulement solide en zone semi-aride, de l'Algérie du Nord, *Hydrological Sciences Journal*, 46:1, 41-53, DOI: 10.1080/02626660109492799
- TOUAT S. (1989) Contrôle de la représentativité de l'échantillon des transports solides en suspension. *Rev. Eaux et Sols d'Algérie* 3, 48-54.
- TOUAZI M., BHIRY N., LABORDE J.P. et ACHOUR F. (2011) - Régionalisation des débits moyens mensuels en Algérie du nord. *Revue des sciences de l'eau*, vol. 24, n° 2, 2011, p. 177-191
- WALLING D.E. (1977) - Limitation of the rating curve technique for estimating suspended sediment loads, with particular reference to British rivers - Erosion and slide matter transport in inland water. *Proceedings of the PARIS symposium*, July 1977, IAHS publ. n°122, pp. 34-48
- WISCHMEIR W.H., (1960) - Erosion rates and contributing factors in semi-arid regions. *International seminar on water and soil utilisation*, Brookings, South Dakota, July 18 - August 10, 1968.
- WISCHMEIR W.H. et SMITH D.D. (1978) - *Predicting Rainfall Erosion Losses*. Agric. Hbk 537.U.S.D.A. Sci. and Educ. Admin., Washington, DC.
- ZEKAI S. (2014) - Sediment yield estimation formulations for arid regions. *Arab J Geosci* (2014) 7:1627-1636.
- ZHANG J.C. et SHI Z.-G (2004) - Relation between precipitation in Dabie mountain watershed and sediment transport in Dasha river valley. *Conserving Soil and Water for Society: Sharing Solutions 13th International Soil Conservation Organization Conference - Brisbane*, July 2004.