Geo-Eco-Trop., 2016, 40, 4: 287-296

Utilisation de l'Indice d'Arnoldus pour cartographier les risques d'érosivité des pluies dans le Tell oranais (Algérie)

Using the Arnoldus Indice to map the risks of rainfall Erosivity in the Tell Oran (Algeria)

MAAMAR-KOUADRI K. [1-2], KOURI L. [2] & CHEBOUTI Y. [1]

Abstract : The Tell Oran is exposed to a major problem that is water erosion, resulting from several factors such as erratic rainfall in stormy character, deforestation, relief, use and soil type. These soils are often increasingly degraded and sediments derived from the erosion contribute to siltation of dams in the region. Understanding the risk of erosion requires knowledge of the rain factor that influence. To determine the rainfall erosivity in time and space, we have chosen to index Arnoldus. The values of the index Arnoldus obtained vary between 24 at El-Aricha station to 50 at the Mostaganem station. The rainfall erosivity map according Arnoldus index shows that the Tell Oran is covered by three classes of rainfall erosivity: High [40-50] of coastline, medium and large [30-40] in the center and low [20-30] to the southwest. In our region, spatially, the erosivity of rainfall increases from south to north and from west to east, while temporally, erosivity is high during the fall season and winter. The development of the erosivity of rainfall enabled map to identify areas susceptible to water erosion.

Key words: Tell Oran, rainfall erosivity, sediments, map, silting risk

Résumé : Le Tell oranais est exposé à un problème majeur qui est l'érosion hydrique, qui résulte de plusieurs facteurs tels que l'irrégularité des pluies à caractère orageux, de la déforestation, du relief, de l'usage et du type de sol. Ces sols sont souvent de plus en plus dégradés et les sédiments issus de cette érosion contribuent à l'envasement des barrages de la région. La compréhension du risque d'érosion nécessite la connaissance du facteur pluie qui l'influence. Pour déterminer l'érosivité des pluies dans le temps et dans l'espace, nous avons choisi l'indice d'Arnoldus. Les valeurs de l'indice d'Arnoldus obtenues varient entre 24 pour la station d'El-Aricha et 50 pour la station de Mostaganem. La carte d'érosivité des pluies selon l'Indice d'Arnoldus, montre que le Tell oranais est couvert par trois classes d'érosivité des pluies: Elevée [40-50] sur le littoral, moyenne et importante [30-40] au centre et faible [20-30] au sud-ouest. Dans notre région, sur le plan spatial, l'érosivité des pluies croît du sud au nord et de l'ouest vers l'est, alors que sur le plan temporel, l'érosivité est élevée durant les saisons d'automne et d'hiver. L'élaboration de la carte d'érosivité des pluies a permis de déterminer les zones sensibles à l'érosion hydrique.

Mots-clés**:** Tell oranais, érosivité des pluies, dégradation, envasement, risque.

INTRODUCTION

L'érosivité des pluies est d'une importance majeure parmi les facteurs naturels qui affectent l'érosion des sols. Les gouttes de pluie peuvent briser les agrégats et disperser leurs particules constitutives. Ces particules se produisent à la surface du sol, lorsque la force de ruissellement devient supérieure à la résistance au détachement du sol.
Les données nécessaires pour étudier l'agressivité des pluies est le calcul de facteur R universel RUSLE, mais nécessite la connaissance du produit de deux facteurs, à savoir: l'énergie cinétique globale des gouttes de pluie et l'intensité maximale de pluie observée en 30 minutes.

[1] Institut National de la Recherche Forestière, BP.60 El Harrach Alger, Algérie: maamar_kader@yahoo.fr et CHyahia56@yahoo.fr
[2] Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, Algérie: kourilakhdar@yahoo.fr

Cet indice a été redéfini par la suite, par plusieurs chercheurs, dans différentes régions du globe, qui ont développé après plusieurs années de recherches de nombreuses équations alternatives et d'autres indices empiriques permettant d'estimer le facteur R. Ces indices sont à appliquer lorsqu'on ne dispose pas d'un des paramètres nécessaires pour le calcul de l'indice universel.

D'après ROOSE *et al*., (2012), l'érosion et la dégradation des sols au Maghreb font l'objet de nombreuses études, qui révèlent la rapidité et la gravité de cette évolution du fait des conditions climatiques défavorables marquées par des contrastes dans les saisons avec des pluies torrentielles, une forte vulnérabilité des terrains marneux, auxquelles s'ajoutent des pressions liées à l'utilisation excessive inadaptée des terres agricoles accompagnée par une déforestation et un surpâturage intense sur un relief accidenté.

L'arrachement des sédiments par le ravinement dans les bassins versant des régions semi arides est la cause principale de la sédimentation des retenues collinaires. Ce phénomène est très actif sur des sols formés par des affleurements de marnes et d'argilites en de nombreux pays autour de la Méditerranée (Poesen & HOOKE, 1997). Des pondérations calculées à partir de régions présentant des climats analogues et des cultures voisines (Tunisie, Algérie et Maroc) montrent des quantités importantes des pertes en terre annuelles (Collinet et Zante, 2005). Ces sédiments sont transportés par les ruissellements vers les barrages avec une perte d'un volume de stockage d'eau annuel de 32 millions de m^3 sur un volume total de 5,2 milliards de m^3 des 114 barrages en exploitation à l'échelle de l'Algérie (MEKERTA *et al*., 2008).

Depuis les années 1940, divers moyens techniques de lutte contre le phénomène d'érosion hydrique ont été utilisés en Algérie à savoir : les travaux de défense et restauration des sols (DRS), les techniques inspirées de la conservation des sols aux Etats-Unis d'Amérique depuis 1930. Par la suite, ces efforts ont été abandonnés dans les années 1970. Parmi, les travaux qui ont été réalisés pour étudier le phénomène érosif dans le nord-ouest algérien, on cite ceux de :

TOUAIBIA *et al.* (2000) qui ont utilisé l'équation universelle des pertes en sols de Wischmeïer et Smith (1978) pour déterminer les pertes en sol dans une agriculture d'autosubsistance et Meddi (2013) a montré l'impact de l'érosivité des pluies sur la variabilité spatiale et de concentration temporelle de douze bassins versants dans le centre et l'ouest algérien, ajoutant à l'intégrité de plusieurs facteurs tels que le climat, de la végétation, de la topographie, de la nature des sols et de l'impact négatif des activités humaines.

MEDDI *et al*. (2014), mentionnent que les plaines nord-ouest et le centre du pays ont été particulièrement touchés par la sécheresse, résultant en une diminution significative des rendements et des ressources en eau avec de graves dommages aux cultures. Par l'utilisation de deux indices, l'indice de sécheresse de Palmer de gravité et l'indice standardisé de précipitation pour évaluer la gravité de la sécheresse.

Pour réussir un aménagement de bassins versants, il faut impérativement spatialiser les risques et modéliser les flux liquides et solides auxquels ils sont soumis. La télédétection, la simulation de pluies, les GIS sont des techniques modernes ou les pertes en terre à chaque niveau doivent être quantifiées (ROOSE *et al*., 2012).

Une formule a été sélectionnée et utilisée pour le calcul de l'indice d'érosivité des pluies de plusieurs stations afin de les utiliser comme base des données. A partir de ces dernières, un programme d'appui technique (Surfer®) a permis de convertir de façon rapide ces résultats en carte d'érosivité des pluies, afin de spatialiser de manière qualitative et quantitative l'érosion hydrique et de localiser des zones d'intervention prioritaires.

ZONE D'ETUDE

Le secteur étudié se trouve au nord-ouest de l'Algérie, il est limité au nord par la Mer Méditerranéenne, à l'est par les Monts du Dahra et le massif de l'Ouarsenis, au sud par la limite septentrionale des Hauts plateaux, à l'ouest par la frontière Algéro-Marocaine et s'étend sur une superficie de 42.490 km^2. Ce secteur est caractérisé par des reliefs accidentés (zones montagneuses) variant de 300 à 1600 m d'altitude (Figure 1).

L'analyse des classes de pentes de la région d'étude dérivée du modèle numérique de terrain (MNT) indique que les pentes sont généralement moyennes à élevées. Les zones à faible pente 0-12 % couvrent une superficie de 3773,11 km^2 soit 8,88 % de la zone étudiée, alors que celle des moyennes

pentes de 12-21 % occupent une superficie de 7550,47 km^2 soit 17,77 %. Alors que les pentes élevées qui sont comprises entre 21-25 % occupent une surface de 30210,39 km^2 soit 71,10 % du territoire, alors que les pentes qui dépassent 25 % couvrent seulement 956,03 km^2 soit 2,25 %. 73,35 % de ces terres sont situées dans des zones supérieures à 21 %, qui sont exposées à l'érosion hydrique.

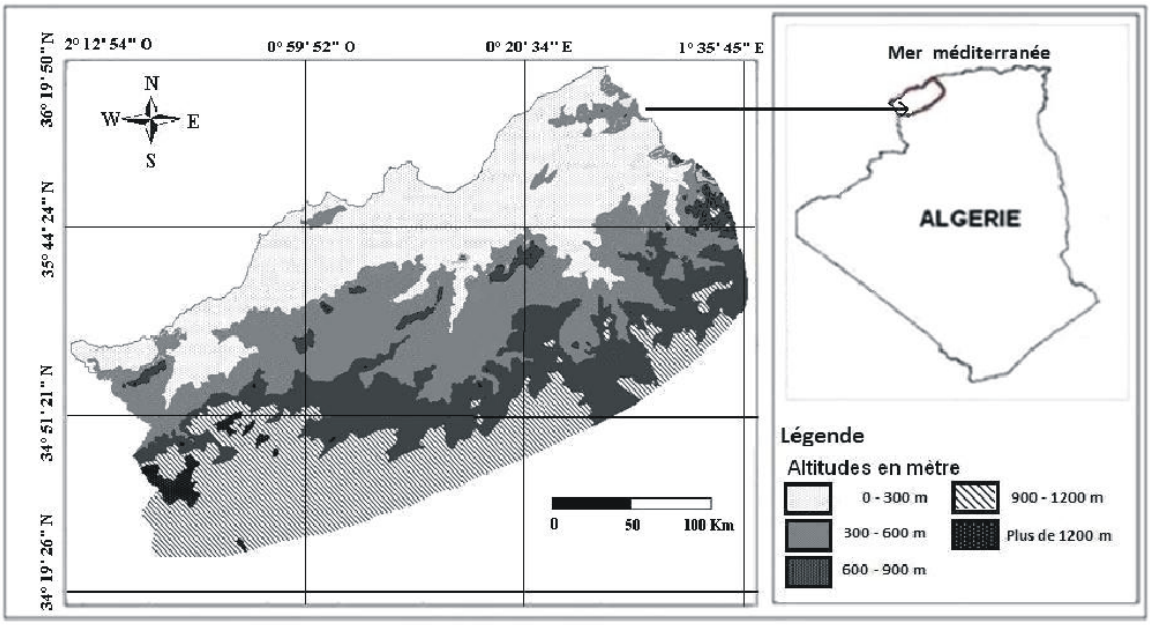

Figure 1: Localisation géographique du Tell Oranais

A cela, s'ajoute d'autres facteurs comme le climat qui est caractérisé par des sécheresses répétées et de précipitations irrégulières dans le temps et l'espace. En conséquence, cette sécheresse cause des déficits de rendements des cultures pluviales jusqu'à moins 50 % pendant la période allant de 2000 à 2016, la pression anthropique, la réduction du couvert végétal et l'activité agricole réduite dans les zones côtières liées à la salinisation des eaux souterraines (MEDDI *et al*., 2014). L'utilisation des engrais chimiques dans l'agriculture, favorise la concentration de nitrates dans la nappe phréatique (BAHRI & SAIBI, 2010).

Le substrat est sensible à l'agressivité des pluies, car il est issu d'affleurements de schistes marneux du Crétacé supérieur, des marnes éocènes et miocènes, du calcaire tendre tel que le calcaire à lithothamnium et des sables pliocènes ou quaternaires (AUBERT & MONJAUZE, 1946). L'activité de l'agressivité des pluies est liée aux propriétés du sol et aux états de surface du sol. Selon MORSLI *et al*. (2012), L'effet du ruissellement est minime sur un sol sec et rugueux alors que sur un sol humide ayant un état de surface saturé et surtout quand l'état de surface est dégradé par la battance des gouttes de pluie, le risque de ruissellement augmente (dégradation de structure…etc). Le ruissellement peut apparaître pour des faibles valeurs (à partir de 10 mm de pluie) sur les situations dégradées et à partir de 30 mm lorsque le sol est bien couvert (forêt, matorral, culture paillée, … etc).

Le climat est de type méditerranéen, caractérisé par une saison sèche qui dure de 5 à 7 mois avec une pluviométrie moyenne annuelle qui varie entre 231mm pour El Aricha et 411mm pour Mostaganem.

Selon le climagramme d'Emberger, les stations d'étude se trouvent dans l'étage bioclimatique aride à hiver tempéré et dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver froid à chaud.

Les principaux cours d'eau du Tell oranais sont le Chéliff, la Tafna, l'Isser, le rio Salado, la Macta où se joignent le Sig et l'Habra ou l'oued El-Hammam, qui a son embouchure au fond de la baie d'Arzew : ces oueds traversent le Tell oranais causant le départ de sédiments après les fortes précipitations (Figure 2).

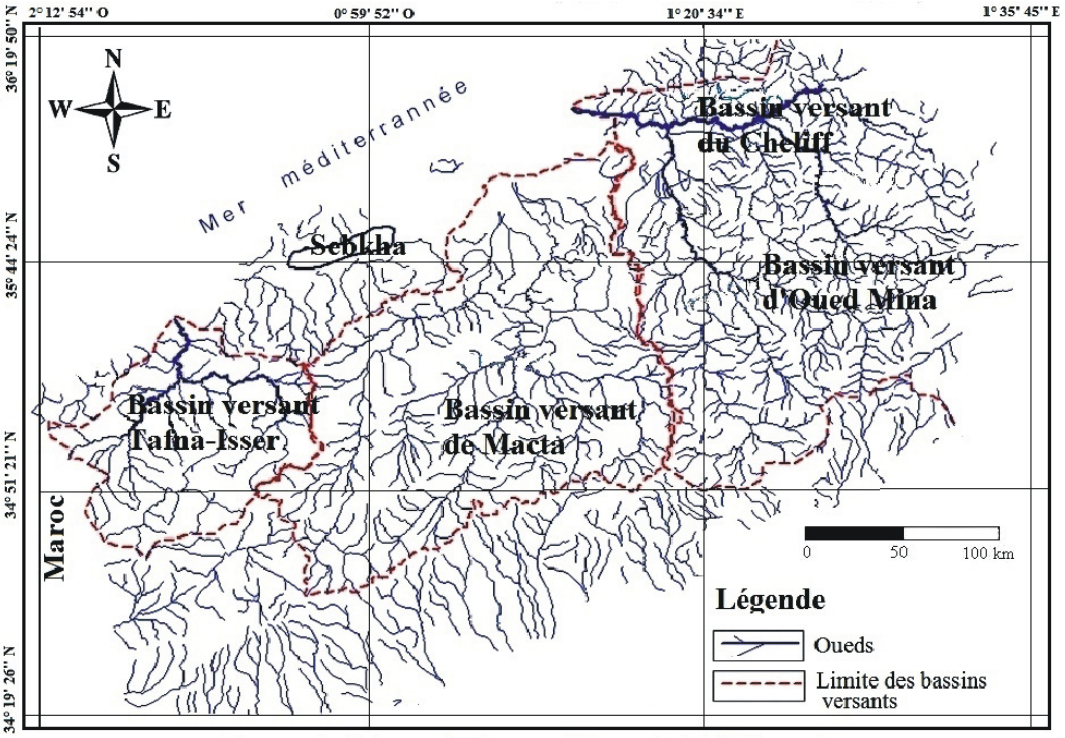

Figure 2: Réseau hydrographique du Tell Oranais

METHODOLOGIE

Les auteurs qui ont entrepris l'évaluation de l'érosivité des pluies à la base de formules, les plus connues étant celle de FOURNIER (1960), par la suite celle de ARNOLDUS (1980) et enfin celle de la formule alternative de RANGO-ARNOLDUS (1987), pour déterminer ce facteur d'agressivité de pluies R, qui n'implique que les précipitations mensuelles et annuelles.

Cependant, l'indice d'érosivité des pluies R de WISCHMEIER & SMITH (1978), calculé à partir de l'énergie cinétique des gouttes de pluie durant une intensité maximale de 30 minutes, présente une difficulté majeure, car les stations de notre zone d'étude ne disposent pas d'un enregistreur des précipitations maximales pour la période spécifique des 30 minutes. Alors que le climat de notre zone est de type méditerranéen connu pour ces pluies agressives torrentielles de courte durée.

Dans cette étude, on a opté pour l'indice d'érosivité des pluies selon ARNOLDUS (1980). Le choix a été fait sur ce dernier pour les raisons suivantes:

Les différents indices d'érosivité des pluies montre que les valeurs de l'indice d'Arnoldus sont complètement différentes par rapport à l'indice de Fournier, cela s'explique du fait que : l'indice de Fournier ne prend en compte uniquement la pluviométrie du mois le plus arrosé. Par contre, l'indice d'Arnoldus prend en considération la pluviométrie mensuelle de tous les mois de l'année, ainsi les valeurs obtenues par cet indice sont très proches de la réalité de notre région. D'après l'étude de Meddi (2013) a constaté que l'indice de Arnoldus (1980) explique une grande partie de la dégradation spécifique par rapport à l'indice de F. Fournier (1960) dans le centre et l'ouest algérien.

La comparaison entre les valeurs de l'indice d'érosivité d'Arnoldus (1980) et de Rango-Arnoldus (1987) montre que les valeurs sont relativement proches et montre une même tendance avec une érosivité des pluies élevée au niveau du littoral et diminue vers le sud du Tell oranais.

L'utilisation de l'indice de Rango-Arnoldus (1987) reste très ponctuelle, peu d'auteurs l'ont adopté au Maroc, alors que l'indice d'Arnoldus (1980) s'adapte d'une manière assez bonne avec le climat méditerranéen et même pour l'Afrique. Plusieurs auteurs ont opté pour cet indice le plus approprié pour notre région d'étude comme dans plusieurs pays comme : (APAYDIN *et al*, 2006) en Turquie, (KOULI *et al*., 2008) en Grèce, (ELBOUQDAOUI *et al.*, 2005) et (EL GAROUANI *et al*., 2008) au Maroc, (KOURI, 1993) et (MEDDI, 2013) en l'Algérie et (ANDOH *et al*, 2012) au Ghana.

ROOSE (1994) a tenté d'estimer l'indice d'agressivité des pluies de Wischmeier et Smith (1978) à partir de l'indice d'Arnoldus (1980) et il a trouvé une bonne corrélation régionale entre ces deux indices.

D'après VRIELING *et al*. (2010), l'étude appliquée pour la cartographie de l'érosivité des pluies en l'Afrique, a montré que l'indice d'Arnoldus (1980) atteint une corrélation beaucoup plus forte (R = 0,84) avec l'indice R de Weschmeier et Smith (1978) pour une période moyenne de 1998-2008.

La méthodologie suivie au cours de cette étude s'appuie sur la collecte et le traitement de données pluviométriques, les données de précipitations mensuelles simulées sont fournies par l'office national de la météorologie (ONM) sur une période allant de 1980 à 2010. Le choix des 11 stations météorologiques de référence a été fait de telle façon à couvrir les différents étages bioclimatiques semi-aride et aride et selon la disponibilité des données pluviométriques.

Afin de déterminer de la répartition géographique des classes d'érosivité dans notre région d'étude, le logiciel Surfer®, à permis de produire la carte d'érosivité des pluies dans le Tell oranais.
L'Indice d'érosivite des pluies a été calculé en se fondant sur la formule de Arnoldus (1980) qui tient compte du rapport entre la somme carrée de la pluviosité moyenne mensuelle de chaque mois de l'année à la pluviosité moyenne annuelle.

$$IA = \sum_{i=1}^{12} (Pi^2 / P)$$

où: - Pi: Pluie moyenne de chaque mois (mm) et P: Pluviosité moyenne annuelle (mm).

Par la suite, deux cartes ont été élaborées, la carte de répartition de la pluie moyenne annuelle et la carte de répartition de l'érosivité des pluies selon indice de Arnoldus (1980).

La représentation de l'érosivité est faite sur la base de l'interpolation des indices d'érosivité calculés à partir des précipitations pour chaque station, nous avons traduit les résultats obtenus sous forme d'une carte des risques d'érosivité des pluies.

Les cartes élaborées sont la carte pluviométrique et la carte d'érosivité des pluies selon l'indice d'Arnoldus (1980)

RESULTATS

Les valeurs de l'indice d'érosivité les plus élevés correspondent aux pluviométries élevées. Les stations du littoral sont caractérisées par une forte précipitation reflétant une forte valeur de l'indice d'Arnoldus (Maamar-Kouadri, 2012).

Les valeurs de l'érosivité de pluies obtenues sont mentionnées dans le Tableau 1 pour les onze (11) stations pluviométriques du Tell oranais prises en considération. L'indice d'Arnoldus varie de 23,95 pour la station d'El Aricha à 50,23 pour la station de Mostaganem. Selon les classes de cet indice proposées dans le CEC (1992) et qui sont résumées dans le Tableau 2, le risque d'érosivité des pluies est très faible (IA < 60) pour l'ensemble des stations du Tell oranais.

Tableau 1: Valeurs obtenues de l'érosivité des pluies de l'indice d'Arnoldus

Stations	Altitudes (m)	Pluviométrie (mm)	Indice d'Arnoldus
Mostaganem	137	410,08	50,23
Ghazaouet	4	357,03	44,38
Oran	90	320,4	39,05
Tlemcen	246	345,4	39,26
Relizane	145	231,2	25,56
Maghnia	427	285,4	31,58
Mascara	474	296,0	33,45
Sidi Bel Abbes	475	328,9	36,36
Saida	750	349,7	33,86
Tiaret	977	354,3	35,56
El Aricha	1250	231,3	23,95

Tableau 2: Classes de l'indice d'Arnoldus (CEC, 1992)

Classes	Description	Indice d'Arnoldus (1980)
1	Très faible	< 60
2	Faible	60 - 90
3	Moyenne	90 - 120
4	Elevée	120 - 160
5	Très élevée	> 160

Coefficient de détermination entre l'indice d'Arnoldus (IA) et celui de Fournier (IF)

La régression entre l'indice d'Arnoldus et l'indice de Fournier donne un coefficient de corrélation linéaire significatif au seuil de 5 % (R^2 = 0,732). L'équation de régression s'écrit alors comme suit: IA= 1,6925 IF + 20,633.

Le nuage de points n'a pas la forme de la droite de régression, il existe une liaison forte entre l'indice d'Arnoldus et l'indice de Fournier (R^2 = 0,732), (Figure 3).

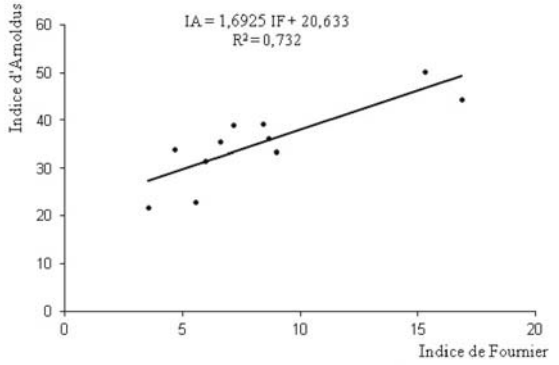

Figure 3: Coefficient de détermination entre l'indice d'Arnoldus (IA) et celui de Fournier (IF)

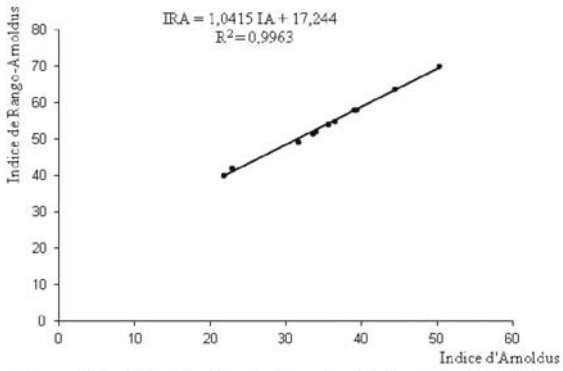

Figure 4: Coefficient de détermination entre l'indice d'Arnoldus (IA) et de Rango-Arnoldus (IRA)

Coefficient de détermination entre l'indice d'Arnoldus (IA) et Rango-Arnoldus (IRA)

La Figure 4 montre que tous les points (valeurs de l'indice calculé) sont très proches de la droite de régression (relation linéaire). La corrélation entre l'Indice d'Arnoldus et de Rango-Arnoldus est hautement significative au seuil de 5 % et 1 % (R^2 = 0,9963), cela signifie qu'il existe un lien très fort entre deux indices, impliquant une relation fonctionnelle de type linéaire croissante. L'équation de régression s'écrit alors comme suit: IRA= 1,0415 IA + 17,244.

Plus les valeurs de l'indice d'érosivité d'Arnoldus augmentent, plus les valeurs de l'indice d'érosivité des pluies de Rango-Arnoldus s'élèvent.

Carte de répartition des pluies

La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 200 mm et 420 mm (Figure 5). Elle diminue à mesure que l'on s'éloigne du littoral, avec une classe dominante de [300-350] qui couvre une superficie de 24.446,96 km^2 soit 57,53 %, contre une très faible classe de [400-450] qui ne représente que 0,00028 %. Cependant, on remarque une tendance croissante des pluies du sud vers le nord et de l'ouest vers l'est.

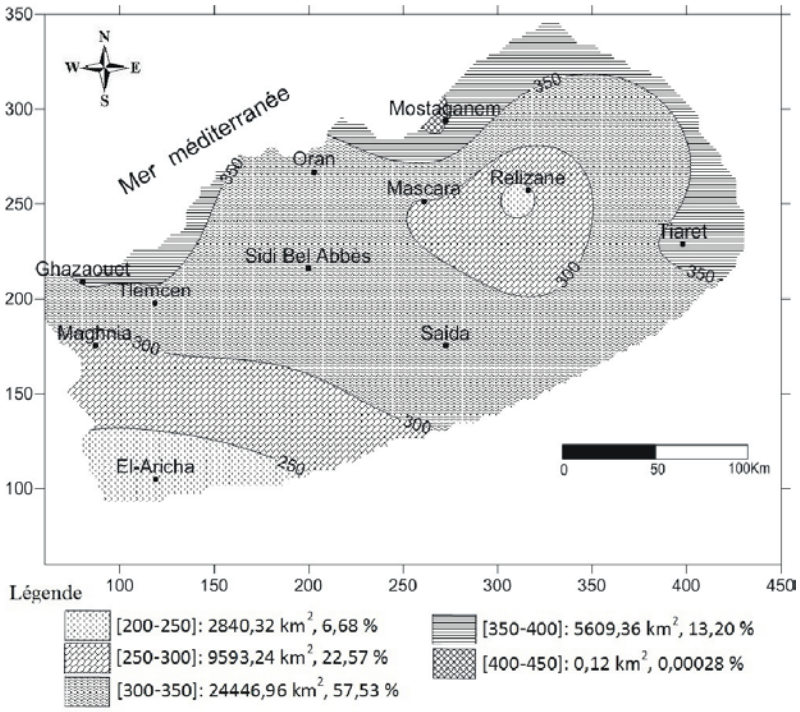

Figure 5: Carte de répartition de la pluviosité dans le Tell Oranais

Carte d'érosivite des pluies selon l'indice d'Arnoldus

La carte de répartition spatiale de l'Indice d'Arnoldus (Figure 6), montre que le Tell oranais est couvert par trois classes. Les stations du centre de notre région sont caractérisées par une érosivité moyenne de la plus importante classe [30-40] sur une superficie de 24.736,21 km^2, soit 58,22 % du Tell oranais, suivie par les stations du sud-ouest qui enregistrent une faible érosivité de la classe [20-30] sur une superficie de 11931,20 km^2 soit 28,08 %. Enfin, les stations du littoral qui enregistrent une érosivité des pluies relativement élevée dans la tranche de classe [40-50] sur une superficie de 5.822,59 km^2 soit 13,70 %. L'indice d'Arnoldus confirme une érosivité croissante du sud au nord, L'érosivité des pluies la plus forte se situe au niveau du littoral.

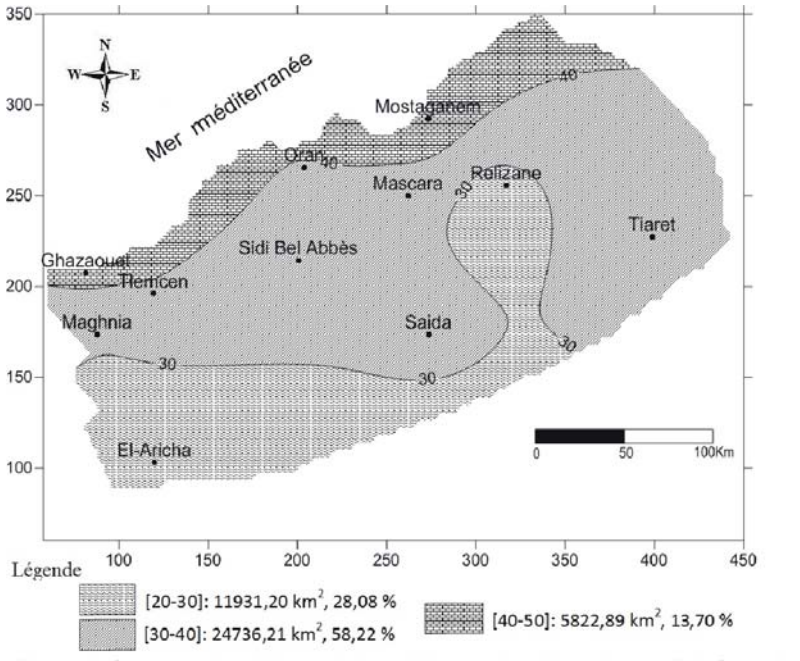

Figure 6: Carte de répartition de l'érosivité selon Arnoldus dans le Tell Oranais

DISCUSSIONS

Les valeurs d'Arnoldus calculées sont semblables à celles obtenues par MAZOUR (1992) en utilisant l'indice d'agressivité des pluies dans le bassin versant de l'isser (Tlemcen) pour la période de 1989 à 1991, dans des parcelles expérimentales d'érosion, ou il mentionne un indice de 39,5 pour la station de Madjoudj pour une pluviométrie moyenne annuelle de 386 mm et un indice de 80 pour celle de Gourari, avec une pluviométrie moyenne annuelle de 555 mm. Ces résultats confirment ceux obtenus par MORSLI *et al*. (2004) avec un indice d'agressivité des pluies qui oscille entre 30 et 100 en moyenne dans le nord-ouest algérien.

MAALIOU (2010) note des résultats semblables aux résultats obtenus au niveau de 35 stations aux bassins versants de l'Isser et dans le littoral est algérois, qui varient de 47,16 pour la station de la Chiffa et 113,40 pour la station de Yakourène pour une tranche pluviométrique qui varie de 525,74 mm à 1061 mm durant la période de 1970 à 2005. Ces résultats mettent en évidence une augmentation de l'érosivité des pluies de l'ouest vers l'est de l'Algérie. NAHAL (1984), confirme également que le risque d'érosivité des pluies dans le Tell oranais est faible et augmente du sud vers le nord et de l'ouest vers l'est.

Malgré les faibles valeurs des indices d'érosivité des pluies (I □ 100), l'activité de l'érosion est toujours intense dans notre région comme en témoignent les résultats de MAAMAR-KOUADRI (2012) où la proportion de limon est élevée (texture limoneuse) dans quelques zones du Tell oranais. VITA-FINZI (1969) a confirmé que, dans le bassin méditerranéen, les vallées présentent des terrasses de remblaiement limoneuses qui témoignent de la dégradation des sols et de l'érosion hydrique.

Au Maroc, au niveau du bassin versant d'Oued Srou, ELBOUQDAOUI *et al.* (2005), mentionnent des résultats équivalents aux nôtres, sur un relief accidenté et des sols variables non résistants du fait d'une faible couverture végétale. Avec une pluviométrie moyenne annuelle qui varie entre 337,2 mm pour la station de Tabouazant et 760,2 mm pour la station de Quiouane, ils ont trouvé deux classes d'érosivité des pluies dans un intervalle de 23,9 % de classe faible à 76,1 % de classe modérée.

De même au Maroc, TRIBAK *et al.* (2009), dans le bassin versant de l'oued Tlata, montrent que l'indice d'érosivité d'Arnoldus est de 56.3 pour une pluviométrie moyenne annuelle de 390 mm durant la période allant de 1977 à 1994.

Les valeurs obtenues de l'indice d'érosivité des pluies pour le Tell oranais sont conformes aux résultats déjà trouvés en Algérie et au Maroc pour un même intervalle pluviométrique, mais elles sont modérées par rapport à d'autres régions du globe.

Au nord-ouest de la Turquie, DEMIRCI & KARABURUN (2011) ont utilisé la formule d'Arnoldus pour déterminer l'érosivité des pluies dans le bassin versant de Buyukcekmece, d'une superficie de 63.000 ha caractérisé par des sols dégradés. La valeur moyenne de l'indice d'érosivité des pluies est de 123,2 avec une pluviométrie moyenne de 650 mm pour une période de 32 ans.

CONCLUSION

L'utilisation de l'indice d'Arnoldus pour l'évaluation de l'érosivité des pluies et la prédiction de l'érosion des sols, nous amène aux conclusions suivantes :

Les valeurs de l'indice d'érosivité des pluies les plus élevées sont enregistrés au niveau des stations du littoral du Tell oranais, caractérisées par de fortes précipitations. Plus de la moitié (57 %) de la superficie totale du Tell oranais est exposée à une pluviométrie de 300 à 350 mm et une érosivité de pluies de la classe moyenne [30-40], localisée dans le centre de cette région.

La distribution spatiale de l'indice d'érosivité à l'échelle du Tell oranais est d'un grand intérêt, car les valeurs obtenues indiquent les stations qui présentent des risques d'érosivité faibles à moyens. On observe une forte érosivité dans le littoral, cette érosivité augmente généralement du sud vers le nord et de l'ouest vers l'est.

De même que la variabilité spatiale de l'érosivité des pluies, permet de classer les zones vulnérables au détachement des particules du sol par l'érosivité des pluies et qui constituent par la suite la source de départ des sédiments afin de déterminer les zones l'intervention prioritaire en matière de conservation du milieu caractérisé par une forte pente.

La carte de sensibilité selon l'indice d'Arnoldus oriente sur la tendance évolutive du milieu et sur les choix des techniques et des moyens devant être mis en œuvre pour stabiliser la situation et permet également d'approfondir notre compréhension en matière de transport de sédiments.

Il faut noter que malgré des valeurs d'indice d'érosivité inférieur à 100 dans le Tell oranais, l'érosion continue à prendre des proportions considérables comme en témoignent les versants ravinés, des paysages très dégradés et la répétition des inondations. Cette situation semble indiquer que la forte vulnérabilité des terrains (roches tendres, sols fragiles peu profonds et pentes fortes), l'alternance de périodes sèches et humides et l'impact défavorable des activités humaines (déforestation, incendies, mauvaises pratiques culturales…etc.) favorisent l'effet de l'érosivité des pluies sur le détachement et le transport des particules du sol vers les retenues.

RÉFÉRENCES

ANDOH, H.F., ANTWI B.O., WAKATSUIKI, T. & ATAKORA, E.T., 2012. Estimation of soil erodibility and rainfall erosivity patterns in the agroecological zones of Ghana, *Journal of Soil Science and Environmental Management* Vol. 3(11): 275-279.
doi: 10.5897/JSSEM11.081.

APAYDIN, H., ERPUL, G., BAYRAMIN, I. & GABRIELS, D., 2006**.** Evaluation of indices for characterizing the distribution and concentration of precipitation: A case for the region of Southeastern Anatolia, Project, *Turkey J. Hydrol 328*: 726-732.

ARNOLDUS, H.M.J., 1980**.** Methodology used to determine the maximum average soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. *Bull. FAO*, (34): 39-48.

AUBERT, G. & MONJAUZE, A., 1946**.** Observations sur quelques sols de I'Oranie nord occidentale - Influence du déboisement de I'érosion sur leur évolution. *Compte-rendu sommaire des Séances de la société de Biogéographie*, 23, (199): 44-51.

BAHRI, F. & SAIBI, H., 2010**.** Characterisation, classification, and evaluation of some groundwater samples in the Mostaganem area of northwestern Algeria, *Arabian Journal of Geosciences*, Volume 3, Issue 1: 79-89.
doi: 10.1007/s12517-009-0062-0.

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, 97 p.

COLLINET, J. & ZANTE, P., 2005**.** Analyse du ravinement de bassins versants à retenues collinaires sur sols à fortes dynamiques structurales (Tunisie), *Géomorphologie: relief, processus, environnement* 1/20005 : 61-74.
http://geomorphologie.revues.org/257 ; DOI : 10.4000/ géomorphologie.

DEMIRCI, A. & KARABURUN, A., 2011**.** Estimation of soil erosion using RUSLE in a GIS framework: a case study in the Buyukcekmece Lake watershed, northwest Turkey**.** *Environ Earth Sci* 66: 903-913.
doi: 10.1007/s12665-011-1300-9.

ELBOUQDAOUI, K., EZZINE, H., BADRAHOUI, M., ROUCHDI, M., ZAHRAOUI, M. & OZER A., 2005**.** Approche méthodologique par télédétection et SIG de l'évaluation du risque potentiel d'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Srou (Moyen Atlas, Maroc). *Geo-Eco-Trop*, 29: 25-36.

EL GAROUANI, A., CHEN, H., LEWIS, L., TRIBAK, A. & ABHAROUR, M., 2008**.** Cartographie de l'utilisation du sol et de l'érosion nette à partir d'images satellitaires et du Sig idrissi au nord-est du Maroc. Télédétection, 8 (3): 193-201.

FOURNIER, F., 1960**.** Climat et érosion : la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. *Presses universitaires de France*. Paris: 201 p.

KOULI, M., SOUPIOS, P. & VALLIANATOS, F., 2008**.** Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. *Environ Geol* (2009) 57: 483-497.
Doi: 10.1007/s00254-008-1318-9.

KOURI, L., 1993**.** L'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de l'oued Mina. Etude des processus et type de fonctionnement des ravins dans la zone des marnes tertiaires. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 232 p.

MAALIOU, A., 2010**.** Contribution à l'étude de l'impact de l'érosivité des pluies sur le transport solide de quelques grands bassins versants. USTHB Thèse de Magister. 75 p.

MAAMAR-KOUADRI, K., 2012. Etude de l'érosivité des pluies et l'érodibilité des sols dans le Tell oranais. Thèse de Magister. Université de Mostaganem, Algérie: 132 p.

MAZOUR, M., 1992**.** Les facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin versant d'Isser, Tlemcen, Algérie. *Bull. Réseau Erosion* (12): 303-313.

MEDDI, M., 2013. Sediment transport and rainfall érosivity evolution in twelve Basins in Central and Western Algerie. *Journal of Urban and Environmental Engineering* (JUEE), v.7, (2): 253-263.
doi: 10.4090/juee.2013.v7n2.253263.
MEDDI, H., MEDDI, M. & ASSANI, A., 2014. Study of Drought in Seven Algerian Plains. The Arabian Journal of Science and Engineering, 39: 339-359.
doi : 10.1007 /s13369-013-0827-3
MEKERTA, B., SEMCHA, A., RAHMANI, F. &, TROALEN, J.P., 2008**.** Erosion spécifique et caractérisation de la résistance au cisaillement des sédiments du barrage de Fergoug. *Xème Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil, SophiaAntipolis*: 14-16.
MORSLI, B., HALITIM, A. & ROOSE E., 2004. Effet des systèmes de gestion sur le ruissellement, l'érosion et le stock de Carbone; du sol dans les monts de Beni-Chougrane (Algérie). *Bull Réseau Erosion*, IRD France, 23: 416-430.
MORSLI, B., HABI, M., MAZOUR, M., HAMOUDI, A. & HALITIM, A., 2012**.** Erosion et ruissellement en montagnes méditerranéennes d'Algérie du Nord: analyse des facteurs conditionnels sous pluies naturelles et artificielles. *Rev. Mar. Sci. Agron*. *Vét* 1: 33-40.
NAHAL, L., 1984**.** Problèmes de désertification en région méditerranéenne. *Départ. des Sci des sols. INRA Paris-Grignon*, 14: 71-103.
POESEN, J. & HOOKE, J.M., 1997. Erosion flooding and channel management in Mediterranean Environments of southern Europe. *Progress in physical Geography*, 21, 2: 157-199.
RANGO, A. & ARNOLDUS, H.M.J., 1987**.** Aménagement des bassins versants. *Cahiers techniques de la FAO* : 1-11.
ROOSE, E., 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES), *Bull. Pédol*. FAO 70, 420 p.
ROOSE, E., SABIR, M., ARABI, M., MORSLI, B. & MAZOUR, M., 2012**.** Soixante années de recherches en coopération sur l'érosion hydrique et la lutte antiérosive au Maghreb. *Physio-Géo* (6): 43-69.
TOUAIBIA, B., GOMER, D. & AIDAOUI, A., 2000**.** Estimation de l'index d'érosion de Wischmeier dans les micro-bassins expérimentaux de l'oued Mina en Algérie du Nord. *Bull. Réseau Erosion* (20), Ed., IRD, Montpellier, 478-484.
TRIBAK, A., EL GAROUANI, A. & ABAHROUR, M., 2009. Evaluation quantitative de l'érosion hydrique sur les terrains marneux du Pré Rif oriental (Maroc): Cas du Sous-bassin d'oued Tlala. *Sécheresse* (20) (4): 333-337.
VITA-FINZI, C., 1969. The Mediterranean Valleys. Cambridge University Press, 140 p.
VRIELING, A., STERK, G. & DE JONG, S.M., 2010. Satellite-based estimation of rainfall erosivity for Africa. *Journal of Hydrology*, 395: 235-241.
WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D., 1978**.** Predicting rainfall erosion losses, A guide to conservation planning. USDA-ARS, *Agriculture and book* (537) : 58 p.