CARTOGRAPHIE DES RISQUES D'EROSION HYDRIQUE PAR L'APPLICATION DE L'EQUATION UNIVERSELLE DE PERTES EN SOL A L'AIDE D'UN SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE DANS LE BASSIN VERSANT D'EL HAMEL (BOUSSAADA) ALGERIE.

T. MOSTEPHAOUI[1], S. MERDAS[1], B. SAKAA[1], M. T. HANAFI[1] et M.T. BENAZZOUZ[2]
1. CRSTRA Division Désertification
2. Université de Constantine, chercheur associé au CRSTRA

RESUME.

L'étendue du territoire national connaît de différentes formes de dégradation de son milieu naturel avec des particularités spécifiques à chaque territoire. Près de 50 millions d'hectares sont les surfaces menacées par la dégradation due à la désertification et l'érosion hydrique, dont 14 millions d'hectares en zones de montagne au Nord sont touchés par l'érosion hydrique, 32 millions d'hectares en zones steppiques sont directement affectés et/ou menacés par la désertification et 4,1 millions d'hectares de forêts soumises aux menaces des effets des changements climatiques. L'érosion constitue un grave problème environnemental, agricole et social qui affecte et menace d'immenses espaces de notre pays. Les conséquences les plus remarquables sont : appauvrissement généralisé des sols, baisse de la fertilité et stérilisation des sols, prolifération des espèces nuisibles au détriment des espèces utiles, dynamiques dunaires importantes par, l'envahissement des infrastructures socio-économiques, tempêtes de sables fréquents et exode rural de la population. La présente étude, cherche à mettre en relief la nature et l'ampleur des facteurs et paramètres contribuant à la dégradation du sol du fait de phénomènes naturels (climat aride avec des épisodes pluvieux qui se caractérisent par leur aspect orageux) et anthropiques (surpâturage, défrichements et feux de forêts …) et par voie de conséquence le barrage vert dans le bassin endoréique du Hodna. L'un des objectifs de ce travail est d'offrir une méthode de cartographie des zones à risques d'érosion par SIG on servant du modèle USLE (Universal Soil Loss Equation de Wischmeier et Smith, (1958, 1978). Le résultat nous a permis de dresser une carte où sont localisées les zones exposées aux plus forts risques d'érosion (faible, moyen, fort). Ce modèle permet de désigner le reboisement situé sur des zones à risques d'érosion importants sur lesquelles des aménagements antiérosifs doivent vraisemblablement être entrepris en priorité.Cette étude a été menée dans une région semi-aride, qui est la commune d'El Hamel située dans le sud-ouest de la daïra de Boussaâda « bassin du Hodna » wilaya de M'sila.

Mots clés : *Cartographie, risques, érosion, Aride, USEL, SIG.*

ABSTRACT.

The national territory knows different forms of degradation of the natural environment with specific characteristics of each territory. Nearly 50 million hectares are threatened by degradation due to desertification and water erosion surfaces , including 14 million hectares in mountainous areas in the north are affected by water erosion , 32 million hectares in steppe areas are directly affected and / or threatened by desertification and 4.1 million hectares of forests subject to the threats of climate change. Erosion is a serious environmental, agricultural and social problem that affects and vast areas of our country threat. The most remarkable consequences are: widespread soil degradation, declining soil fertility and soil sterilization, proliferation of pests at the expense of useful species, important dune dynamics for the invasion of

socio –economic infrastructure, frequents and storms and rural depopulation. This study seeks to highlight the nature and extent of the factors and parameters contributing to soil degradation due to natural phenomena (arid climate with rainy periods that are characterized by their stormy aspect) and anthropogenic (overgrazing , clearing and forest fires ...) and consequently the green dam in the Hodna watershed. One objective of this work is to provide a methodology for mapping areas at risk of erosion on GIS model using the USLE (Universal Soil Loss Equation of Wischmeier and Smith (1958, 1978). The result we possible to draw a map where localized areas exposed to stronger erosion risk (low, medium, high). This model allows identifying reforestation located in areas at risk of significant erosion on which anti –erosion should probably be made a priority. This study was conducted in a semi –arid region, which is the town of El Hamel located in the southwest of the daïra Boussaâda « Hodna watershed» M'sila department.

Keywords: *Mapping, risk, erosion, Barren, USEL, GIS.*

I. INTRODUCTION

La communauté internationale est depuis longtemps consciente que la désertification pose un grave problème économique, social et environnemental à de nombreux pays de toutes les régions du monde et spécialement des régions méditerranéennes (BOUKHEIR et *al*., 2001). L'Algérie n'est pas à l'abri de ce phénomène et les vulnérabilités en la matière ne font que s'accentuer. La désertification constitue le premier défi auquel l'Algérie est confrontée, à l'instar de tous les pays du Maghreb et du Moyen-Orient, dans le sillage de la dégradation des conditions climatiques.

L'étendue du territoire national connaît de différentes formes de dégradation de son milieu naturel avec des particularités spécifiques à chaque territoire (DGF, 2009). Le ministère de l'Agriculture et du Développement rural (MADR, 2011) estiment à 50 millions d'hectares les surfaces menacées par la dégradation due à la désertification et l'érosion hydrique, soit plus de 20% de la superficie totale du pays qui dépasse les 238 millions d'hectares, en conséquence, 14 millions d'hectares de zones de montagne au Nord sont touchés par l'érosion hydrique, 32 millions d'hectares en zones steppiques sont directement affectés et/ou menacés par la désertification et 4,1 millions d'hectares de forêts soumises aux menaces des effets des changements climatiques. L'érosion constitue un grave problème environnemental, agricole et social qui affecte et menace d'immenses espaces de notre pays. Les conséquences les plus remarquables sont : appauvrissement généralisé des sols (MERZOUK et *al*., 1994), baisse de la fertilité et stérilisation des sols, prolifération des espèces nuisibles au détriment des espèces utiles, dynamiques dunaires importantes par, l'envahissement des infrastructures socio-économiques, tempêtes de sables fréquentes (FAO, 1983) et exode rural de la population (PEREZ-TREJO, 1994).

La présente étude, cherche à mettre en relief la nature et l'ampleur des facteurs et paramètres contribuant à la dégradation du sol du fait de phénomènes naturels (climat aride avec des épisodes pluvieux qui se caractérisent par leur aspect orageux) et anthropiques (surpâturage, défrichements et feux de forêts …) et par voie de conséquence le barrage vert dans le bassin endoréique du Hodna. Elle a pour but également de chercher les moyens à mettre en œuvre pour la préservation du barrage vert et la restauration des sols. L'un des objectifs de ce travail est d'offrir une méthode de cartographie des zones à risques d'érosion, envisagée de deux points de vue : 1/ zone d'arrachage et de sédimentation et 2/ sources d'émission potentielle de particules solides en suspension (poussière-sable).La région d'el Hamel est considérée comme l'une des zones émettrices de poussière et de sables vers les régions de Boussaâda, de M'sila etc.

Les investigations nécessaires pour caractériser ce phénomène et les facteurs du milieu qui le provoquent sont lourdes et coûteuses. La télédétection et les SIG sont des puissants outils pouvant servir à la collecte et à la combinaison des données (COLWELL, 1974 ; PUECH, 1993 ; GIRARD et M-C GIRARD, 1998 et 1999 ;LYMBURNER , et *al*., 2000 ; DAURIAC et *al*., 2001 ; CCT, 2002 ; CEOS, 2002. COING, 2002). . Ils se présentent de nos jours comme des outils essentiels dans les systèmes interactifs d'aide à la décision (ROY, 1993 ; VINCK P., 1989). Pour ce faire, il est nécessaire de sélectionner les principaux facteurs de l'érosion, d'utiliser des données cartographiques qui permettent de les visualiser et de choisir un modèle qui s'adapte le mieux à notre région.

Plusieurs études concernant l'érosion ont été effectuées en Algérie, mais très peu qui a associé les techniques de la géomatique. Cettedernière va aider à une prise de décision convenable pour établir la priorisation des zones à préserver et les zones à restaurer, et finalement, pour informer ainsi que sensibiliser la population aux enjeux socio-économiques et environnementaux de l'érosion naturelle et anthropique dans la région (NAFO, 2000).

Pour l'évaluation des risques d'érosion hydrique des sols, on a utilisé le modèle USLE (UniversalSoilLoss Equation) (WISCHMEIER et SMITH, 1958, 1978) ou d'une de ces versions modifiées (USDA., 2008) pour des prédictions à long terme (> 20 ans) concernant l'érosion en nappe et en rigoles dans des parcelles agricoles.Elle permet aussi, de localiser relativement les zones exposées aux plus forts risques d'érosion et de sédimentation. Ainsi, couplé sous SIG à une base de données géoréférencées sur l'espace occupé par le barrage vert, ce modèle permet de désigner le reboisement situé sur des zones à risques d'érosion importants sur lesquelles des aménagements antiérosifs doivent vraisemblablement être entrepris en priorité.

Cette recherche a été menée dans une région semi-aride, qui est la commune d'El Hamel située dans le sud-ouest de la daïra de Boussaâda « bassin du Hodna » wilaya de M'sila.

II.SITUATION DE LA REGION D'ETUDE

La région d'étude fait partie des régions arides et semi-arides qui présentent la plus grande biodiversité de l'Algérie et également la plus grande perte de sol par l'érosion hydrique et éolienne, par ses caractéristiques climatiques, physiographiques, géomorphologiques, hydrologiques, pédologiques, et ses usages historiques et actuels du système sol-végétation. Située au Nord –Ouest d'ELHAMEL, la région d'étude S'étendant sur 5000 hectares, entre les latitudes 35°10'18''-35°6'50'' Nord et les longitudes 3°58'41''- 4°4'14'' Est (fig.1).

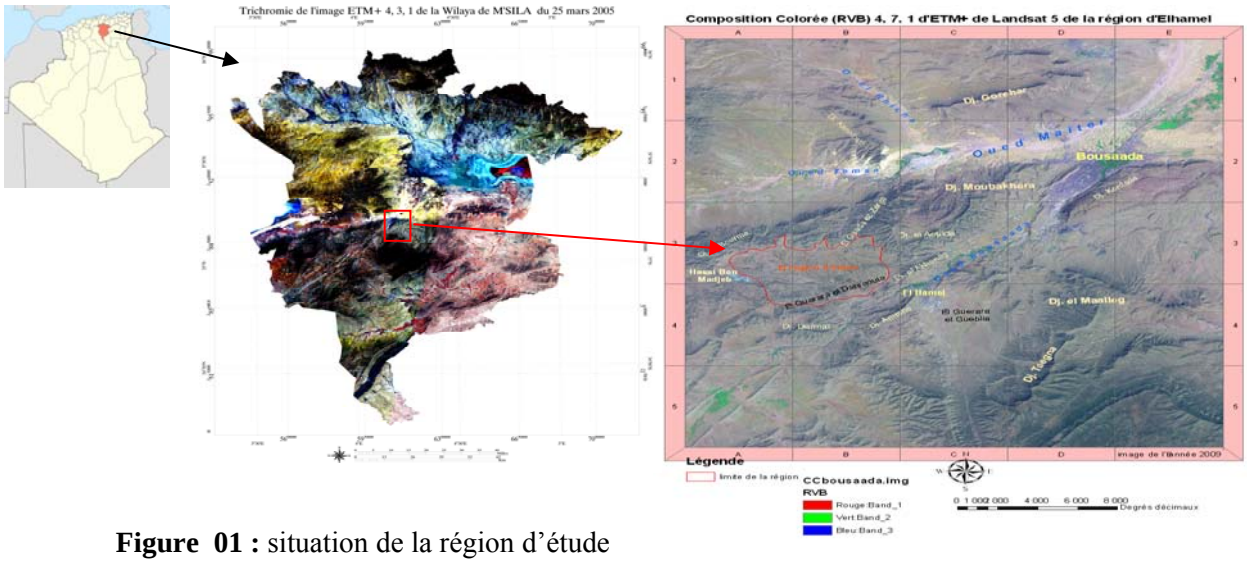

Figure 01 : situation de la région d'étude

Elle correspond à un bassin versant de l'oued Maiter, quiappartient au grand bassin

endoréique du Hodna. Elle est limitée par des reliefs importants (fig. n° 1) :

- au Nord, par Djebel El GaadaEzZerga;
- à l'Est, Djebel El Aouida et Djebel El Akhnag;
- au Sud, par Djebel dermal et djebel Amrane;
- à l'ouest par Djebel El Bourma, qui appartiennent au domaine tellien.

C'est un bassin versant qui est caractérisé par une diversité phytocénotique remarquable constituée par une formation dominante de pin d'Alep. La région présente une structure pédologique pauvre en éléments nutritifs, avec présence d'accumulations calcaires réduisant la profondeur de sol utile, une couverture végétale maigre et un contenu en matière organique bas, sensible à la dégradation et par voie de conséquence à l'érosion et sont en plus affectée par des épisodes pluvieux de forte intensité, d'où apparition de l'érosion hydrique dans les zones en pente, est soumise continuellement à des pressions humaines croissantes et incontrôlées, qui constituent une menace directe pour le renouvellement des ressources biologiques et pour l'équilibre écologique de la zone, phénomène qui contribuent le plus à accroitre le risque de désertification.

D'après le diagramme ombrothermique de Gaussen (fig.2) la période sèche s'étend toute l'année. Quant au Climagrammepluviothermique d'Emberger (fig. 3), la région de Boussaâda est située dans l'étage bioclimatique Saharien supérieur à hiver chaud.

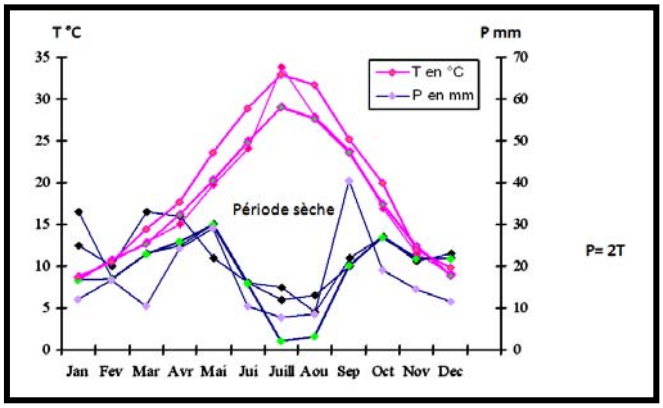

Figure 03 : Diagramme ombrothermique de GAUSSEN dans la région de Boussaâda (1913-2009).

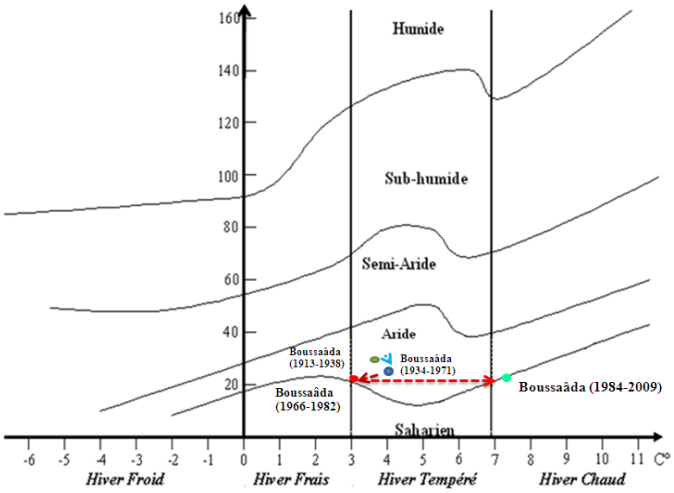

Figure 04 : Situation de la région de Boussaâda dans le Climagramme d'Emberger, période (1913-2009).

Les formations lithologiques sont des calcaires qui sont des roches du substrat très résistantes, alternés des fois avec les poudingues occupant la partie Nord et Nord Est de la zone d'étude, et peuvent se distinguer en trois types : calcaires zoogènes, calcaires sub-récifaux et calcaires dolomitiques, ils se caractérisent par leur forte résistance indiquant une faible perméabilité. Les marnes gypseuses qui sont des formations composées par des marnes gypseuses avec des intercalations de calcaire et des grés, qui sont situées au Nord et à l'Ouest de la zone d'étude, ces terrains présentent globalement une perméabilité faible, et les alluvions qui sont constitués par des dépôts quaternaires récents et anciens, meubles détritiques : galets, gravier avec une dominance des terrains argileux, qui s'observent dans la majeure partie de la zone d'étude, ces terrains sont imperméables favorisant l'écoulement ainsi que l'érosion des terres. Dans ces conditions de l'environnement se développent une micromorphologie particulière, caractérisée par la présence de petites rigoles (fig.5)

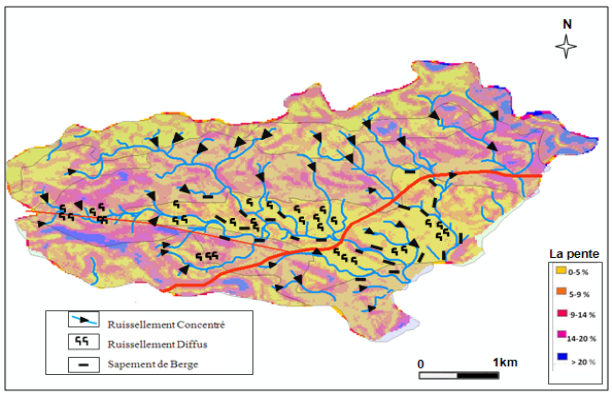

Figure 05 : Carte des formes d'érosion à la station d'ELHAMEL (BOUSSAADA)

III.MATERIELS ET METHODES

MATERIELS
DONNEES IMAGES

Images satellites ETM+ du 24/03/2006 typesLandsat 5 de 30 m de résolution (fig.6). Elle a été choisie durant la période du printemps où l'appréciation du couvert végétal (mise en défens et parcours steppiques) et les ressources
en eau sont possibles. L'image a été intégrée dans un SIG (ArcGis) pour pouvoir extraire et mettre à jour les informations cartographiques et thématiques (réseau routier, limites des agglomérations, les dunes et lignes par feu) provenant des anciennes cartes topographiques existantes (IGN, 1957).

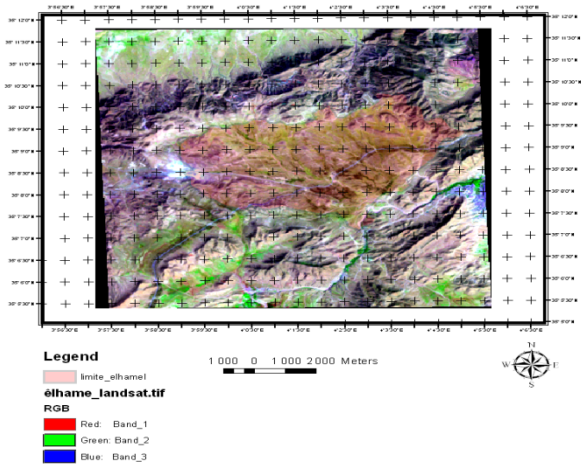

Figure 06 : image en trichromie ETM+ de Landsat 5 du 09/03/2009 de la région d'étude.

DONNEES GDEM[1] (ASTER[2])

Le Modèle Numérique d'Altitude (MNA) type Aster 30m de résolution (fig.7)

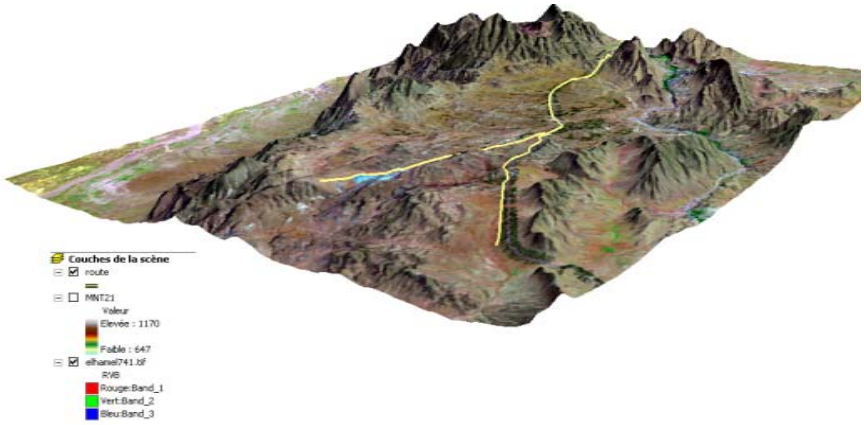

Figure 07 : Image multispectrales drapée sur *GDEM* en 3 dimensions.

Il a été utilisé pour extraire toutes les composantes hydrologiques à savoir :

- la limite du bassin versant,
- le réseau hydrographique (fig.8b),
- le réseau de drainage, et
- le sens d'écoulement etc.,

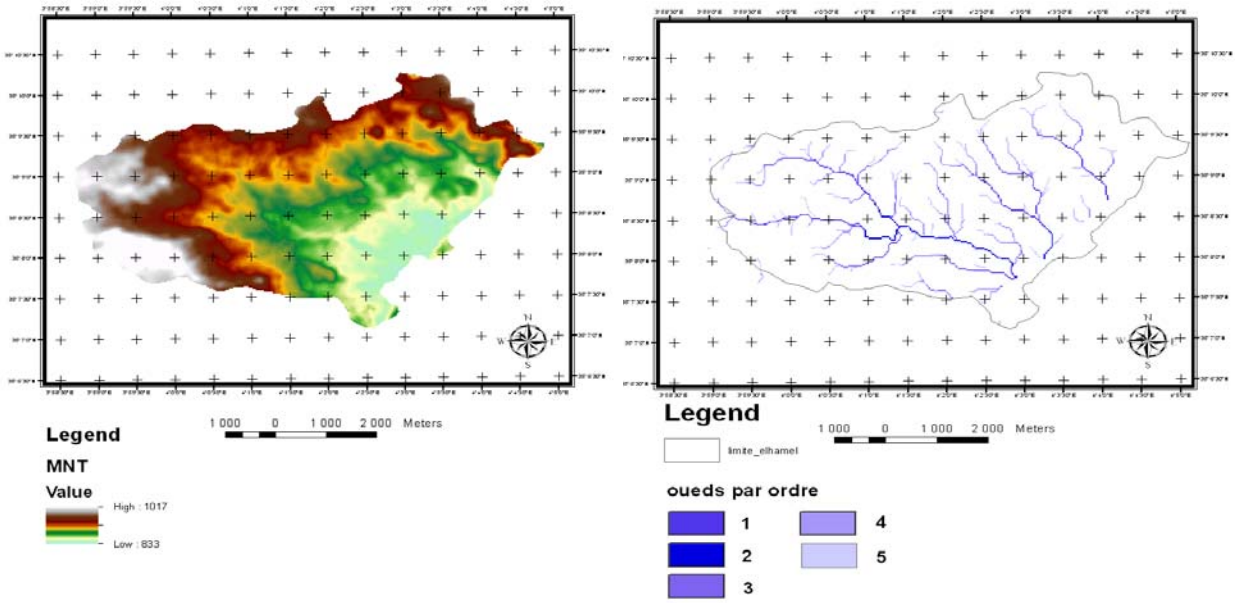

Figure 08 a, b : carte du MNA type Aster et carte des réseaux hydrographiques de la région d'étude

[1] Global Digital Elevation Model
[2] Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer

LES DONNEES CARTOGRAPHIQUES

Elles concernent :

- les cartes topographique au 1/50 000 (IGN[3], 1957 et INCT[4], 2008) ;
- la carte géologique 1/200 000 (ORGM[5],).

AUTRES DONNEES

Elles concernent :

- les données pluviométriques. Ces données seront traitées et complétées en calculant la moyenne pour chaque série ;
- les données sur la population des communes rurales concernent l'effectif de la population par village de l'ensemble de cette commune ainsi que le nombre de ménages.

METHODES

La méthodologie a consisté aussi, à retenir et à étudier d'abord les paramètres des facteurs pertinents influençant le phénomène (l'érosivité de la pluie, l'indice topographique, NDVI et l'érodibilité des sols). Ensuite après une codification individuelle (pondération) des paramètres des différents facteurs ceux-ci ont été croisés sous le logiciel ArcGIS selon un modèle d'érosion des sols de Wischmeier et *al*,. 1978, Universal Soil Loss Equation ou équation universelle de perte en terre (USLE).

Ce modèle cartographique a pour vocation principale de présenter aux décideurs sous forme cartographique un instant, un état qualitatif de l'érosion hydrique au niveau d'une région.

$$A = R.\ K.\ L.\ S.\ C.\ P. \qquad \text{(Eq. 1)}$$

A = perte en terres en tonne/ha
R = facteur d'agressivité climatique
K = facteur sol
L = facteur longueur de pente
S = facteur pente
C= facteur agronomique
P = facteur des aménagements antiérosifs.

Une fois la base de données géographiques constituée, on a choisi une structure maillée au pas de 30 mètres correspondant à la résolution des images satellitales utilisées. La combinaison des différents facteurs d'érosion nous a permis de distinguer 4 niveaux de sensibilité des terrains à l'érosion faible, moyenne, forte et très forte.

L'essentiel du travail a été réalisé suivant l'organigramme méthodologique ci-dessous (fig. 9).

[3] Institut national de géographie
[4] Institut national de cartographie et de télédétection
[5] Office National de Recherche Géologique et Minière

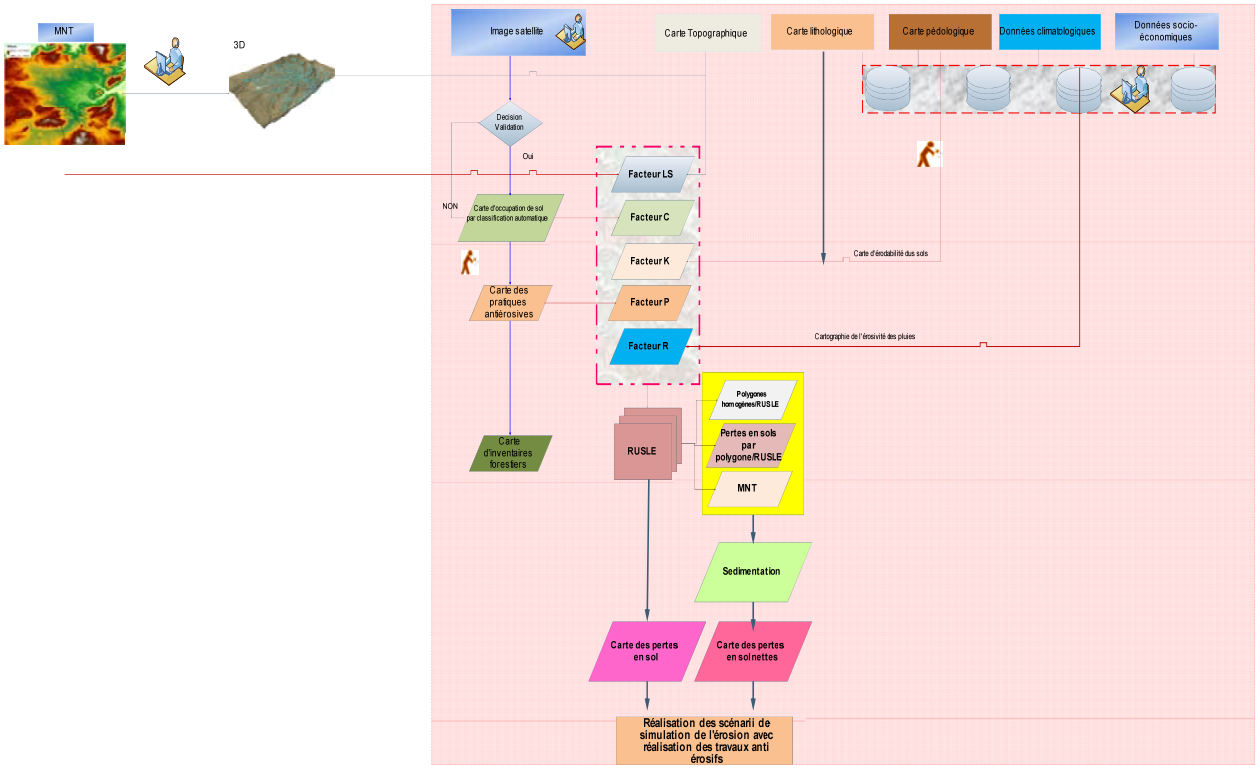

Figure 09 : Organigramme méthodologique

Le facteur climatique R

La pluie est l'élément moteur de l'érosion. Sans précipitation il n'y a pas d'érosion hydrique. Cependant l'intensité est le facteur principal de l'érosion. Plus l'intensité est grande, plus l'effet de battage du sol est prononcé.

Wischmeier défini donc un indice d'érosivité par la relation suivante :

R = 0, 00059. I30 S [(11, 9 + log Ii) hi](Eq. 2)

i : représente une pluviophase d'intensité sensiblement constante

Ii : l'intensité pluviométrique correspondante (mm/h)

hi: hauteur pluviométrique correspondante (mm)

I30 : l'intensité maximale observée en 30 mm (mm/h)

D'après les travaux de Roose (carte de l'érosivité des pluies sur l'Afrique de l'Ouest). Il estime l'indice d'érosivité par la formule R= P/2 avec P= précipitations moyennes annuelles.

Aussi une autre formule de Roose (1977) permet de connaitre la valeur annuelle de R lorsqu'on ne dispose que des précipitations. :

R= 0,0295.P1 **(Eq. 3)**

P1= 206.06 mm, la moyenne annuelle de l'année 2009.

Dans notre cas R ≈7t/ha/an (fig.10).

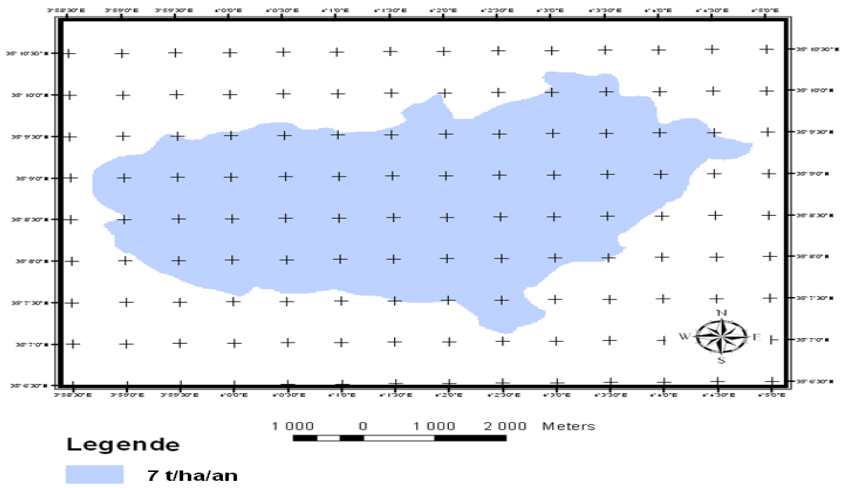

Figure 10 : Carte d'indice d'érosivité de la région d'étude

Le facteur pente S

La pente a une grande influence puisqu'elle fournit son énergie érosive à l'eau. L'inclinaison de la pente agit directement sur la vitesse du ruissellement, accélérant le transport solide vers le bas augmentant ainsi l'impact de l'ablation des matériaux détritiques (Dumas P., 2004).

L'indice topographique sera donc le paramètre àconsidéré pour ce facteur.
Le modèle numérique d'altitude (MNA) obtenu à partir du satellite Aster (30m) de la zone d'étude, a permis d'établir une carte d'altitude (hypsométrie) et une carte des classes de pente (fig.11), d'aspects, de concavités et convexités et le facteur LS. Le nombre de classes a été choisi en fonction de nos connaissances du terrain (tableau 1).

Tableau 1 : classe des pentes dans le bassin versant d'étude

Classe de pente	
0 – 3 %	Nulle
3 – 6 %	faible
6 – 12.5 %	modéré
12.5 – 25 %	forte
>25 %	Très forte

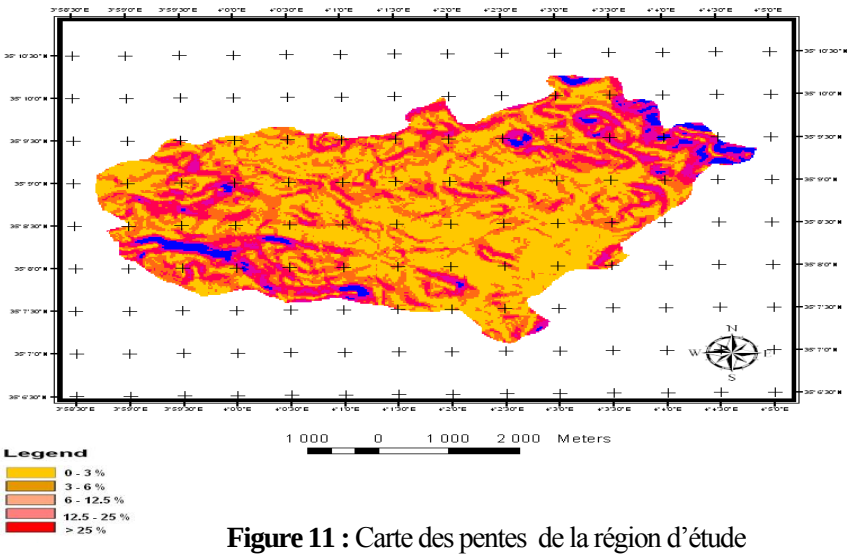

Figure 11 : Carte des pentes de la région d'étude

Le facteur topographique LS

Ce facteur représente l'effet combiné de la longueur et l'inclinaison de la pente (fig.12). Il joue un rôle important avec la raideur et la longueur de la pente (à partir de l'endroit où les éléments du sol sont détachés jusqu'à l'endroit où ils sont déposés (Brooks, 1992).
Une équation empirique a aussi été développée par David (1987) pour calculer les valeurs du facteur LS.

$$LS = 0.10 + 0.12 * S\ 4/3 \quad \text{(Eq. 4)}$$

Où S est la pente en %.Ce facteur est calculé en utilisant les fonctions de MapCalculatord'ArcGis.

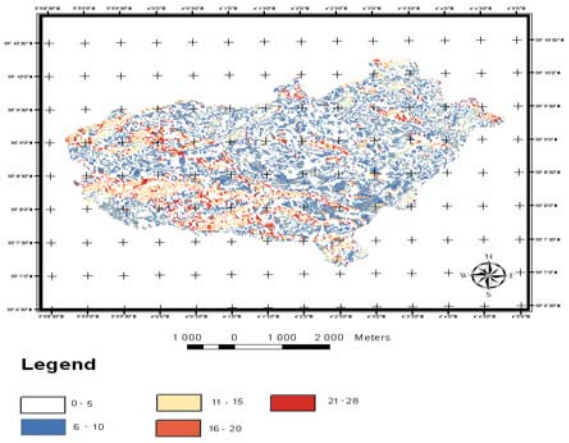

Figure 12 : Carte du facteur LS de la région d'étude

Facteur érodabilité des sols K.

Le facteur « K » exprime la vulnérabilité du sol à être érodé par la pluie. Ce facteur dépend des propriétés physiques et chimiques du sol (granulométrique, agrégation, stabilité structurale, porosité, teneur en matière organique, etc.). La résistance à l'érosion hydrique est plus faible pour les sols peu épais que pour les sols profonds (RYAN, 1982). Ainsi, lorsque des sols superficiels sont saturés en eau par les pluies, il se produit un déplacement de particules vers le bas de la pente, même si celle-ci est très faible.
Wischmeier et *al*. (1971) présente un nomogramme (fig.13) permettant d'évaluer cet indice avec une précision acceptable (+ ou - 0.05 t ha-1 MJ-1mm-1 ha h) si l'on possède la connaissance des cinq paramètres du sol suivants:

- % de limon et de sable très fin,
- % de sable (0.1 mm – 2.0 mm),
- % de MO, la structure, et
- la perméabilité du sol.

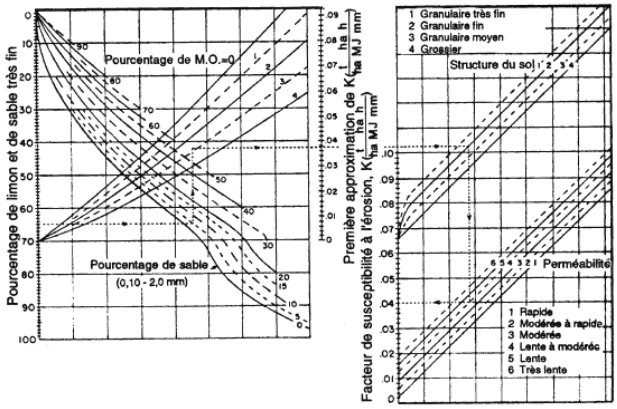

Figure 13 : Nomogramme de Wischmeier pour estimer l'indice d'érodabilité des sols à l'érosion hydrique (adapté de Foster, 1981).

Pour la détermination de ce paramètre, nous avons retenu l'équation celle Wischmeier et Smith (1978). Elle a été appliquée en Tunisie (région semi-aride).

Le facteur K est déterminé suivant la formule de Wischmeier et Smith (1978) qui basée sur la texture des sols (M= (% sable fin + % de limon)*(100-% argile), de la teneur en matière organique (a), de la structure du sol (b) qui est compris entre 1 et 4 et de la perméabilité (c) comprise entre 1 et 6, suivant l'équation suivante :

$$1000\ k = 2.1 * 10\text{-}4 *(12\text{-}a)\ M1.4 + 3.25\ (b\text{-}2) + 2.5\ (c\text{-}3) \quad \textbf{(Eq. 5)}$$

En partant de la carte pédologique, et en nous appuyant sur notre connaissance du terrain, nous avons classifié, puis codifié, les différentes unités de sols (cf. Tab. 2), ce qui a permis de dresser une carte d'érodabilité.

Tableau 2. Érodibilité des sols K (t*ha*h*/ha/MJ/m

Type de sol	K1*	K retenu
Rendzines sur roche dure calcaire et sur croûte	0,039	0,05
Sols bruns calcaires	0,054	0,046
Sols peu évolués d'apport associés à des sols minéraux bruts d'érosion et quelques sols calcimagnésiques carbonatés	0,044	0,055
Sols minéraux bruts d'érosion associés à des sols bruns calcaires	0,06	0,075
Sols minéraux bruts d'érosion associés à des sols calcimagnésiques carbonatés et quelques sols peu évolués d'apport	0,043	0,044

**K1 : calculé suivant l'équation de Wischmeier et al. 1978*

Source : mappemonde (Ben Cheikha L. et al 2008).

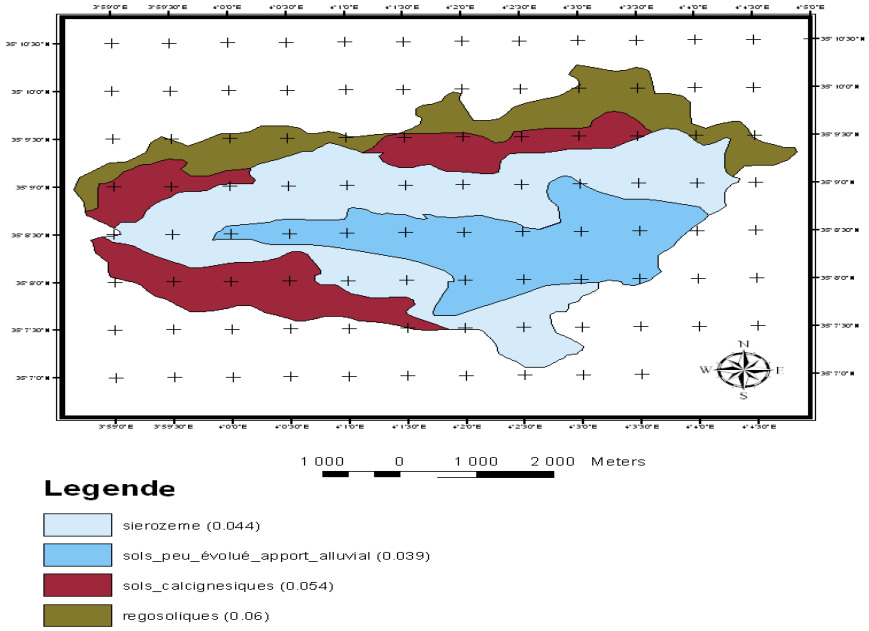

Figure 14 : Carte d'indice d'érodabilité de la région d'étude

Le facteur occupation du sol « C »

La couverture végétale est l'élément essentiel de la protection du sol contre l'érosion. Elle renseigne sur le degré de protection du sol. En effet la couverture végétale permet la diminution de l'effet "splash sur les sols. De même les racines des arbres et des plantes fixent le sol et favorisent l'infiltration. Les feuilles des plantes en tombant se transforment en matière organique toute chose qui contribue à la cohésion du sol. Un sol bien couvert par la végétation ralentit l'écoulement des eaux tandis qu'un sol nu est plus exposé à l'érosion.

La carte de répartition des formes végétales est extraite de la carte de l'occupation des terres de la région (fig.15). Les formations végétales ont été classées en fonction de la densité, de la hauteur et du système cultural (tableau 03. source Sadik et *al*., 2004).

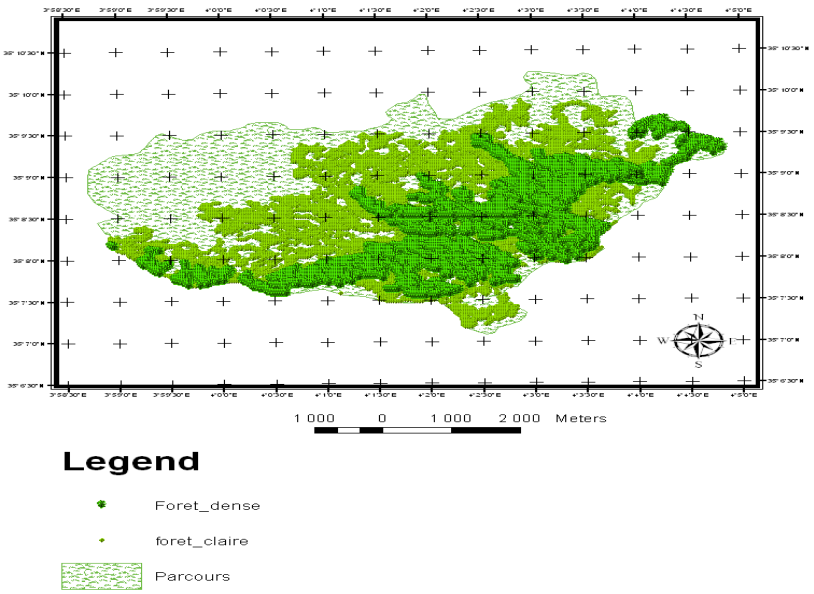

Figure n 15 : Carte d'occupation du sol de la région d'étude.

L'indice de végétation

Le coefficient C utilisé dans notre cas c'est celui calculé par télédétection : le NDVI (fig.16).

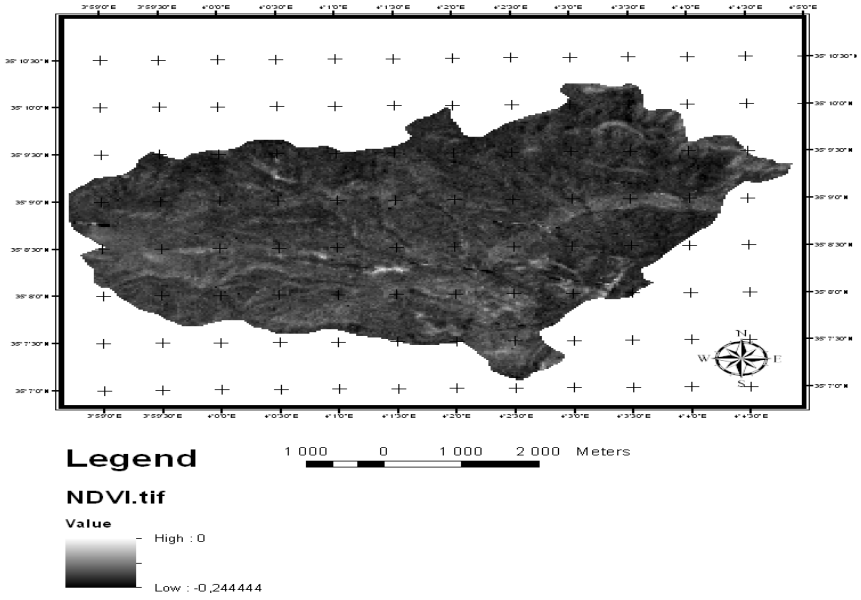

Figure 16 : Indice C calculé par NDVI à partir d'image ETM+ de Landsat 5 du 09/03/2009 de la région d'El Hamel.

Le facteur pratiques antiérosives « P » ou de conservation.

Le facteur « P » exprime l'influence des méthodes de conservation sur l'érosion.

N.B : Il n'ya aucune étude de modélisation de ce paramètre. Seules des observations de terrain pourraient permettre de le calculer par comparaison de la perte de sol avec les pratiques antiérosives et de la perte sur le même sol sans aucune pratique.

Les cultures en courbes de niveau, en bandes alternées ou en terrasses, les reboisements en banquettes, le buttage et le billonnage sont les pratiques les plus efficaces de conservation des sols. Les valeurs de P sont inférieures ou égales à 1. La valeur 1est attribuée aux terrains sur lesquels aucune des pratiques citées n'est utilisée. Les valeurs de P varient selon la pratique adoptée et aussi selon la pente. Dans tout le bassin versant d'El Hamel, il n'y a pas d'aménagements antiérosifs. Dans ce contexte, la valeur P = 1 a été attribuée à toute la superficie du bassin.

APPLICATION DU MODELE USLE SOUS ARCGIS

En appliquant l'équation USLE aux valeurs obtenues par croisement sous ArcGis (fig.17), et en utilisant la fonction MapCalculator, on peut ainsi obtenir la carte de l'évaluation des risques d'érosion de la zone.

En ont effectué une intégration et un croisement des données sous SIG. A partir de ces donnés on extrait des indicateurs de risque en fonction de leur contribution au phénomène de l'érosion. Trois facteurs ont été pris en compte :

- la pente classée en trois classes (faible, moyenne et forte) ;
- l'Erodabilité des sols en 3 classes (faibles, moyennes et fortes) ;
- LS ;
- l'occupation des sols, extraite de l'analyse par télédétection (NDVI) ;
- la pluviométrie (Intensité) ;
- le facteur permettant de renseigner sur le degré de protection de la couverture des sols.

Une fois la base de donnée géographique constituée, on a choisi une structure maillée (30m) qui correspond à la résolution de l'image satellitale (pixel = 30 m), à la quelle on applique une analyse multicritère reposant sur des paramètres qualitatifs permettant en combinant les différents facteurs d'érosion de distinguer 4 niveaux de risque des sols à l'érosion (faible, moyen, fort et très fort).

La mise en évidence d'un indicateur de risque des sols à l'érosion à l'échelle du bassin versant est faite en affectant une pondération aux quatre (04) indices de risque.

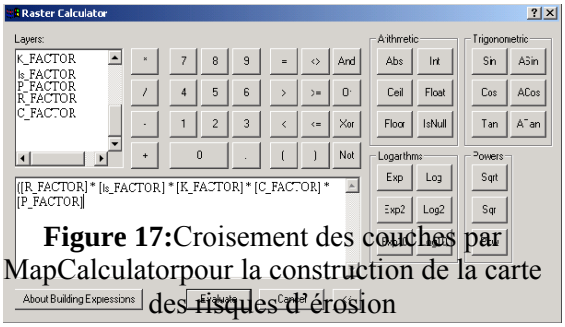

Figure 17: Croisement des couches par MapCalculatorpour la construction de la carte des risques d'érosion

IV.RESULTAT ET DISCUSSION

En se référant aux cartes des différents facteurs et à la carte finale (fig. 18), la concentration des forts risques de vulnérabilité à l'érosions aux piémonts et au centre s'explique par le fait que les piémonts se trouvent d'une part dans la zone des fortes érosivités (sierozems), peu protéger par le couvert végétal et d'autre part ils présentent des niveaux d'élévation moyennes. En effet, malgré son faible niveau d'élévation le centre présente des sols peu évolués d'apports alluviaux très profonds mais très érodables (érosion en rigoles et laminaire) et ils sont beaucoup soumis à la battance des pluies quoiqu'elle soit protégée par le barrage vert. A partir de ce constat on peut dire que dans la région du centre on n'a pas un autre aspect d'érosion qui constitue un danger pour le devenir du bassin versant et de la région on réduisant la surface des sols du bassin versant c'est les sapements de berges.

Les sols peu évolués et les sierozems et calcimagnésiques occupent la majeure partie de la région (1861.21 hectares) de ce fait leurs risques sont élevés.

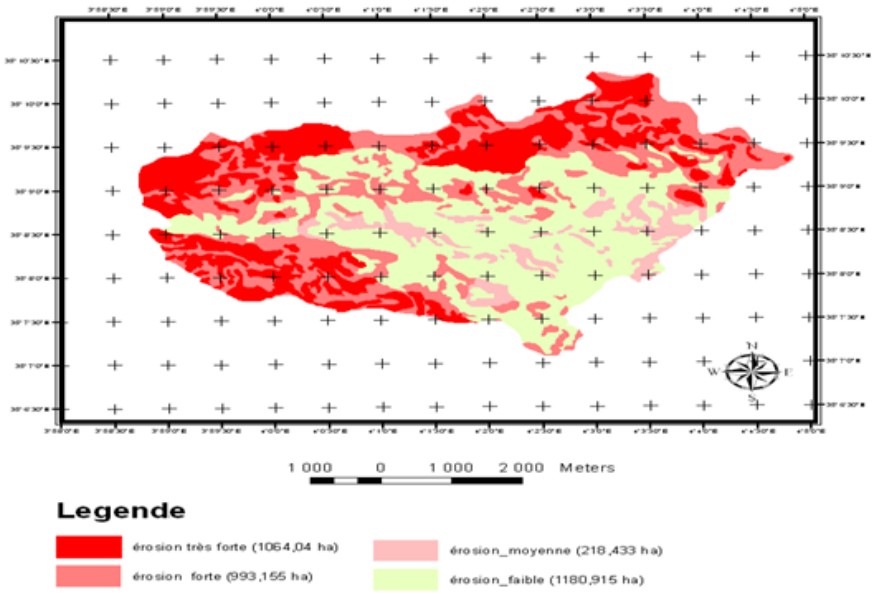

Figure 18 : Carte du risque d'érosion hydrique de la région du barrage vert d'El Hamel.

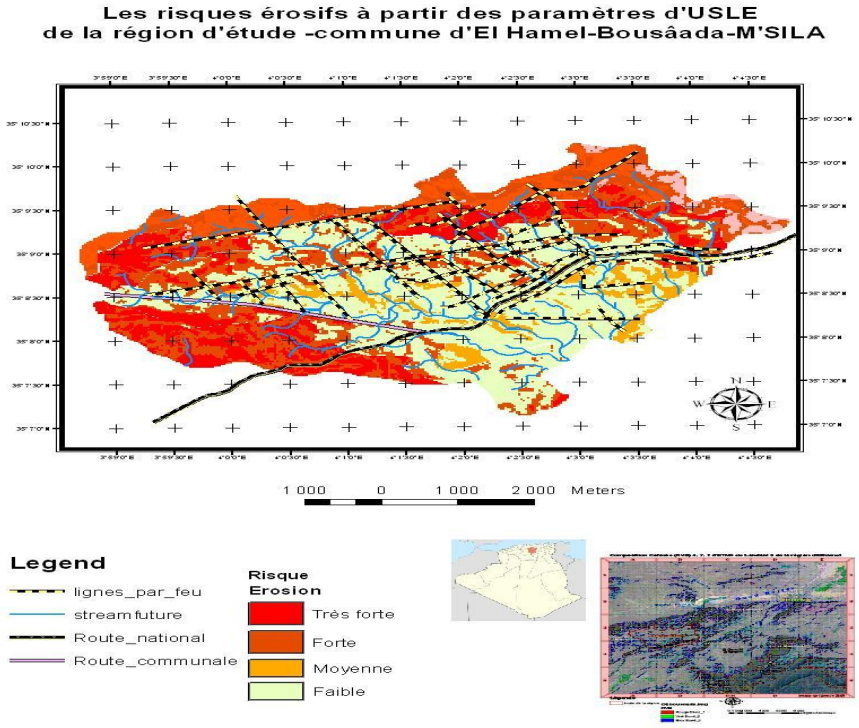

Figure 19 : carte des risques érosifs à partir de l'équation USLE de wischmeier de la région d'El Hamel commune de Boussaâda wilaya de M'sila

CONCLUSION

Les résultats de l'application de l'équation universelle de pertes en sol à l'aide d'un système d'informations géographiques dans le bassin versant d'el Hamel a montré que le bassin versant perd en moyenne 7 t/ha/an. Cette valeur correspond à une érosion très élevée des sols sous un climat agressif avec des précipitations faibles mais à caractère orageux. D'où apparition des ravinements et des ravins sur des surfaces de terrains nus décapés sur des pentes fortes avec un indice d'érodabilité > à 3.

Le manque des ouvrages antiérosifs a permis aussi les sapements des berges qui constituent une menace permanente et la plus importante dans notre zone d'étude.

La méthode des pertes en sols USLE sous SIG apporte une aide importante aux décideurs et aux aménageurs pour simuler des scénarios d'évolution de la région et planifier les interventions de lutte contre l'érosion, surtout dans les zones où l'érosion en nappe est prédominante sur l'érosion linéaire. Elle permet aussi de suivre l'impact de ces aménagements antiérosifs dans la région.

Ce travail se veut néanmoins un modeste point de départ pour la réalisation d'un SIG de la région, qui pourrait poursuivre plusieurs buts :

- *une évaluation des risques d'érosion des sols d'un bassin versant de 5000 ha, qui alimente les oueds de la région en particules solides en suspension (poussière) et/ou en sable ;*
- *identifier, dénombrer et modéliser les composantes physiques du milieu naturel du bassin versant et anthropique pour servir de variables d'entrée dans le modèle RUSEL qui, couplé avec un SIG, a permis de produire un ensemble de cartes représentant les zones à risques d'érosion des sols ;*
- *fournir un outil d'aide à la décision de la région, en permettant par exemple la mise en place de nouvelles zones de reboisement de protection contre l'érosion hydrique;*

- *offrir une plate-forme de connaissance de la région pour la population, par l'intermédiaire d'une future interface web par exemple.*

Néanmoins, il faut bien souligner que l'outil SIG a servi essentiellement à la création de cartes en tant que support visuel et explicatif; or, au niveau de la restauration interactive du bassin versant, les potentialités de cet instrument sont considérables et méritent d'être approfondies dans la phase suivante du projet. Cependant, il apparaît que la base de données créée lors de ce travail pourra potentiellement servir d'embryon à un véritable SIG couvrant de nombreuses thématiques de la région.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

1. **BEN CHEIKHA L. ET GUEDDARI M., (2008)** : Le bassin versant du Jannet (Tunisie): évaluation des risques d'érosion hydrique mappemonde N° 90 (2-2008).
2. **BOU KHEIR R., GIRARD M-CI., KHAWLIE M. ET ABADALLAH C. (2001)** : Erosion hydrique des sols dans les milieux méditerranéens : une revue bibliographique. Etude etGestion des Sols Volume 8, 4, 2001-Pp 231-245.
3. **BROOKS K.N., FFOLLIOTT P.F., GREGERSEN H.M., THOMAS J.L.,(1992).**Hydrology and the management of watersheds.First edition ed. Ames, Iowa State University Press.
4. **Centre Canadien de Télédétection CCT**, **(2002).** Le Spectre Electromagnétique. Tutoriel de Télédétection : Notions Fondamentales de Télédétection. Ressources Naturelles Canada. On line,http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials/fundam/chapter1/chapter1_3_f.html
5. **Commitee on Earth Observation Satellites CEOS,(2002).**on line: http://disaster.ceos.org.
6. **COING P., (2002).** Suivi par télédétection basse résolution, de la dynamique temporelle de la teneur en eau de la végétation méditerranéenne, pour la prévention du risque de feu de forêt. Mastère Spécialisé en Sciences Forestières, Engref, Nancy.
7. **COLWELL J.E., (1974).**Vegetation canopy reflectance. Remote Sensing of Environment, vol.30, pp.175-183.
8. **DAURIAC F., DESHAYES M., GILLON D., ROGER J.-M., (2001).** Suivi de la teneur en eau de la végétation méditerranéenne par télédétection. Application au risque de feu de forêt. Colloque SIRNAT 2001 (Systèmes d'Information pour les Risques Naturels), Sophia Antipolis, 6-7 décembre 2001, 10 p.
9. **DAVID W.P., (1987).**Soil and water conservation planning.Policies, Issues and recommendations.DENR Quezon City.
10. **DUMAS J. (2004) :** Caractérisation des littoraux insulaires : approche géographique par télédétection et S.I.G. pour une gestion intégrée, Application en NouvelleCalédonie. Thèse de doctorat, Orléans, 402 p.
11. **F.A.O, (1983).**Garder la terre en vie: l'érosion des sols, ses causes et ses remèdes. Bulletin pédologique 50: 62 p.
12. **GIRARD M.C. ET GIRARD C.M., (1989).** Télédétection appliquée en zones tempérées et intertropicales. Collections Sciences Agronomiques, Masson, 260 p.
13. **GIRARD M.C., GIRARD C., (1999).** Traitement des Données de Télédétection. Dunod. Paris.
14. **LYMBURNER L., BEGGS P.J., JACOBSON C.R., (2000).**Estimation of canopy-average surface-specific leaf area using Landsat TM data.Photogrametric Engineering & Remote Sensing, vol.66, pp.183-191.
15. **MERZOUK A., RAYAN J., KACEMI M., (1994).** A perspective on soilerosion in Morroco's dry land semi-arid zone. Actes du colloque International des Sciences du Sol: « Sciences du sol au développement », Rabat, Maroc, 6-8 Avril 1993,12 p.

16. **NAFO I. I., (2000).**conservation des sols avec l'aide du sig et de la teledetection. Exemple d'utilisation d'un SIG et de la Télédétection pour l'estimation des pertes en terre dans un petit bassin à l'Ouest du Mali, 11p.
17. **PEREZ-TREJO, (1994).**Desertification and land degradation in the EuropeanMediterranean. EUR 14850 EN. Office for Official Publications of the EuropeanCommunities, Luxembourg.
18. **Puech C., (1993).** Détermination des états de surface par télédétection pour caractériser les écoulements des petits bassins versants. Thèse de doctorat, Université J.Fourier, 202p.
19. **ROOSE, E. (1977).** Erosion et ruissellement en Afrique de lv Ouest - Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales; Paris.
20. **B.ROY & D.BOUYOUSSOU (1993).**'Méthodes multicritères d'aide à la décision ' Economica PARIS 1993.
21. **RYAN J., (1982).** A perspective on son erosion and conservation in Lebanon. Publication 69, American University of Beirut, 15-38.
22. **SADIKI A., BOUHLASSA S., AUAJJAR J., FALEH A. & MACAIRE J-J., (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 . Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre, 2004, n°26, p. 69-79.
23. **USDA (2008).** Revised Universal Soil Loss Equation Version 2 (RUSLE2) Submitted to USDA-Agricultural Research Service Washington, D.C. May 13, 2008.
24. **VINCKE PH. (1989). ‘’** l'aide multicritère d'aide à la décision '' Edition de l'université de Bruxelles 1989.
25. **WISCHMEIER W.H. & SMITH D.D. (1978).**Prediction rainfall erosion losses, a guide to conservation planning Science.U.S. Dept. Agriculture.Agric. Handbook 537, 60 p.

Sites internet:

IFN : http://www.ifn.fr
Ifen : http://www.ifen.fr
Landsat : http:/geo.arc.nasa.gov
Spot : http://www.spot.com