



Journal of Materials and Engineering Structures

Research Paper

Modélisation de l'érosion du bassin haut et moyen Cheliff par l'application Model builder sur ArcGis

Modeling the erosion of the upper and middle Cheliff basin by the Model builder application on ArcGis

Souhila Benkaci ^{a,*}, Dehbia Abir ^a, Aziz Oumellal ^a, Boualem Remini ^b

^a Département de génie civil, Université Mouloud Mammeri, 15000 Tizi Ouzou, Algérie

^b Département des sciences de l'eau et l'environnement, Université Saad Dahlab, 9000 Blida, Algérie

ARTICLE INFO

Historique de l'article :

Recu : 8 décembre 2017

Révisé : 7 mars 2018

Accépté : 8 mars 2018

Mots clés:

Erosion

Cheliff

Vulnérabilité

SIG

Keywords :

Erosion

Cheliff

Vulnerability

GIS

RESUME

L'objectif de ce présent travail est de réaliser une carte synthétique de répartition des degrés de sensibilité à l'érosion au niveau du bassin haut et moyen Cheliff, en faisant appel au modèle de superposition des cartes « model builder » sur ArcMap™. Ce bassin est exposé à un grave problème de dégradation du sol, ce qui provoque l'envasement de la majorité des barrages répartis sur son ensemble. En effet, quatre classes de vulnérabilité à l'érosion ont été distinguées (faible, moyenne, forte et très forte) où les zones fortement vulnérables couvrent la majeure partie du bassin. La carte produite fournit un excellent outil d'aide à la prise de décision pour les gestionnaires, afin de mieux cibler leurs stratégies d'interventions préventives.

ABSTRACT

The objective of this present work is to produce a synthetic distribution map of sensitivity degrees to erosion on the level of the high and middle Cheliff basin, by using the superposition model of cards "model builder" on ArcMap™. The latter is exposed to a serious problem of soil degradation causes siltation of the majority of the dams distributed on his whole. Indeed, four classes of erosion vulnerability have been distinguished (weak, average, strong and very strong) where the strongly vulnerable areas cover the most part of the basin. The map produced provides an excellent decision-making tool for managers, in order to better target their preventive intervention strategies.

* Corresponding author. Tel.: +213 550225093.

E-mail address: sbnbdz@gmail.com

1 Introduction

Le Maghreb est l'une des régions au monde les plus vulnérables à l'érosion des sols, en raison de son climat semi-aride, de son relief accidenté et de la pauvreté de sa végétation [1]. Au Maroc par exemple, ce phénomène est intense avec des dégradations spécifiques dépassant 2 000 t/km² par an dans les versants du Rif au Nord et entre 500 et 1 000 t/km²/an dans les Moyen et Haut Atlas [2]. En Tunisie, l'érosion hydrique dégrade des terres cultivables. Au total, 1,2 millions d'hectares sont gravement affectées par l'érosion dans le nord et le centre, soit 25% de la superficie totale des terres [3]. L'Algérie n'est pas en reste, elle est classée parmi les pays aux sols les plus érodables [4]. Les conséquences ne cessent de s'amplifier et se traduisent par l'épuisement des ressources en eau et en sol [5]. La partie Ouest du pays est la plus érodée, où l'érosion touche 47 % de l'ensemble des terres, suivie par le centre (27%) et l'Est (26%) [6]. L'érosion spécifique varie de 2000 et 4000 t/km²/an et le taux d'envasement, dépasse 15 % [6]. Au niveau du Nord-ouest, l'érosion et son évolution sur les versants ainsi que sur les facteurs causaux sont mal connus. Sur ces espaces où l'érosion prend naissance et les pointes de crue se forment, beaucoup d'efforts restent à accomplir pour comprendre et appréhender ce phénomène [5].

Pour évaluer le risque érosif, plusieurs modèles empiriques (qualitatif et quantitatif) ont été conçus. Parmi les plus utilisés " l'équation universelle des pertes en sol " (USLE) établie par Wischmeier et Smith en 1978 [7]. Ce modèle permet d'apporter une estimation des particules du sol susceptibles d'être arrachées et de spatialiser les zones les plus sensibles à l'érosion. Bien qu'il soit encore d'actualité dans de nombreux pays, de par sa simplicité et sa fiabilité, ce modèle prévoit uniquement l'importance des pertes en sol issues des érosions en nappes ou en rigoles sans tenir compte des autres formes d'érosion associées au ravinement, au vent...etc. [8]. Son champ d'application est limité à des pentes inférieures à 20 % [9]. Il est établi pour des conditions de milieux existants aux Etats Unis, ce qui signifie qu'il ne peut pas être appliqué tel qu'il est dans les pays méditerranéens [10]. Ce modèle n'adhère pas aux critères de notre zone d'étude caractérisée par des pentes raides et des ravinements prédominants.

Dans les régions étendues où la vulnérabilité à l'érosion est importante, l'étude à travers les modèles numériques est lente et devient fastidieuse. L'intégration des systèmes d'informations géographiques (SIG) minimise l'effort, améliore l'efficacité et permet de prédire le potentiel érosif sur une base d'un pixel. Cela présente des avantages distincts lorsque l'on tente d'identifier les schémas spatiaux des pertes en sols [11].

Notre travail s'inscrit dans l'objectif de la mise en évidence du caractère spatial de l'érosion au niveau du bassin haut et moyen Cheliff, à partir de l'intégration des données issues du traitement d'images satellitaires dans un système d'information géographique. Le principe consiste à appréhender d'une manière qualitative l'érosion hydrique en considérant à la fois, les caractéristiques physiques (le relief, la nature géologique du sol, et le couvert végétal) et les caractéristiques hydrologiques liées aux facteurs climatiques (les précipitations et le vent). Différentes pondérations ont été attribuées à chacun de ces facteurs et des cartes thématiques sont alors élaborées, reclassifiées puis superposées en utilisant l'application Model builder sur ArcGIS™ [12].

2 Présentation de la zone d'étude

Notre zone d'étude fait partie du bassin versant du Cheliff - Zahrez qui représente plus de 22% de la superficie de l'Algérie du Nord [13]. Cette région hydrographique est découpée en trois grands sous bassins versants, le Cheliff, qui est le plus grand du point de vue superficie en Algérie, le Zahrez et le côtier Dahra. Le bassin du Cheliff représente plus de 77 % de la superficie totale du bassin Cheliff-Zahrez. Il est compartimenté naturellement en trois sous bassins versants, comme illustré sur la Figure 1 : le bassin du Cheliff à l'amont du barrage de Boughzoul, le bassin du bas Cheliff et de la Mina, et enfin le bassin du haut et du moyen Cheliff [13]. Géographiquement, notre zone d'étude est localisée entre les longitudes, 1° et 3°90' à l'Est et les latitudes, 35° et 36°50' au Nord, sa superficie est d'environ 10701 Km².

Le bassin versant du haut et moyen Cheliff regroupe en tout onze sous bassins versants. Chaque sous bassin peut être décrit par un code bien spécifié comme l'illustre la Figure 2.

Ce bassin présente un chevelu hydrographique très dense (Fig. 3), avec un réseau de l'ordre de 2200 Km d'oueds permanents et de 5600 Km d'oueds temporaires [13]. Le cours d'eau principal traversant la zone d'étude sur une longueur de 349 Km est le Cheliff [13]. La densité de drainage varie entre 0.57 et 1.54 km/km². Les faibles valeurs caractérisent les terrains à faibles pentes qui sont surtout localisées au niveau des hautes plaines, ce qui se traduit par de faibles précipitations et une perméabilité non négligeable des structures lithologiques.

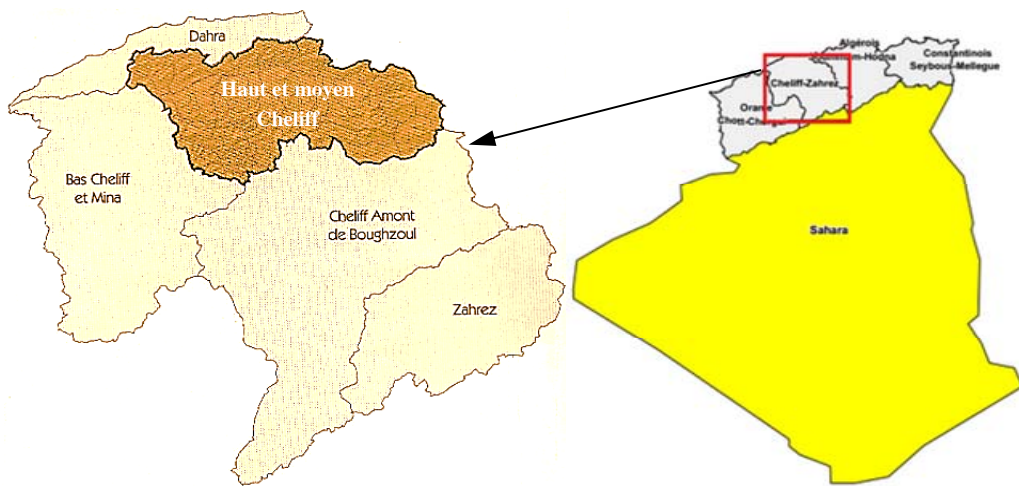


Fig. 1 - Situation géographique du bassin haut et moyen Cheliff.

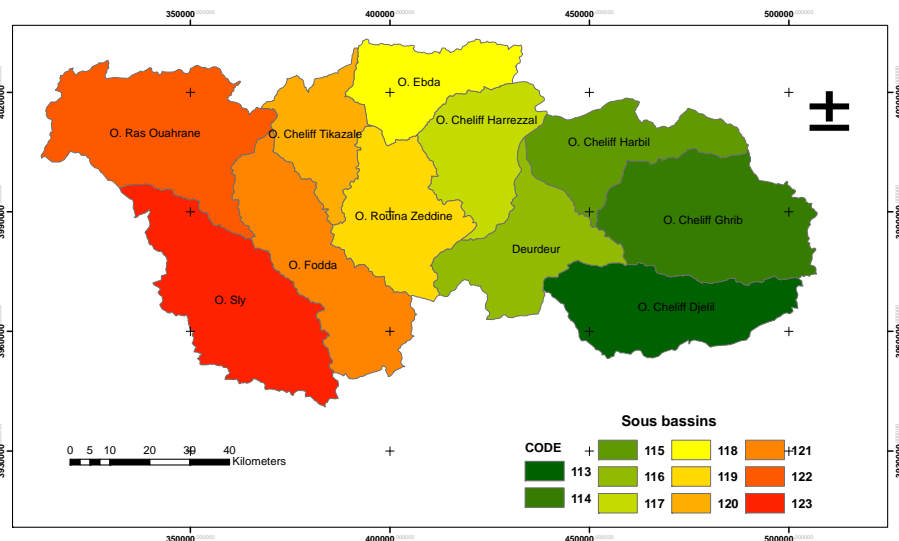


Fig. 2 - Carte des sous bassin du haut et du moyen Cheliff.

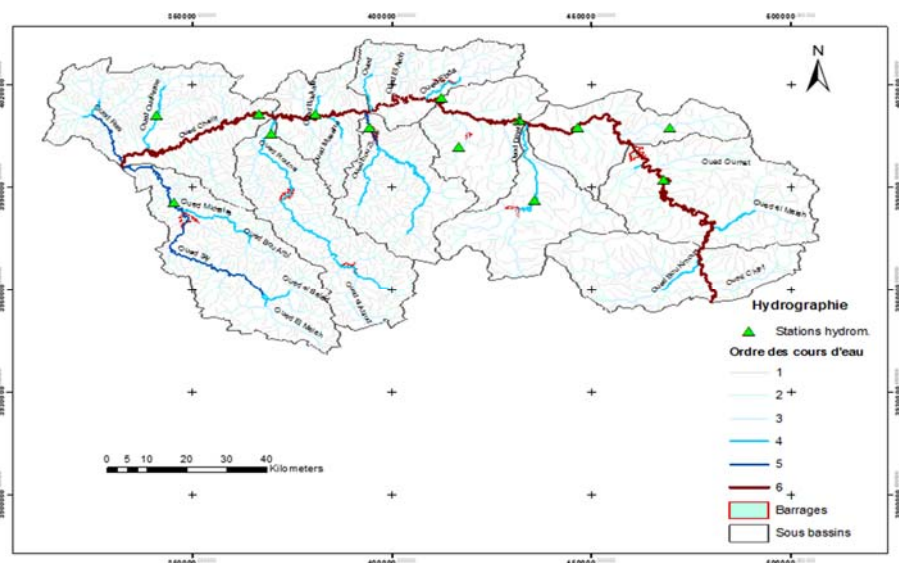


Fig. 3 - Réseau hydrographique du bassin haut et moyen Cheliff.

Les caractéristiques physiographiques du bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique, notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage [14]. Ces facteurs morphométriques, illustrés dans le tableau 1, sont estimés en utilisant les logiciels ArcGis™ et Global mapper [15].

Tableau 1 – Caractéristiques physiographiques du bassin haut et moyen Cheliff

Superficie (km ²)	10701	-
Périmètre (km)	658,7	-
Indice de compacité Kc	1,783	le bassin est de forme allongée favorisant un écoulement lent des eaux de ruissellement.
Altitude maximale (m)	1946,9	Point culminant du bassin.
Altitude moyenne (m)	628,9	Déterminée après génération des courbes de niveau sur Global Mapper et extraction des différentes surfaces correspondantes.
Altitude minimale (m)	66	Exutoire du bassin versant.
Longueur du rectangle équivalent (km)	292,82	-
Largeur du rectangle équivalent (km)	36,54	-
Pente moyenne en %	15,46	-
Dénivelée spécifique (m)	15,46	Relief fort

3 Matériels et méthodes

3.1 Matériels

3.1.1 Données cartographiques

Elles concernent essentiellement :

- La carte du réseau hydro-climatologique et de la surveillance de la qualité des eaux du nord de l'Algérie, échelle 1/500000, effectué à l'institut National de Cartographie et de Télédétection à Alger en 2004. Cette carte a été numérisée et géo-positionnée en fonction de la projection conique conforme de Lambert de la zone nord de l'Algérie, et a été exploitée particulièrement pour la délimitation de la zone d'étude.
- La carte géologique de l'Afrique, échelle 1/1 500 000 (téléchargée depuis le serveur des ressources en eau d'Institut d'études géologiques des États-Unis, USGS) utilisée particulièrement pour extraire les formations lithologiques du bassin.
- Et la carte topographique du haut et moyen Cheliff, (téléchargée depuis la base de données Terra Server d'imagerie satellitaire de l'USGS).

3.1.2 Images satellitaires

Les images satellitaires sont de deux types :

- L'image Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) obtenue avec le logiciel Global mapper. Son traitement sur ArcMap™, a permis d'établir le modèle numérique d'altitude (MNA.) (Fig. 4) à partir duquel nous avons élaboré les deux cartes thématiques, la carte des pentes et la carte d'exposition au vent.
- Deux Images satellites du type landsat 8 sous formes de bandes spectrales (rouge et infrarouge proche) avec une résolution de 30m, des deux régions Médéa et Cheliff. Ces deux images ont été combinées (Fig. 5) afin de couvrir toute la zone d'étude. Leur traitement nous a permis de calculer l'indice de végétation normalisé, NDVI, à partir duquel nous avons pu extraire la couverture végétale de notre bassin et réaliser ainsi la carte d'occupation du sol.

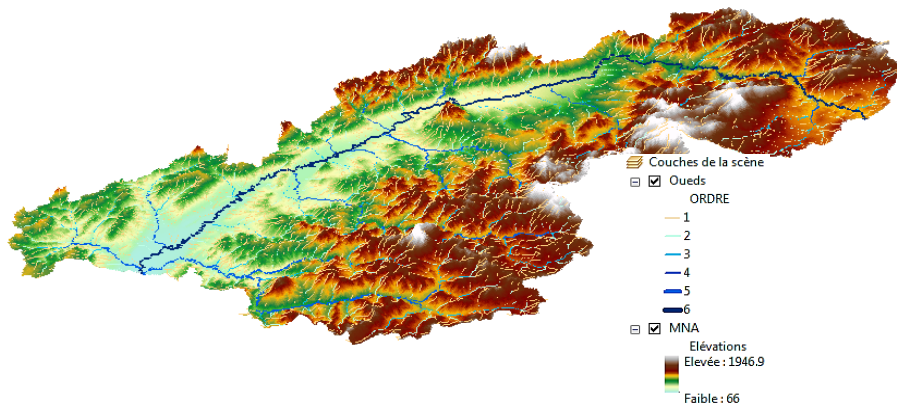


Fig. 4 - Modèle Numérique d'Altitude du bassin haut et moyen Cheliff.

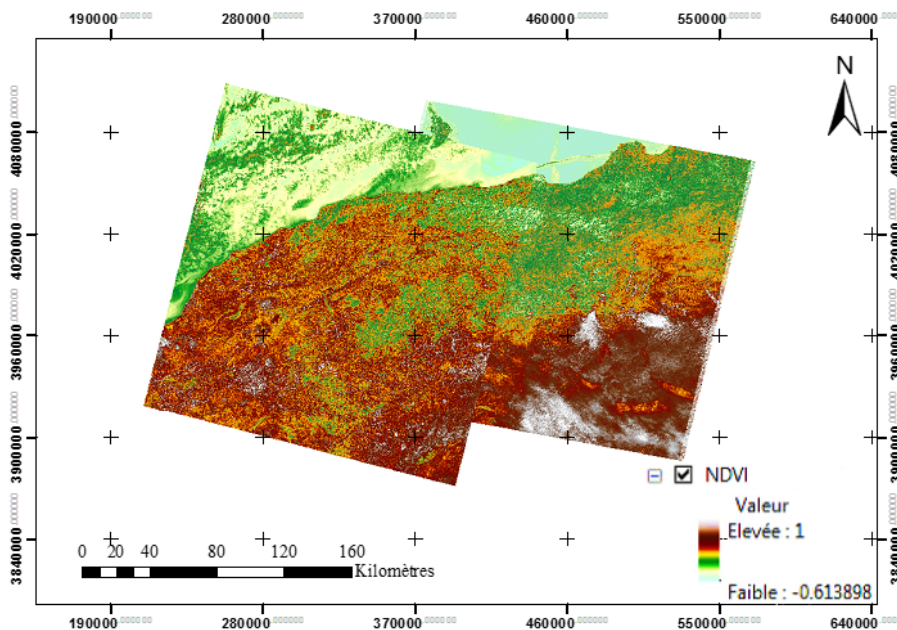


Fig. 5 – Combinaison des Bandes spectrales des deux régions Médéa et Cheliff.

3.1.3 Autres données

Elles concernent particulièrement, les données pluviométriques inter annuelles obtenues par l'agence nationale des ressources hydriques. Une fois traitées et complétées, ces données ont permis l'élaboration de la carte des isohyètes de la région d'étude en utilisant le logiciel ArcGis™.

3.2 Méthode

L'approche utilisée vise dans un premier temps, à exploiter les données satellitaires, topographiques, géologiques et climatiques, après les avoir intégrées et analysées dans un environnement SIG. Cette méthode nous a permis de réaliser des cartes thématiques et de les reclasser, en utilisant le logiciel ArcGis™. Par la suite, nous avons hiérarchisé le rôle de chaque facteur en attribuant un indice de poids, relatif au degré de sensibilité à l'érosion pour chacune des classes obtenues : rôle faible = 1, moyen = 2, fort = 3 et très fort = 4.

Pour obtenir la carte final de vulnérabilité des sols à l'érosion pour notre bassin, nous avons utilisé une méthode de superposition pondérée par l'application « model builder » sur ArcMap™. Le degré de la vulnérabilité à l'érosion serait alors exprimé par :

Degré de sensibilité à l'érosion = Indice de pente + indice lithologique + indice d'occupation des sols + indice des précipitations + indice d'exposition au vent.

L'affectation des indices de pondérations pour chacun des facteurs, était l'un des plus grands problèmes rencontrés. En se basant sur la connaissance de notre terrain et également, sur toutes les études et recherches effectuées pour chaque sous bassin de notre zone d'étude, nous avons adopté les indices suivants : un indice faible (10%) est affecté au facteur lithologique et un indice moyen (20 %) est affecté respectivement, aux facteurs isohyètes et exposition des versants au vent. Cependant, le rôle unanimement reconnu de l'occupation du sol et de la pente contre l'érosion hydrique, nous a conduits à retenir un indice plus ou moins important (25%) pour les deux facteurs : couvert végétal et pente du relief.

L'essentiel du travail a été réalisé suivant l'organigramme méthodologique présenté sur la Figure 6 :

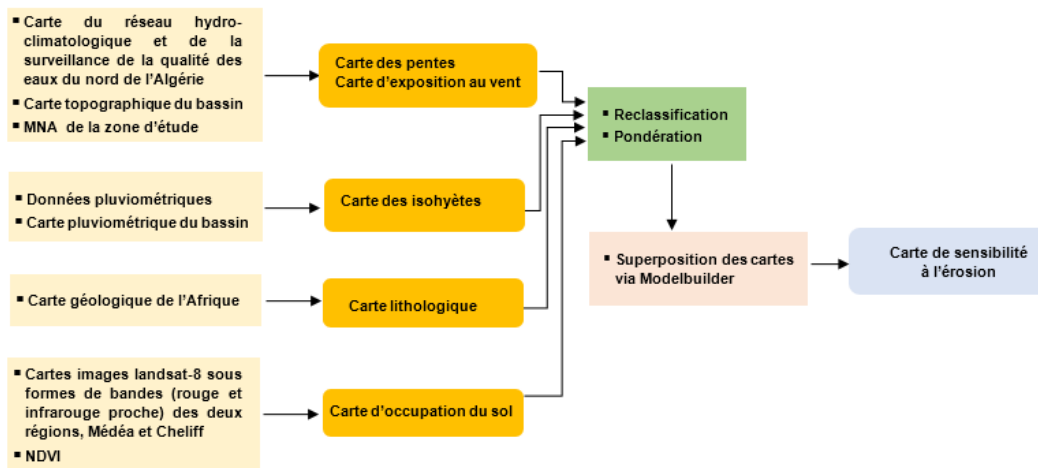


Fig. 6 - Diagramme méthodologique pour la réalisation de la carte de sensibilité à l'érosion.

3.2.1 Cartographie des différents facteurs intervenant dans le processus érosif

3.2.1.1 Facteur climatique

La pluie est considérée comme l'élément moteur de l'érosion. Son impact apparait directement sur la surface du sol par l'effet de battance où les agrégats sont brisés, les particules sont détachées et transportées par la suite à la faveur des eaux de ruissellements. La carte des isohyètes (Fig. 7) a été réalisée par interpolation des différentes données météorologiques en utilisant le logiciel ArcGis™.

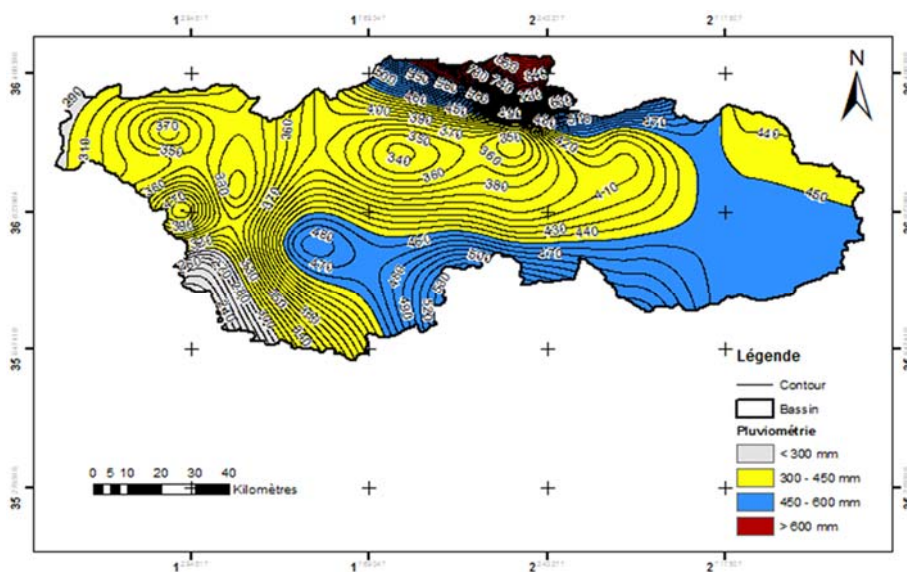


Fig. 7- Carte des isohyètes du bassin haut et moyen cheliff.

Une fois réalisée, nous avons obtenus quatre classes de pluviométrie. Sur la majeure partie du bassin, les précipitations observées varient entre moyenne et forte (300 à 600 mm). Il est clair que plus l'intensité est grande, plus l'effet de battage

du sol est prononcé, alors pour chacune des classes, nous avons affecté un indice de poids relatif au degré de sensibilité à l'érosion (Tableau 2).

Tableau 2– Classes de pluviosité et leurs indices de poids

Pluviométrie annuelle en (mm)	Sensibilité à l'érosion	Indice de poids
< 300	Faible	1
300 à 450	Moyenne	2
450 à 600	Forte	3
> 600	Très forte	4

3.2.1.2 Facteur topographique

La pente joue un rôle très important vis-à-vis du phénomène érosif. Son inclinaison influence considérablement la vitesse de ruissellement, qui accélère à son tour le processus du transport sédimentaire. Ce dernier accentue la force d'arrachement des particules et augmente ainsi l'effet de dégradation du sol [16]. L'image Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), téléchargée avec le logiciel Global Mapper, de la zone d'étude (Fig. 8), nous a permis de définir quatre classes de pentes (Tableau 3). Les pentes fortes à très fortes sont identifiées surtout, dans la partie amont du bassin-versant. Celles-ci sont caractérisées par un relief accidenté où le risque érosif peut être très fort. Les pentes moyennes sont réparties beaucoup plus en aval bassin. Cependant, les pentes faibles sont concentrées au niveau de la plaine et occupent ainsi une surface plus faible.

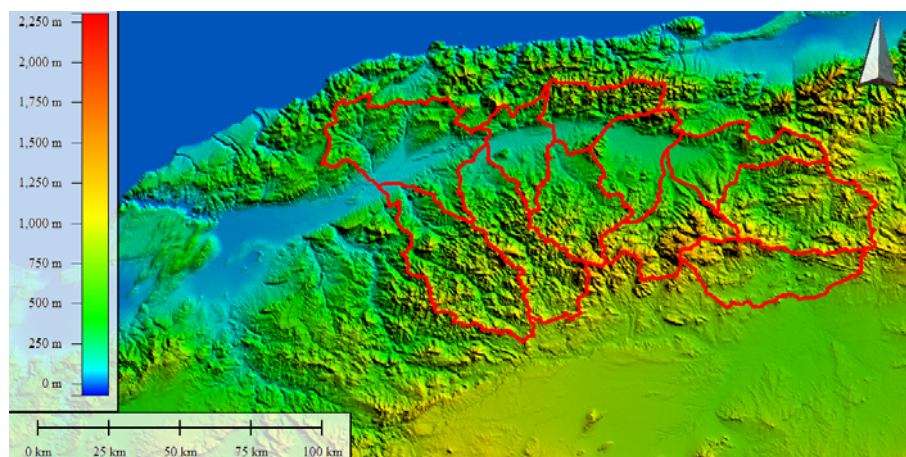


Fig. 8 – Modèle numérique de terrain du bassin haut et moyen Cheliff.

La carte des pentes de la zone d'étude (Fig. 9) a été élaborée par la suite, en utilisant le logiciel ArcGis™. Notons que, plus la pente du terrain est importante plus les sols seront vulnérables à l'érosion. C'est ainsi que sont réparties les quatre classes, leurs surfaces occupées et leurs indices de poids en fonction de la vulnérabilité à l'érosion (Tableau 3).

Tableau 3– Classes des pentes avec leur surface et leur degré de sensibilité à l'érosion

Classe des pentes (%)	Surface occupée (Km ²)	Sensibilité	Indice de poids
< 6%	2249	Faible	1
6% à 13%	2722	Moyenne	2
13% à 25%	3764	Forte	3
> 25%	2044	Très forte	4

En se référant à la carte de la Figure 9 et au Tableau 3 ci-dessus, nous remarquons que les faibles à moyennes pentes occupent environ 46 % de la surface totale du bassin. Cette zone favorise l'apparition des rigoles. Cependant, plus de la moitié de la surface considérée (54%) est caractérisée par des fortes à très fortes pentes. Sur cette partie du terrain, les

rigoles se creusent et deviennent de plus en plus profondes, les ravinements apparaissent et l'érosion devient plus importante.

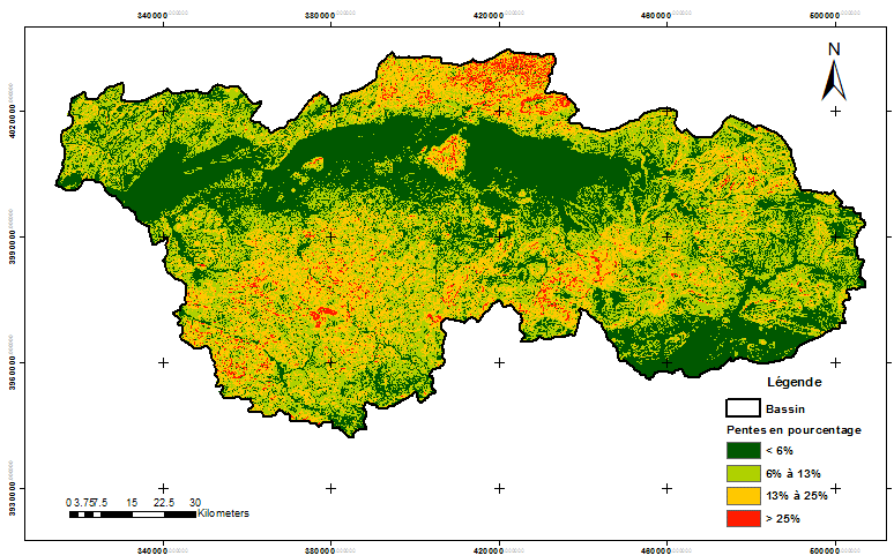


Fig. 9 - Carte des pentes de la zone d'étude.

3.2.1.3 Facteur d'exposition au vent

La carte d'exposition au vent (Fig.10) permet de localiser les versants qui présentent le plus de risque à l'érosion, qui attaque les roches en arrachant des particules ou en polissant la surface. Ce processus conduit à une dégradation environnementale sévère par l'appauvrissement des sols et le déplacement de volumes élevés de particules par le vent.

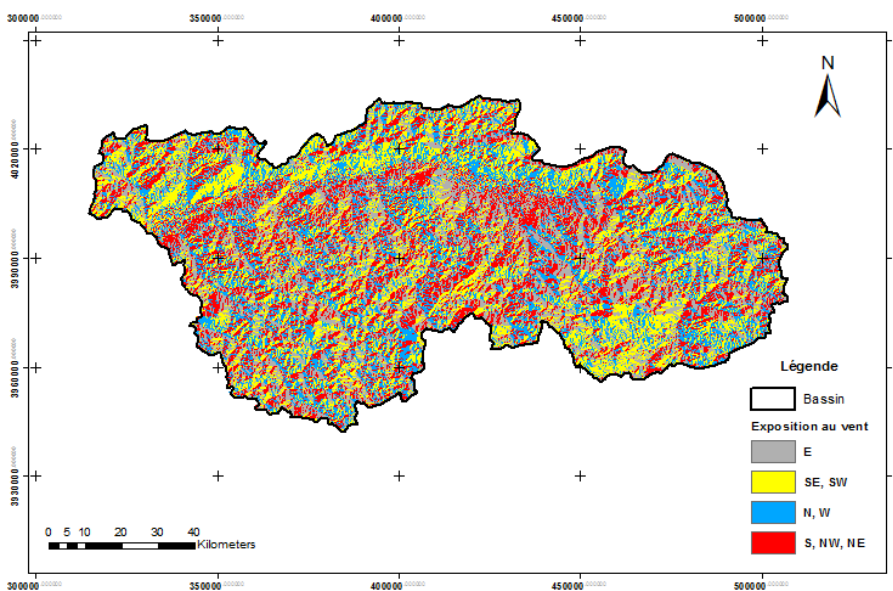


Fig. 10 - Carte d'exposition des versants au vent.

En été, notre région est exposée à des vents venant du sud qui sont chargés en particules de sable, ces vents exercent une action corrosive donnant l'effet d'un mitraillage. Elle est aussi exposée à des vents venant du nord-est qui contribuent au balayage des particules fines et leurs arrachements du sol. En hiver, notre région est exposée à des vents du nord-ouest portants de pluies.

La carte ci-dessus a été réalisée sous ArcMap™ puis reclassifiée. Les différentes classes retenues sont pondérées et réparties comme suit (Tableau 4) :

Tableau 4– Classes d’exposition au vent et leur degré de sensibilité à l’érosion

Exposition au vent	Sensibilité	Indice de poids
E	Faible	1
SE, SW	Moyenne	2
N, W	Forte	3
S, NW, NE	Très forte	4

3.2.1.4 Facteur lithologique

La carte des formations lithologiques de notre zone d’étude (Fig. 11) est élaborée en utilisant le logiciel ArcGis™, par extrapolation à partir de la carte géologique de l’Afrique. Chaque type de roches est relatif à une période géologique bien définie.

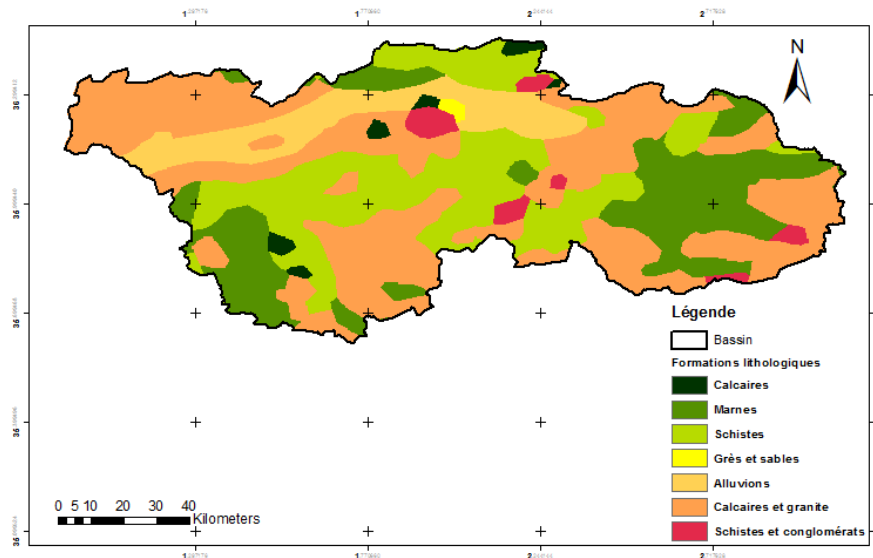


Fig.11. Carte des formations lithologiques de la zone d’étude.

Sur la carte ci-dessus, nous constatons une diversité géologique sur l’ensemble du bassin. Différents types de roches ont été caractérisées, dont chacune présente une résistance différente vis-à-vis de l’érosion. Leur classification (Tableau 5) a été validée en se basant sur l’examen des deux cartes géologiques respectivement, la carte bassin CHELIF-HABRA à une échelle 1 / 200.000 ème [17] et la carte de OUED FODDA à une échelle 1/50.000 ème [18].

Tableau 5– Type de roche et leur sensibilité à l’érosion

Périodes	Types des roches	Sensibilité	Indice de poids
Crétacé	marne	très forte	4
Crétacé inférieur	schiste	moyenne	2
Jurassique	calcaire	faible	1
Quaternaire	alluvion	moyenne	2
Trias	schiste	moyenne	2
Paléozoïque	grès et sable	forte	3
Tertiaire	calcaire et granite	faible	1
Crétacé	marne	très forte	4

3.2.1.5 Facteur occupation du sol

L’occupation du sol est l’élément essentiel qui renseigne sur le degré de protection contre l’érosion. En effet, le couvert végétal permet de protéger le sol de l’impact des gouttes de pluie et de l’éclaboussement, et tend à ralentir la vitesse des

eaux de ruissellement en favorisant ainsi l'infiltration. Donc, une faible couverture végétale augmente le risque d'érosion. La carte d'occupation du sol de la zone d'étude (Fig.12) a été élaborée en se basant sur le calcul de l'indice de végétation par différence normalisé, NDVI. Son principe repose sur le fait qu'un couvert végétal absorbe l'énergie dans la bande rouge et réfléchit au maximum dans le proche infrarouge [19].

Il est donné par :

$$NDVI = \frac{PIR-R}{PIR+R} \quad (1)$$

où, PIR représente la bande spectrale correspondante au proche infrarouge et R, celle correspondante au rouge.

Les valeurs théoriques du NDVI varient entre (-1, 0) et (0, +1) où, les valeurs les plus élevées concernent la végétation verte active ; les faibles valeurs pour d'autres matériaux de surface communs. Les masses d'eau et les zones humides sont représentées avec un NDVI négatif et les sols nus par les valeurs NDVI les plus proches de zéro [20]. Les bandes spectrales 4 et 5 des deux images satellitaires (type Landsat 8) des régions Médéa et Cheliff ont été combinées et utilisées pour le calcul du NDVI.

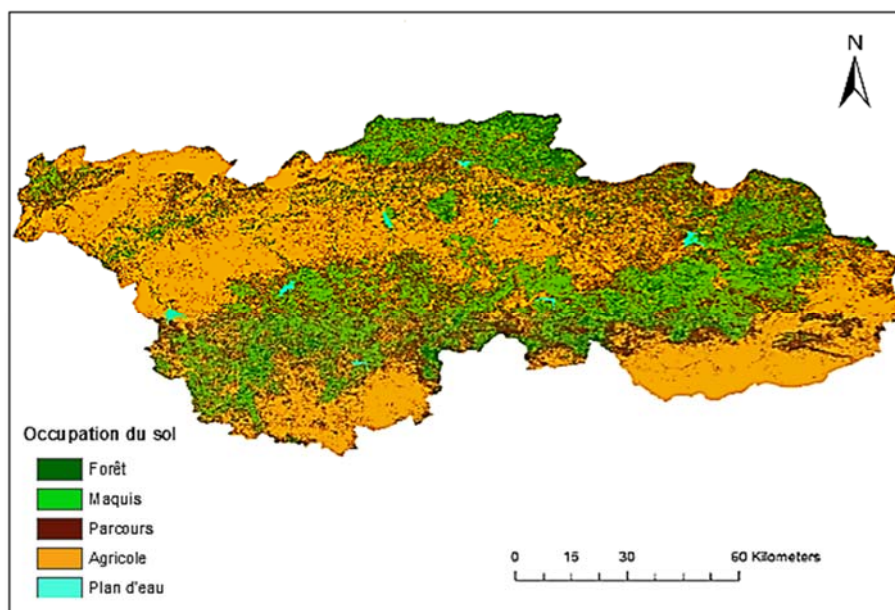


Fig. 12 - Carte d'occupation du sol au niveau du bassin haut et moyen cheliff.

Après traitement sur ArcgisTM, nous avons affecté pour chacune des classes obtenues, un indice de poids selon sa sensibilité à l'érosion (Tableau 6). La classification a été validée en se basant d'une part, sur l'analyse visuelle de l'indice calculé, NDVI et d'autre part, en utilisant les échantillons des sols décrits dans les notices des cartes des sols de l'Algérie (Plaines du CHELIF) à une échelle 1/50.000 ème [21].

Tableau 6– Sensibilité à l'érosion en fonction de l'occupation du sol

Occupation	Sensibilité	Indice de poids
Forêt	Faible	1
Maquis	Moyenne	2
Humide et parcours	Forte	3
Agricole	Très forte	4

3.2.2 Superposition des cartes par l'application Model builder

Cette méthode consiste à superposer plusieurs rasters en utilisant une échelle de mesure commune et une pondération en fonction de leurs importances. Les cinq rasters en entrée ont été reclassés selon une échelle de mesure commune de 1 à

4. Chaque raster est affecté par un pourcentage d'influence (pondération), puis les résultats sont cumulés pour créer le raster en sortie (Fig.13).



Fig. 13 - Schéma de superposition des cartes par l'application model builder sur ArcMap.

4 Résultats et discussion

La carte de sensibilité à l'érosion (Fig. 14) est obtenue par le croisement des différentes cartes thématiques via «model builder» sur ArcMap™, en tenant compte des valeurs des cinq facteurs étudiés : topographique, climatique, lithologique, exposition au vent et occupation des sols. L'analyse de cette carte nous a permis de localiser et de cerner quatre classes de sensibilité différentes (Tableau 7) :

Tableau 7– Classes de sensibilité à l'érosion et les surfaces exposées

Classes	Sensibilité à l'érosion	Surfaces exposées au risque érosif (Km²)	Pourcentage par rapport à la surface totale (%)
01	Faible	18	0.168
02	Moyenne	3314	30.970
03	Forte	7279	68.021
04	Très forte	90	0,841

Sur la carte de la Figure 14, nous remarquons que les zones où l'érosion est très peu répandue sont réparties sur une très faible surface, soit environ 0.168% de la superficie totale du bassin. Elles sont caractérisées par une certaine stabilité qui peut être expliquée par la présence des roches plus résistantes, d'une végétation dense et des pentes faibles. Cependant, les zones fortement vulnérables occupent la majeure partie du bassin soit environ 68,021%. Ce sont les parties les plus accidentées et les plus dégradées. Elles sont caractérisées par des fortes pentes et d'une végétation très faible. Ces zones favorisent l'apparition des ravinelements. La conception d'une installation de lutte contre ces ravinelements s'avère utile, où il faut assurer un aménagement adéquat tel que la correction torrentielle. Des petits seuils en pierres sèches peuvent également créer par leur atterrissement, un milieu favorable à l'installation des plants avant la mise en place des seuils biologiques par la végétation [22]. Ils permettent aussi une correction de la pente de l'oued en diminuant d'une part, la vitesse d'écoulement en période de pluies, et d'autre part, la quantité des sédiments qui peuvent être transportés jusqu'aux barrages implantés dans la région. Les zones les plus vulnérables couvrent une surface de 90 km2 soit environ 0,841% de la superficie totale de la zone d'étude. Cette vulnérabilité est provoquée essentiellement par une intensité très forte des précipitations, des très fortes pentes également, et des faciès tendres. Ces zones sont identifiées essentiellement, sur trois sous bassin versant (Fig.14) : Oued Ebda, Oued Fodda et Oued Cheliff Ghrib. Ces zones sont responsables d'une production importante des sédiments. Au niveau de ces deux derniers sous bassins, se sont localisés respectivement, le

barrage d'Oued-Fodda et celui de Ghrib, qui représentent à eux seuls environ le tiers de l'envasement total des barrages algériens d'après l'Agence nationale des barrages et de transferts (ANBT) d'Alger. En effet, le barrage de Boughzoul a été réalisé en amont du barrage Cheliff Ghrib dans l'objectif d'écarter les crues et diminuer ainsi la quantité des sédiments transportés.

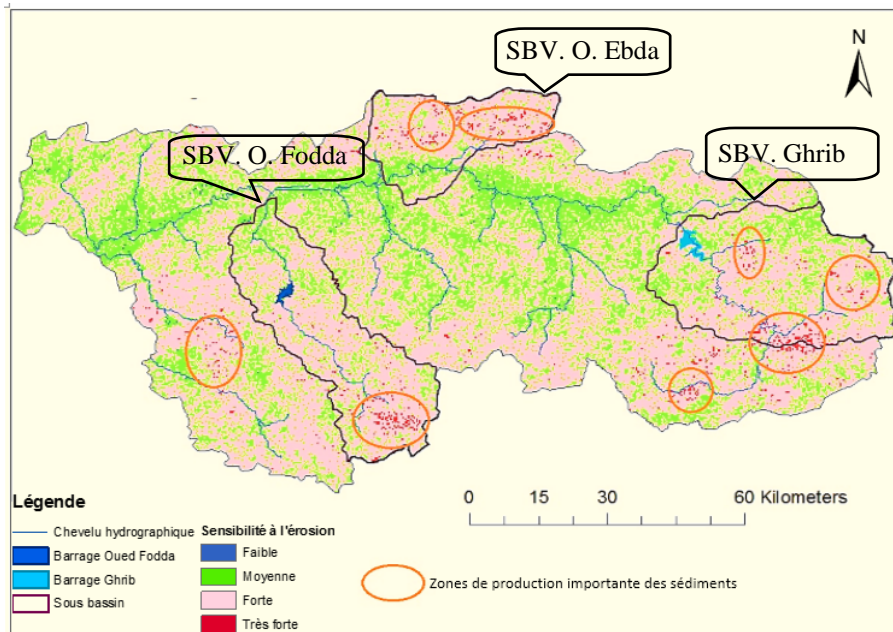


Fig. 14 - Carte de sensibilité à l'érosion des sols du bassin haut et moyen Cheliff.

5 Conclusion

L'intégration des systèmes d'informations géographiques par l'application « model builder » sur ArcGis™ dans l'étude du phénomène d'érosion, nous a permis d'élaborer une carte de sensibilité des sols à l'érosion dans le bassin versant haut et moyen Cheliff. De cette carte, il apparaît qu'une grande partie des terrains présente une forte vulnérabilité à l'érosion. Celle-ci résulte de la conjonction de plusieurs facteurs : l'agressivité des pluies, la raideur du relief et la faiblesse du couvert végétal. Une érosion par ravinement a été identifiée particulièrement, au niveau des sous bassins versants : Oued Fodda, Oued Cheliff Ghrib et Oued Ebda. Ceci se traduit en amont par un transport solide très important. Les techniques biologiques, tels que le reboisement forestier et l'arboriculture sont des moyens très efficaces à considérer pour lutter contre ce phénomène érosif. La correction des ravins et un sapement latéral des berges des oueds est une solution qui pourrait être envisagée, surtout au niveau des zones les plus vulnérables. Pour les terrains à sensibilité moyenne, l'utilisation des banquettes semble une bonne solution.

La carte élaborée a permis ainsi de disposer d'une vue d'ensemble des zones menacées. La méthode utilisée a servi essentiellement à la création d'un ensemble des cartes thématiques qui pourraient être utilisées comme un support visuel et explicatif, en se référant à la base de données. Elle pourra également apporter une aide importante aux décideurs et aux aménageurs afin de mieux cibler leurs stratégies d'interventions préventives.

Cette approche, bien qu'elle paraisse raisonnable, du fait d'intégrer à la fois les caractéristiques physiques et hydrologiques, elle présente encore des limites et gagnerait à être améliorée. Une validation précise et rigoureuse des résultats obtenus, nécessite la mise en correspondance sur le terrain. Une approche descriptive permettant d'identifier les différentes formes d'érosion sur l'ensemble du bassin, semble une bonne piste à suivre pour affiner ces résultats.

Pour montrer les tendances globales de l'évolution superficielle des sols de notre bassin, il serait intéressant de compléter cette étude par une approche quantitative, qui serait basée sur l'utilisation du modèle MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) de Williams et Berndt [23]. Ce modèle permettrait de quantifier la dégradation spécifique en considérant les sédiments associés aux autres formes de l'érosion.

REFERENCES

- [1]- A. Megnounif, A. Terfous, A. Bouanani, Production et transport des matières solides en suspension dans le bassin versant de la Haute-Tafna (Nord-Ouest Algérien). *Rev. Sci. Eau* 16(3) (2003) 369-380. doi:10.7202/705513ar
- [2]- A. Cheggour, V. Simonneaux, S. Asma, Y. Yaro, E. Sadik, M. Sabir, E. Roose, Recherche d'indicateurs de ruissellement et des risques d'érosion au moyen de tests d'infiltrométrie dans le bassin versant du Rhéraya (Haut-Atlas occidental, Maroc). *Rev. Sci. Eau* 21(3) (2008) 311–322. doi:10.7202/018777ar
- [3]- A. Bouzid, L'expérience de la Tunisie dans la protection des sols et des barrages. Séminaire national sur l'érosion et l'envasement des barrages, Alger, Algérie, 1991.
- [4]- B. Touaibia, Problématique de l'érosion et du transport solide en Algérie septentrionale. *Sécheresse* 21(2010) 1–6.
- [5]- B. Morsli, M. Habi, M. Meddi. Dynamique de l'érosion en zone méditerranéenne algérienne : facteurs explicatifs de variation du ruissellement et de l'érosion sous différentes occupations du sol. *Rev. Sci. Eau* 26(2) (2013) 89–105. doi:10.7202/1016061ar
- [6]- M. Achite, B. Touaibia, S. Ouillon, Erosion hydrique en Algérie du Nord : Ampleur, Conséquences et Perspectives. 14th International Soil Conservation Organization Conference. Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments. Marrakech, Morocco, 2006. .
- [7]- E. Payet, P. Dumas, G. Pennober, Modélisation de l'érosion hydrique des sols sur un bassin versant du sud-ouest de Madagascar, le Fiherenana. *Rev. Electronique Sci. Environ.* 11(3) (2011). doi:10.4000/vertigo.12591
- [8]- R.P. Stone, D. Hilborn, Équation universelle des pertes en terre (USLE). Fiche technique, Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des affaires rurales. (<http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/12-052.htm>)
- [9]- E. Roose, Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bulletin Pédologique de la FAO, n° 70, 1994.
- [10]- Y. Cormary, J. Masson, Etude de conservation des eaux et du sol au Centre de Recherches du Génie Rural de Tunisie : application à un projet-type de la formule de perte de sols de Wischmeier. *Cah. ORSTOM Péd.* 2(3) (1964) 3–26.
- [11]- J.M. van der Knijff, R.J.A. Jones, L. Montanarella, Estimation du risque d'érosion en Italie. *Eur. Soil Bur.* 2000.
- [12]- Esri (Environmental Systems Research Institute, Inc.). ArcGis 10.2.1 for desktop, USA Copyright © 1995-2013.
- [13]- A.B.H. Agence Du Bassin Hydrographique, Cheliff Zahrez, Cadastre hydraulique du bassin hydrographique du Cheliff- Aval du barrage de Boughzoul, 2004.
- [14]- A. Musy, C. Higy, Hydrologie, une science de la nature. PPUR Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2004.
- [15]- Blue Marble Geographics (USA), Global mapper v15.2.3. Copyright ©2002-2014.
- [16]- R. Cissokho, Développement d'un indice de vulnérabilité à l'érosion éolienne à partir d'images satellitaires, dans le bassin arachidier du Sénégal : cas de la région de Thiès. Thèse de doctorat, Université de Montréal, 2011.
- [17]- R.V. Anderson, E.E. Smith, Q.H. Westby, Carte géologique du bassin Chelif-Habra, Extrait de la carte d'Algérie 1/200.000ème, feuille n°18, Service géographique de l'Armée, 1936.
- [18]- Carte géologique détaillée, Oued Fodda, échelle 1/50.000ème, Feuille N°82 (B6-C12), Service géologique de l'Algérie. Imp. A. Jourdan, Alger, 1906.
- [19]- C.J. Tucker, Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sens. Environ.* 8(2) (1979) 127–150. doi:10.1016/0034-4257(79)90013-0
- [20]- S.A. Sader, J.C. Winne, RGB-NDVI Color Composites for Visualizing Forest Change Dynamics. *Int. J. Remote Sens.* 13(16) (1992) 3055–3067. doi:10.1080/01431169208904102
- [21]- M. Barbut, G. Drouhin, J.H. Durand, Cartes des sols de l'Algérie (Plaines du Chelif), échelle 1/50.000ème. Cartes (N°1 à N°5). Inspection Générale de l'Agriculture (I.G.A.) du G.G. de l'Algérie, 1956.
- [22]- Projet DINEPA-OIEau-UNICEF, Mesure de protection contre l'érosion, Fiche technique. code 5.2.1. FIT 2. Extrait du référentiel technique national EPA. République d'Haiti: Fascicule techniques/directives techniques/etc. 2.5.1 DIT1. 2012/2013.
- [23]- M. Tahiri, H. Tabyaoui, F. El Hammichi, A. Tahiri, H. El Hadi, Évaluation et quantification de l'érosion et la sédimentation à partir des modèles RUSLE, MUSLE et déposition intégrés dans un SIG. Application au Sous-Bassin de l'Oued Sania (Bassin de Tahaddart, Rif nord occidental, Maroc). *Eur. J. Sci. Res.* 125(2) (2014) 157-178.