

ÉVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'INDICE D'ÉROSIVITÉ DE PLUIE « R » DE DEUX GRANDS BASSINS VERSANTS EN ALGÉRIE (CÔTIER ALGEROIS ET ISSER)

A. MAALIOU, L. MOUZAI & M. BOUHADEF

Laboratoire d'Environnement Géotechnique et Hydraulique (LEGHYD)

Faculté de Génie Civil, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Algérie (USTHB)

e-mail : aziz_maaliou@yahoo.fr ; mouzail@yahoo.fr ; mbouhadeb@usthb.dz

Résumé :

Ce travail a trait à une synthèse cartographique de l'indice d'érosivité de pluie de deux grands bassins versants du nord algérien (Côtier algérois et Isser). Cet indice, caractéristique de l'équation universelle des pertes en sol (USLE) établie par Wischmeier, nous donne une information importante sur le phénomène de l'érosion hydrique du sol. En vue de prédire les pertes en sol dues à l'agressivité climatique dans cette région, les valeurs de l'indice d'érosivité de pluie spatialisées, peuvent être extrapolées à partir des cartes iso-érodent élaborées. Cette étude peut ainsi s'avérer intéressante quant à la spatialisation des valeurs de cet indice et permet de faciliter l'étude de l'aléa érosion sur le périmètre examiné dans ce travail.

Abstract:

This work represents a cartographic synthesis of the rainfall erosivity index of two large watersheds of Algerian north (Côtiers algérois and Isser). This characteristic index of the universal soil loss equation (USLE), established by Wischmeier, gives us an important information on the phenomenon of soil water erosion. In order to predict the soil losses due to climatic aggressiveness in this area, the values computed of this index, can be extrapolated starting from iso-erodent map. This study can prove to be interesting when with the plot of the values of this index and makes it possible to facilitate the study of the risk of water erosion on the perimeter aimed by this work.

Mots-clés :

Erosion hydrique, Erosivité des pluies, Précipitation, Carte iso-érodent, Algérie.

1-Introduction

L'érosion des sols se développe lorsque les eaux de pluie, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent sur la parcelle en emportant les particules de terre. Ce refus du sol d'absorber les eaux en excédent apparaît, soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol (ruissellement Hortonien), soit lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée par une nappe (ruissellement par saturation). Ces deux types de ruissellement apparaissent généralement dans des milieux très différents, bien que l'on observe parfois une combinaison des deux (Le Bissonnais et al, 2002). Les facteurs de l'érosion, devant être pris en compte pour étudier les phénomènes érosifs, font maintenant l'objet d'un consensus et regroupent le sol, l'occupation du sol, la topographie et le climat. Dans notre travail, on se contentera d'étudier l'érosivité de pluie qui est le facteur approprié pour la prédiction des pertes en sol (Wischmeier et Smith, 1958). Elle est encore définie comme étant la capacité de celle-ci à causer l'érosion (Hudson, 1971). L'érosivité de pluie peut être mesurée par plusieurs indices qui sont évalués par la relation entre le diamètre des gouttes et l'énergie cinétique d'une pluie considérée. De nombreux travaux ont illustré l'influence du diamètre des gouttes de pluie, que ce soit pluie naturelle ou simulée, sur le détachement des particules du sol. Ces mesures sont difficiles à entreprendre et en raison de cela, elles sont rares. Ceci a motivé les chercheurs à faire des études sur d'autres caractéristiques de la pluie telle que son intensité pendant une durée déterminée rapportée à l'énergie cinétique qui cause le détachement du sol. On peut trouver quelques indices d'érosivité de pluie tel que l'indice R de USLE (Wischmeier, 1958; Wischmeier et Smith, 1978; Brown et Foster, 1987; Renard et Freimund, 1994), l'indice de Fournier IF (Fournier, 1960), l'indice modifié

de Fournier FA utilisé au Maroc (Arnoldus, 1977), l'indice $KE > 25$ pour le sud de l'Afrique (Hudson, 1971) et l'indice AL_m pour le Nigeria (Lal, 1976). La possibilité d'une cartographie de l'aléa érosion est donc fonction, d'une part, de l'existence de données spatialisées décrivant ces facteurs et, d'autre part, de l'existence de modèles opérationnels capables de décrire les processus et d'évaluer l'intensité de l'érosion à partir des données disponibles (Wischmeier et Smith, 1978). Les paramètres de l'érosion sont les différentes informations qui peuvent permettre de caractériser les facteurs de l'érosion en vue d'une modélisation. Ainsi, pour caractériser l'influence du climat, l'énergie cinétique cumulée des pluies serait probablement le paramètre le plus pertinent (Renard et Freimund, 1994), mais il n'est pas disponible à l'échelle régionale. On retiendra donc, dans ce travail les hauteurs de pluie cumulée. L'objectif de cette étude est de proposer une démarche de modélisation opérationnelle pour l'évaluation de l'indice d'érosivité des pluies à travers deux grands bassins versants de l'Algérie. On expose, dans un premier temps, les principes de la modélisation, puis la structure de la base de données spatialisée nécessaire et enfin de terminer par une cartographie de l'index d'érosivité de pluie (R) sous forme de cartes iso-érodent.

2- Région d'étude

Nous avons choisi deux grands bassins versants en Algérie : le côtier algérois et l'Isser codifiés 02 et 09 respectivement, qui représentent un risque érosif assez important, afin d'élaborer une cartographie de l'indice d'érosivité de pluie de cette région qui va servir à localiser les zones qui nécessitent des aménagements anti-érosifs.

En premier lieu, nous présentons le bassin du côtier algérois et ensuite de l'Isser. Notre choix s'est fixé sur ces deux grands bassins versants au vu de la disponibilité des données nécessaires à l'élaboration de ce travail. (voir fig. 1).

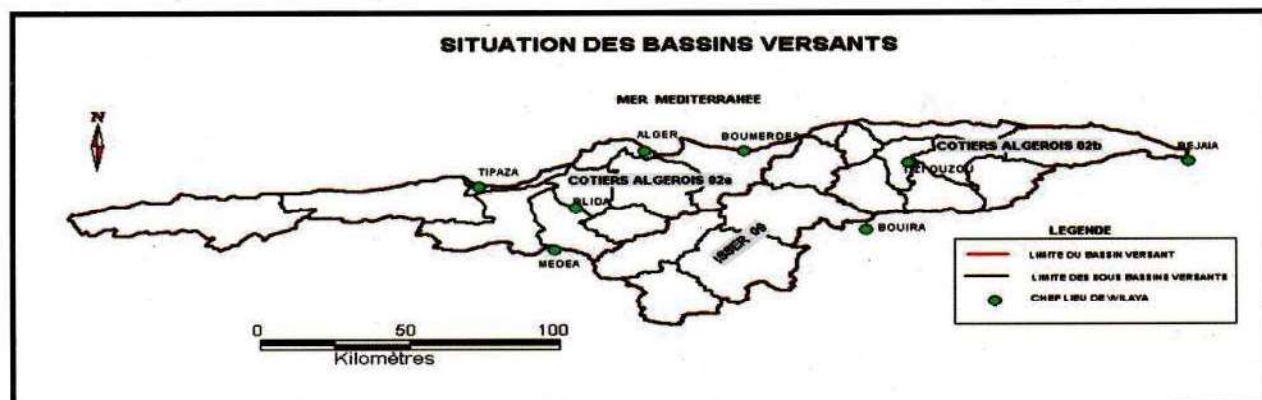


Figure 1 : Situation des bassins versants 02 et 09.

2.1- Le bassin versant 02 « Côtier algérois »

Le bassin Côtier algérois s'étend sur une superficie de 8 471 Km² et englobe, du point de vue géographique, deux bassins versants codifiés (02a) et (02b) selon l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) :

- le Côtier algérois (02a) à l'Ouest ;
- le Côtier algérois (02b) à l'Est.

2.1.1- Bassin Côtier algérois (02a)

Le bassin Côtier algérois (02a), d'une superficie de 4 585 Km², est situé entre le bassin du Dahra à l'Ouest et l'embouchure de l'Isser à l'Est. Au Sud, il est délimité par le Cheliff et l'Isser.

2.1.2- Bassin Côtier algérois (02b)

Situé à 50 Km à l'Est d'Alger, le bassin Côtier algérois (02b), d'une superficie de 3 886 Km², est limité au Nord par la Méditerranée, à l'Est et

étant peu répandu et souvent dégradé, l'érosion est particulièrement active en présence de matériaux lithologiques tendres et un régime hydrique défavorable (pluies irrégulières, ruissellement).

3- Les stations pluviométriques considérées

Après avoir consulté la base de données au niveau de l'agence, on a constaté un manque considérable de données sur la mesure des hauteurs de pluies, sur la majorité des stations pluviométriques se trouvant sur les deux bassins versants étudiés. Le choix du nombre et la situation des stations pluviométriques à considérer dépend de la qualité de l'information disponible. Cela dit, on s'est fixé sur un nombre de 35 stations pluviométriques. La situation des différents postes pluviométriques et les stations hydrométriques choisies sont données sur la fig. 2.

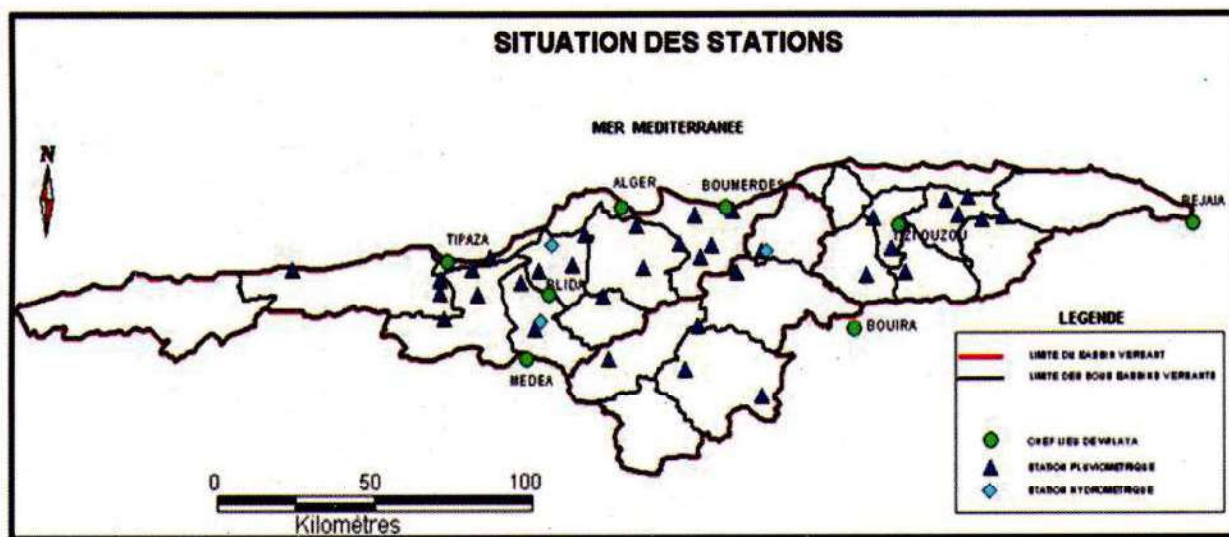


Figure 2 : Situation des stations choisies sur les deux bassins versants 02 et 09.

au Sud par le bassin de la Soummam et par l'Isser à l'Ouest.

2.2- Le bassin versant 09 « Isser »

Le bassin versant de l'Oued Isser occupe une superficie de 3615 km². Il se situe à l'amont du barrage de Béni Amrane et présente une forme allongée sur l'axe sud-ouest (Ain Boucif/Beni Slimane) au nord-est (Mer Méditerranée). L'Oued Isser est principalement contrôlé par deux stations hydrométriques : le pont de Latraille à l'amont et la station de Lakhdaria vers l'aval. Le couvert végétal (bois et broussaille)

3.1- Les stations du bassin versant 02 (Côtier algérois)

Le tableau 1 représente les stations choisies au niveau du bassin versant du Côtier algérois.

3.2- Les stations du bassin versant 09

Concernant le bassin versant de l'Isser, nous avons considéré 06 stations pluviométriques représentées dans le tableau 2.

4- Evaluation et cartographie de l'indice d'érosivité

4.1- Equation universelle des pertes en sol (USLE)

De nombreux essais ont été conduits aux Etats-Unis par différents auteurs, dès 1932, sous la direction du service de la conservation du sol et du ministère de l'agriculture. En 1959, Wischmeier a finalement abouti à « l'universal soil loss equation » due à l'érosion pluviale (Pluies et ruissellement) puis, en 1978, à la Revised Universal Soil Loss Equation. (Musgrave 1947, Kenneth et al., 1994, Berville 2002, Diodato 2005, Joris et al., 2008). Ce modèle empirique a été établi à partir du traitement statistique des résultats de nombreuses mesures en parcelles expérimentales menées sur plus de 20 ans et exprime les pertes en sol comme le produit de différents facteurs selon la formule donnée par l'équation (1) :

$$A = R \times K \times S \times L \times C \times P \quad (1)$$

A est la **perte de sol** due à l'érosion en nappe et constatée par unité de surface pendant une période de temps déterminée. Elle est exprimée en t/ha/an.

R est appelé **agressivité de pluie** ou **indice d'érosivité**. Il correspond aux risques érosifs potentiels d'une parcelle nue de 9 % de pente où se manifeste l'érosion en nappe. Il est exprimé en MJ.mm/ha.H.an.

K caractérise l'érodabilité du sol d'une parcelle nue de référence de 22,13 m de long sur des pentes de 9 % et sur un sol nu, travaillé dans le sens de la pente et qui n'a plus reçu de MO depuis trois ans. (soil erodibility factor). Il est exprimé en t.ha.H / ha.MJ.mm.

S * L est le **facteur pente et déclivité** qui tient compte à la fois de la longueur de la pente (L) et de son inclinaison (S). Il est sans dimension.

C est le **facteur de couverture végétale**. Il exprime le rapport entre l'érosion en nappe sur sol nu et l'érosion observée sous un système de production. Il est sans dimension.

P est le **facteur des pratiques de soutien** (ou pratiques culturales anti-érosives). Il est sans dimension.

Tableau 1 : Les stations pluviométriques considérées du bassin versant 02.

CODE STATION	Nom	CODE STATION	Nom
020306	Meurad Bge	021209	Boufarik pépinière
020307	Djebara	021210	Oued El Alleug
020315	Gouraya (Mairie)	021307	Passerelle
020325	Pont CW7 (Hadjout)	021403	El Arba (1898)
020403	Ain Tagourait -Bérard	021407	Douera
020602	Hamiz (Bge)	021427	Douar Makli (130 m?)
020632	Réghaia Pont RN5	021443	Tuilierie Altairac
020646	Keddara Barrage	021504	Azazga Ecole
020647	Boumerdes	021601	Aghribs Adrar
020902	Yakourène	021603	Fréha
021020	Ameur el Ain	021607	Souk El Haad
021024	Sidi Rached (Helloul)	021801	Bou Assem Mf
021105	La Chiffa RN 4	021804	Draa Ben Khedda
021115	El Hamdania	021903	Boghni

Tableau 2 : Les stations pluviométriques considérées du bassin versant 09.

CODE STATION	Nom
090201	El Omara -Champlain
090302	Beni Slimane Domaines Rabah
090304	Pont de la Traille
090314	Dechmia
090406	Tazerout
090502	Lakhdaria gorges

4.2- Méthodologie et approche de calcul de l'indice d'érosivité de pluie (R)

La majorité des méthodes utilisées pour calculer l'indice (*R*) et le produit de l'énergie cinétique de la pluie et son intensité (*EI*) sont représentées par Wischmeier et Smith (1978) et dans le guide d'utilisateur de *RUSLE* (Renard et al., 1994). Ainsi, la moyenne annuelle de l'indice d'érosivité de pluie (*R*) en (MJ mm ha⁻¹h⁻¹ an⁻¹) est la moyenne des valeurs de *EI* calculées. *R* est exprimé mathématiquement par :

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n [\sum_{k=1}^m (E)_k (I_{30})_k]_j \quad (2)$$

E : énergie cinétique totale de la pluie (MJ ha⁻¹) ;

I₃₀ : intensité horaire maximale de pluie en 30 minutes (mm h⁻¹) ;

j : indice du nombre d'années utilisées pour faire la moyenne ;

k : indice du nombre de pluviophases dans chaque année ;

n : nombre d'années utilisées pour calculer la moyenne ;

m : nombre de pluviophases (périodes d'intensité uniforme) dans chaque année.

En se basant sur cette définition, on voit que l'estimation de l'indice d'érosivité de pluie (*R*) dépend de la qualité et la disponibilité des données pluviométriques. Ainsi, on procèdera suivant ces deux approches.

4.2.1- En présence d'un pluviographe

Plusieurs chercheurs sont parvenus à établir des relations entre l'énergie de la pluie (*E*) et son intensité (*I*), la plus utilisée étant celle donnée par (*Wischmeier et Smith, 1978*) :

$$E = [210, 3 + 89 \log_{10}(I_p)] H_p \quad (3)$$

E : Energie cinétique de la pluviophase en (t-m ha⁻¹ mm⁻¹) ;

I_p : Intensité de la pluviophase en (mm h⁻¹) ;

H_p : Hauteur de la pluviophase en (mm).

L'averse étant la somme de *n* pluviophases, l'énergie cinétique totale de l'averse est donc :

$$E_t = \sum_{i=1}^n [210, 3 + 89 \log_{10}(I_{pi})] H_{pi} \quad (4)$$

Ainsi, l'expression finale de l'indice d'érosivité de Wischmeier (*R*) est :

$$R = k \times \left[\sum_{i=1}^n [210, 3 + 89 \log_{10}(I_{pi})] H_{pi} \right] I_{30\max} \quad (5)$$

R : indice d'érosivité de pluie en (t-m ha⁻¹ an⁻¹) ;

k : facteur de conversion qui dépend du système d'unités (*K*=1/685 en système métrique) ;

I_{30max} : intensité maximale pendant 30 minutes (i.e. deux fois la hauteur de pluie tombée en 30 minutes) en (mm h⁻¹). (*Kenneth et al., 1994*).

4.2.2- En absence d'un pluviographe

- En suivant son travail au Maroc, *Arnoldus* a élaboré une carte iso-érodent dans le système métrique pour l'Afrique centrale et le Moyen Orient (*FAO/UNEP/UNESCO, 1979, Arnoldus, 1980*). La relation suivante a été utilisée pour développer une carte iso-érodent au Maroc (*Arnoldus, 1977*) :

$$R = 0,264(FA)^{1,50} \quad (6)$$

$$FA = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{P} \quad (7)$$

FA : indice de Fournier-Arnoldus ou indice de Fournier modifié ;

P_i : précipitation moyenne mensuelle (mm) ;

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

Les précipitations utilisées pour calculer *FA* sont en (mm) et le facteur *R* en (t-m cm ha⁻¹ h⁻¹ an⁻¹). Un facteur de conversion des unités US à celles métriques de 1.735 a été utilisé pour le Maroc et arrondi à 1.75 pour l'Afrique et le Moyen Orient. Dans les deux cas, ce facteur est différent de 1.702 donné par *Foster et al. (1981)*.

- La modélisation du processus de l'érosion hydrique dans la région du Rif marocain a été effectuée en utilisant l'équation universelle de perte de sol (USLE) dans sa version adaptée par (*Kalman, 1967*) aux conditions marocaines. L'évaluation de l'indice *R* est basée sur la formule de (*Kalman, 1970*) qui tient compte des précipitations moyennes annuelles (*P*) et la moyenne des précipitations maximales en 24 heures pour une période de retour de 20 ans (*P₂₄*) et s'écrit sous la forme : (*Sadiki et al., 2004*).

$$R = 143 \log(P \cdot P_{24}^2 \cdot 10^{-6}) + 89,7 \quad (8)$$

- L'évaluation de l'indice *R* a fait référence à certains auteurs (*Kalman 1967, Arnoldus 1980, Rango et Arnoldus 1987*) qui ont développé des formules alternatives qui n'impliquent que les précipitations mensuelles et annuelles pour déterminer ce facteur *R*. La formule de (*Rango et Arnoldus, 1987*) a été appliquée à douze stations se trouvant dans ou à proximité du bassin versant de l'oued Boussouab et donnée comme suit : (*Ellison, 1945*).

$$\log R = 1,74 \log \sum \frac{P_i^2}{P} + 1,29 \quad (9)$$

P_i représente les précipitations mensuelles et **P** les précipitations annuelles en mm.

(Pour la conversion en unités du système international (MJmm/ha.h.an), la valeur de *R* obtenue est multipliée par 17,02).

- En Espagne, (*Joris et al, 2008*) ont évalué le facteur *R* sur la base des données mensuelles moyennes de précipitations, extraites à partir des données de stations de l'institut national météorologique pour la période 1971-2000 à

partir de l'équation proposée par (Renard et Freimund, 1994) comme (Khatouri, 2003) :

$$R = 0.7397 \times FA^{1.847} \text{ Pour } FA < 55\text{mm} \quad (10a)$$

$$R = 95.77 - 6.081 \times FA + 0.477 \times FA^2 \text{ Pour } FA > 55\text{mm} \quad (10b)$$

FA (mm) est l'indice de Fournier modifié (Arnoldus, 1977), défini dans l'équation (7),
 p_i est la précipitation mensuelle moyenne (mm),
 P est la précipitation moyenne annuelle (mm),
 R est le facteur d'érosivité de précipitations de RUSLE ($\text{MJ mmha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{an}^{-1}$).

4.3- Modèles utilisés

L'indice d'érosivité R de Wischmeier est obtenu à partir de l'énergie cinétique de la pluie qui correspond à une intensité maximale en 30 minutes. Il nous est difficile de l'obtenir selon cette définition de Wischmeier. On s'est alors basé, pour le faire, sur les études réalisées dans les régions où il y a manque de données dans l'enregistrement des précipitations. Pour cela, nous avons pris comme référence les pays se trouvant dans le bassin méditerranéen tel que l'Espagne et le Maroc. Dans ces régions, l'absence de données a poussé les chercheurs à développer des relations pour estimer l'indice d'érosivité de pluie de Wischmeier. L'évaluation de l'indice d'érosivité de pluie R pour les deux bassins versants a été faite en se basant sur les trois formules citées dans les équations : (6), (9) et (10) avec des coefficients de corrélation respectifs de 0.961, 0.967 et 0.954 avec la pluie moyenne interannuelle. Afin de faciliter la compréhension, nous avons choisi la notation indiciaire R_1 , R_2 , et R_3 , de telle manière que chaque indice correspond à la formule utilisée :

$$R_1 = 0.264(FA)^{1.50} \quad (6)$$

$$\log R_2 = 1.74 \log \sum \frac{p_i^2}{P} + 1.29 \quad (9)$$

$$R_3 = 0.7397 \times FA^{1.847} \text{ Pour } FA < 55\text{mm} \quad (10a)$$

$$R_3 = 95.77 - 6.081 \times FA + 0.477 \times FA^2 \text{ Pour } FA > 55\text{mm} \quad (10b)$$

4.4- Résultats de calcul

Les résultats de calcul de l'indice d'érosivité de pluie de Wischmeier (R), de Fournier (IF) et celui

de Fournier Arnoldus (IFA), pour les 35 stations pluviométriques choisies sur la région d'étude, sont donnés sur la fig. 3 et 4 respectivement.

4.5- Comparaison entre les indices d'érosivité de pluie

Dans cette partie, on va présenter sous forme graphique les comparaisons faites entre les valeurs des indices d'érosivité de pluie de Wischmeier calculées par les formules données dans les équations : Eq. (6), Eq. (9) et Eq. (10), ainsi que les valeurs de l'indice de Fournier et celui de Fournier-Arnoldus.

- sur la fig 3, les valeurs des trois indices d'érosivité (R) calculés à partir des trois formules utilisées sont données sous forme d'histogrammes pour mieux apprécier la différence;
- la figure 4 présente la différence entre les valeurs de l'indice de Fournier et celui de Fournier-Arnoldus.

Ainsi, pour chaque station pluviométrique, les différents indices correspondants sont donnés.

4.6- Corrélation entre les différents indices calculés

Les figures 5, 6 et 7, montrent les différentes relations entre l'indice d'érosivité de Wischmeier et celui de Fournier.

4.7- Cartographie de l'indice d'érosivité

Dans cette partie, nous allons récapituler les résultats obtenus des trois formules utilisées sous forme de cartes iso-érodents. Les figures 8, 9 et 10 représentent respectivement les cartes iso-érodent correspondant aux trois indices d'érosivité de Wischmeier calculés précédemment.

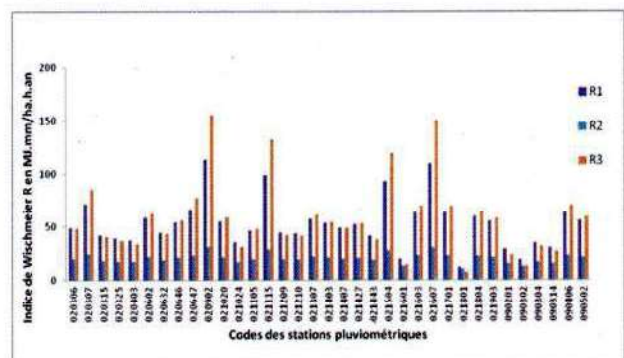


Figure 3 : Comparaison des valeurs de l'indice de Wischmeier donné par les trois formules utilisées.

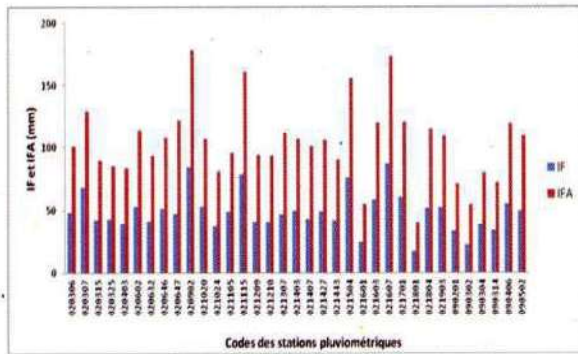


Figure 4 : Comparaison entre l'indice de Fournier (IF) et l'indice de Fournier-Arnoldus

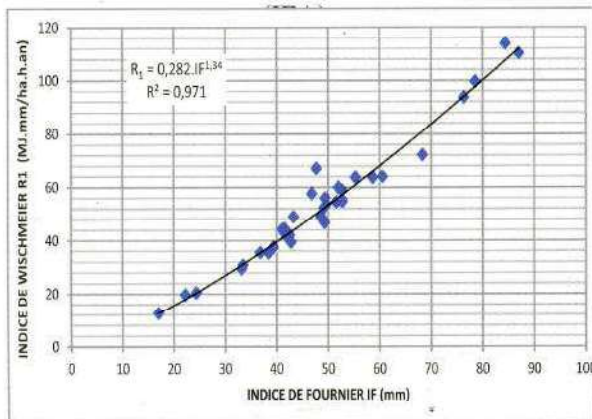


Figure 5 : Relation entre l'indice de Wischmeier R_1 et l'indice de Fournier.

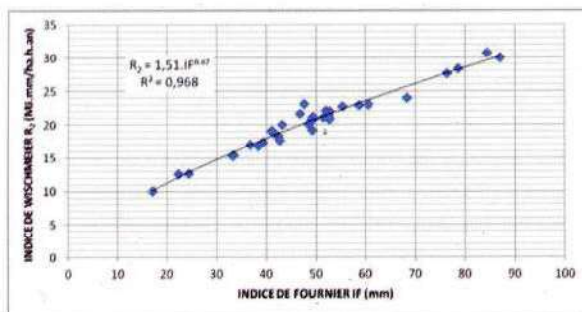


Figure 6 : Relation entre l'indice de Wischmeier R_2 et l'indice de Fournier.

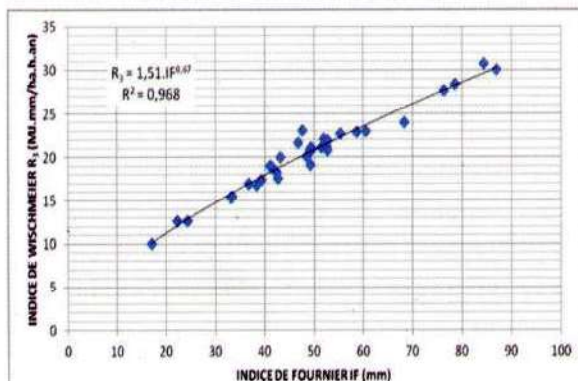


Figure 7 : Relation entre l'indice de Wischmeier R_3 et l'indice de Fournier.

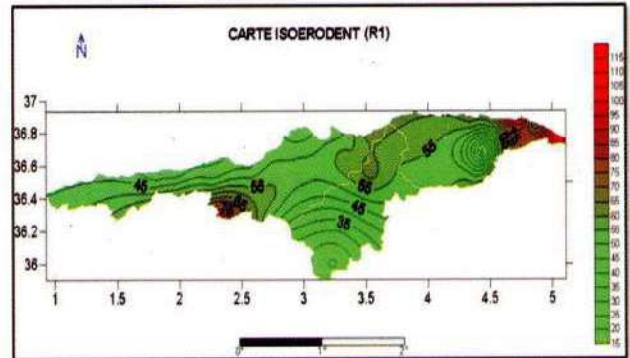


Figure 8 : Carte iso-érodent des bassins versants Isser et Côtiers algérois. (R_1 en MJ.mm/ha.h.an).

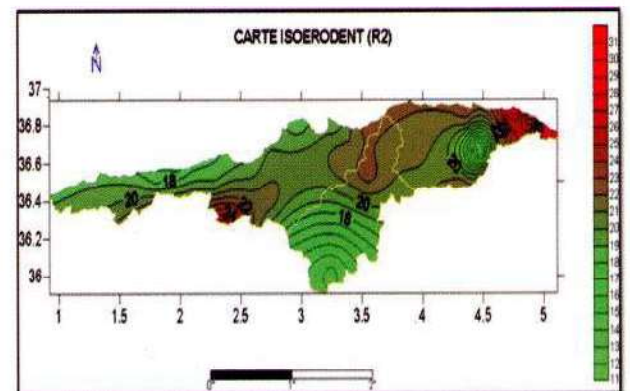


Figure 9 : Carte iso-érodent des bassins versants Isser et Côtiers algérois. (R_2 en MJ.mm/ha.h.an).

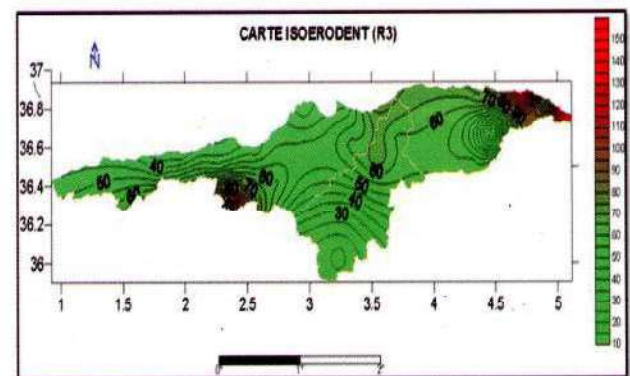


Figure 10 : Carte iso-érodent des bassins versants Isser et Côtiers algérois. (R_3 en MJ.mm/ha.h.an).

5- Interprétation des résultats

5.1- Indice d'érosivité de pluie

5.1.1- Indice d'érosivité de pluie de Wischmeier

On compare, à la fig. 3, les différentes valeurs de l'indice d'érosivité de Wischmeier R_1 , R_2 et R_3 . La figure montre que les valeurs des deux indices

R_1 et R_3 sont relativement proches, c'est-à-dire que les valeurs de l'indice de Wischmeier trouvé par les deux formules (6) et (10) sont semblables ; cela est dû au fait que ces deux dernières prennent en compte l'indice de Fournier-Arnoldus. Par contre, les valeurs de l'indice d'érosivité R_2 , calculé à partir de la relation logarithmique (9), sont bien différentes sauf pour les stations où la pluviométrie est relativement faible, comme c'est le cas des stations 021601 (AGHRIB Adrar), 021801 (BOU ASSEM) et 090302 (BENI SLIMANE) avec une pluviométrie moyenne annuelle sur la période de calcul de 352, 267 et 360 mm respectivement.

5.1.2- Indice de Fournier (IF) et Fournier-Arnoldus (IFA)

On compare, à la fig. 4, les valeurs des deux indices IF (Indice de Fournier) et IFA (Indice de Fournier-Arnoldus) calculés pour chaque station. On remarque que les valeurs de l'indice IFA sont quasiment le double de l'indice IF ; cela est expliqué par le fait que l'indice de Fournier (IF) ne prend en compte que la pluviométrie du mois le plus humide. Par contre, l'indice de Fournier-Arnoldus (IFA) prend en considération la pluviométrie mensuelle de tous les mois de l'année, ce qui rend ses valeurs un peu élevées.

5.2- Cartes iso-érodents

Nous avons élaboré des cartes iso-érodents pour chaque cas de figure, c'est-à-dire pour chaque indice trouvé par l'une des trois relations proposées. Les fig. 8, fig. 9 et fig. 10 représentent les trois cartes iso-érodents de la région d'étude avec les trois indices d'érosivité de pluie de Wischmeier R_1 , R_2 et R_3 . Les trois cartes montrent pratiquement les mêmes points où l'agressivité climatique est prédominante, c'est-à-dire que les cartes indiquent les mêmes endroits où l'indice d'érosivité est important malgré le fait que les valeurs diffèrent. Les trois cartes montrent que les régions où l'érosivité de pluie est relativement importante sont la région de Béjaïa, de Boumerdès et de Médéa.

En comparaison avec les résultats obtenus par Khatouri en 2003 au Maroc, avec des valeurs de l'indice R calculé par la formule (9) allant de 77 à 303 MJ.mm/ha.h.an, ceux de Uson en 2001 en Espagne avec des valeurs de l'indice R allant de 2 à 1400 MJ.mm/ha.h.an et ceux de Diodato en 2004 en Italie avec des valeurs de l'indice R allant de 500 à 2300 MJ.mm/ha.h.an, on trouve que nos résultats donnent des valeurs relativement faibles.

D'autre part, la remarque déjà faite sur la fig. 3, concernant les valeurs des trois indices calculés, est bien illustrée sur les cartes iso-érodent : les deux cartes iso-érodent (R_1) et (R_3) sont pratiquement les mêmes avec des valeurs très proches ; par contre, la carte iso-érodent (R_2) présente des valeurs de l'indice d'érosivité de Wischmeier totalement différentes des deux autres cartes. Cela est dû à la raison invoquée précédemment.

6- Conclusion générale.

La pluie est le facteur essentiel qui cause l'érosion du sol. Son intensité et sa durée ne sont pas les seuls paramètres qui gouvernent le degré d'érosion. D'autres paramètres, que définit bien l'équation universelle de pertes en sol (USLE), le montrent d'une manière assez explicite. Ce travail est une contribution qui nous a permis d'élaborer les cartes iso-érodents des deux grands bassins versants du Côtier algérois et l'Isser qui nous permettront de voir aisément la valeur de l'érosivité de la pluie à travers son indice. La deuxième relation qui a servi pour élaborer la carte iso-érodents R_2 et qui nous a donnée une bonne corrélation avec la pluie moyenne annuelle, peut être donc utilisée pour estimer la valeur de l'indice d'érosivité des pluies sur l'étendue des deux bassins versants étudiés. Pour mieux prévoir et lutter contre ce phénomène qu'est l'érosion hydrique, ce travail pourrait être un outil d'aide à la décision concernant plusieurs domaines, que ce soit l'agriculture, l'urbanisme ou même les ouvrages hydrauliques (construction de barrage par exemple).

Références bibliographiques

- Arnoldus, H. M. J. (1977):** Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco, *FAO Soils Bulletin*, 34, P 39–51.
- Arnoldus H. M. J. (1980):** An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. *Assessment of erosion*. Wiley, UK, P 127–132.
- Berville D. (2002):** Compréhension des phénomènes de transferts particuliers en zone d'élevage, dans un sous bassin versant de l'Oir, en Basse-Normandie, par la modélisation spatiale des paysages et des pratiques agricoles. Cemagref - Département Gestion des Territoires, Unité de recherche Agriculture et Dynamique de l'Espace Rural. 24 P.
- Brown L. C. et Foster G. R. (1987):** Storm erosivity using idealized intensity distributions. *T. ASAE.*, 30, P 379-386.
- Bultot F. et Coppens A. (1985):** Puissance d'une averse. Section Hydrologie, Institut Royal Météorologique de Belgique, Avenue Circulaire 3, B-1180 Bruxelles, Belgique. *Hydrological Sciences -Journal des Sciences Hydrologiques*, 30.
- Diodato N. (2004):** Estimating RUSLE's rainfall factor in the part of Italy with a Mediterranean climate. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(1). P 103-107.
- Diodato N. (2005):** Predicting RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) Monthly Erosivity Index from Readily Available Rainfall Data in Mediterranean Area. *Springer Science; The Environmentalist*, 25, P 63–70.
- Ellison W. D. (1945):** Some effects of raindrops and surface flow on soil erosion and infiltration. *Trans. Amer. Geophys. Union*, Vol. 26, N°. 3.
- Fournier F. (1960):** Climat et Erosion. PUF, Paris.France.
- Grauso S., Diodato N. et Verrubbi V. (2009):** Calibrating a rainfall erosivity assessment model at regional scale in Mediterranean area. *Springer; Environ Geol* 54. P 219–234.
- Hudson N.W. (1971):** Soil conservation. Cornell University Press, Ithaca, New York.
- Joris de Vente. (2008):** Spatially distributed modelling of soil erosion and sediment yield at regional scales in Spain. *Global and planetary change* 60. P 393 - 415.
- Kalman R. (1967):** Le facteur climatique de l'érosion dans le bassin de Sebou. *Projet SEBOU*, 40 p.
- Kenneth G. (1994):** Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology* 157. P 287-306.
- Khatouri M. (2003):** Evaluation du taux d'érosion au niveau du bassin versant de DOUTAMA par le système d'information géographique (SIG). Morocco WPM Watershed Protection and Management Task Order No. 814 under the BIOFOR IQC; Submitted to: U.S. Agency for International Development Submitted by: Chemonics International Inc.
- Lal R. (1976):** Soil erosion on alfisols in Western Nigeria. III – Effects of rainfall characteristics, *Geoderma*, 16, P 389–401.
- Musgrave G.W. (1947):** The quantitative evaluation of factors in water erosion: A First Approximation. *J. Soil and Water Cons.* Vol. 2, N°. 3.
- Rango A. et Arnoldus H.M.J. (1987):** Aménagement des bassins versants. *Cahiers techniques de la FAO*.
- Renard K.G. (1997):** Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA agricultural research service, *Agriculture Handbook* 703, 384 p.

Sadiki A. (2004): Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Equation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc) : cas du bassin versant de l'oued BOUSSOUAB.

U. S. Department of Agriculture. (1961): A universal equation for predicting rainfall-erosion losses. U. S. Agr. Res. Service, Special Report, P 22-26.

Uso'n A. et Ramos. M.C. (2001): An improved rainfall erosivity index obtained from experimental interrill soil losses in soils with a Mediterranean climate. Department of Environment and Soil Science, University of Lleida (Spain). Catena Vol.43. P 293-305.

Whischmeier W. H. et Smith D. D. (1958): rainfall energy and its relationship to soil loss. Trans. Am. Geophys. Union 39, P 285-291.

Whischmeier W. H. et Smith D. D. (1978): Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. U S Department of Agriculture, Agriculture Handbook, vol. 537. Science and Education Administration. USDA, Washington, DC, 58 p.

Yves Le Bissonnais (2002): Maitrise de l'érosion hydrique des sols cultivés. Programme GESSOL, INRA, Science du sol, ORLEANS. France.