

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR- ANNABA



جامعة باجي مختار عنابة

Faculté : Sciences de L'Ingéniorat

Département : Hydraulique

MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Cartographie de vulnérabilité à l'érosion hydrique du bassin
Versant de la Seybouse

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Hydraulique

Spécialité : Ressources hydriques

Par : Derdous Ibtissem

Bennacer Imene

DEVANT LE JURY

Président : Pr. Meksaouine Mouhamed U.B.M. Annaba

Directeur de mémoire : Pr. Ouerdachi Lahbassi U.B.M. Annaba

Examineur : MCB. Moussaoui Moufida U.B.M. Annaba

Résumé :

L'érosion et la dégradation des sols ont des conséquences majeures sur le milieu naturel et le développement agricole dans les régions semi-arides. L'érosion entraîne une perte de la fertilité des sols et leurs capacités de rétention, une chute des rendements des cultures et une diminution du revenu des populations rurales. Elle entraîne également la sédimentation des barrages, le colmatage des canaux, la salinisation des eaux et la pollution de l'environnement d'une manière générale. L'objectif de ce présent travail est d'estimer les pertes en sol au niveau du bassin versant de la Seybouse par l'utilisation de l'équation universelle des pertes en sol révisée (RUSLE) de Wischmeier dans un Système d'Information Géographique. Le modèle de Wischmeier a été adopté pour la modélisation des principaux facteurs impliqués dans les phénomènes érosifs. Les facteurs majeurs sont l'érosivité des pluies (R), l'érodibilité qui dépend des caractéristiques physiques du sol (K), la couverture végétale (C) et, du relief (LS) et de l'action humaine sur le sol (P). Le calcul de ces facteurs dans la zone d'étude montre une forte érosivité R variant de 166 à 346, une érodibilité des sols K comprise entre 0,03 à 0,07, un facteur topographique LS varie de 0 à 35 et une couverture végétale modérée avec un facteur C qui varie de 0 à 1. La superposition des différentes cartes de ces paramètres, faite sous ArcGis, nous a permis de déduire la carte de perte en sol. Cette dernière montre que le phénomène d'érosion touche l'ensemble du bassin mais à des niveaux différents. Le taux moyen des pertes en sol est de 63 t/ha/an ; 9,93 % de la superficie du bassin versant présente une érosion faible (inférieure à 30 t/ha/an) enregistrée principalement au niveau du haut bassin tandis que 22 % de la superficie du bassin est exposée à une érosion forte (supérieure à 110 t/ha/an) Ces zones sont caractérisées par une pente forte, une érodibilité élevée et une érosivité de pluies importante.

Mots clés:

Bassin Seybouse, Erosion hydrique, RUSLE, SIG.

Abstract:

Erosion and soil degradation have major consequences on the natural environment and agricultural development in semi-arid regions. Erosion leads to a loss of soil fertility and retention capacity, a drop in crop yields and a decrease in the income of rural populations. It also leads to the sedimentation of dams, the clogging of canals, the salinization of water and the pollution of the environment in general.

The Seybouse watershed is located in northeastern Algeria. It occupies an area of 6471 km² and includes six elongated sub-basins.

The objective of this paper is to estimate soil losses at the Seybouse watershed by using Wischmeier's Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a Geographic Information System. The Wischmeier model has been adopted for modeling the main factors involved in erosive phenomena. The major factors are the erosivity of the rains, the vegetation cover and the erodibility which depends on the physical characteristics of the soil, the human action on the ground and the relief.

The basin shows an erosivity R of 166 to 346. The erodibility of soils K varies from 0.03 to 0.07. The topographic factor LS varies from 0 to 35 and moderate average vegetation cover from 0 to 1. The superposition of the different maps of these parameters is done on ArcGis. It allowed us to deduce the map of soil loss. The latter shows that the erosion phenomenon affects the whole basin but at different levels. The average rate of soil losses is 63 t / ha / year; 9.93% of the catchment area has low erosion (less than 30t / ha / year) and is mainly recorded upstream of the basin. 22% of the basin area is exposed to strong erosion (between 110 and 234 t / ha / yr). These areas are characterized by a steep slope, high erodibility and high rainfall erosivity.

Key words:

Seybouse Basin, Water Erosion, Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), Geographic Information System (GIS).

ملخص:

إن تعرية و تدهور التربة من النتائج الوخيمة الرئيسية التي تلحق الوسط البيئي والتنمية الزراعية في المناطق الشبه قاحلة، بحيث تؤدي التعرية إلى فقدان خصوبة التربة وقدرتها على حبس الماء، انخفاض في منتوجات الأراضي الزراعية ودخل سكان الأرياف، بالإضافة إلى ترسيب السدود، سد القنوات، تملح المياه، والتلوث البيئي بشكل عام.

ويكمن الهدف من هذه الدراسة في تقدير خسائر التربة في حوض السيوس المائي باستخدام المعادلة العالمية المنقحة (RUSLE) ل "فيشمير" في نظام المعلومات الجيوغرافية.

وقد تم اعتماد نموذج "فيشمير" لتجسيد العوامل الرئيسية لظواهر التعرية، والتي تتمثل في تآكل الأمطار، الغطاء النباتي والتعري الذي يعتمد على الخصائص الفيزيائية للتربة، النشاط البشري على الأرض والتضاريس.

يقع حوض السيوس في شمال شرق الجزائر، وتبلغ مساحته 6471 كم² ويشمل ستة أحواض فرعية ممدودة، بحيث تظهر هذه الأخيرة تعرية (R) من 166 إلى 346، وتتراوح قابلية التعرية (k) من 0.0 إلى 0.07، أما العامل الطبوغرافي (LS) فيتغير من 0 إلى 35 ويتميز حوض السيوس بغطاء النباتي معتدل يتراوح من 0 إلى 1.

يتم تركيب الخرائط المختلفة لهذه المعلومات على ArcGis، الذي يسمح لنا باستنتاج خريطة فقدان التربة، هذه الأخيرة تبين أن ظاهرة تعري التربة تؤثر على الحوض بأكمله ولكن على مستويات مختلفة، فمتوسط معدل فقدان هو 63طن/هكتار / السنة، و تؤثر التعرية بنسبة منخفضة على 9.93% من هذا (أقل من 30 طن /هكتار/ السنة) التي يتم تسجيلها بشكل رئيسي في اتجاه المنبع من الحوض، وتتعرض 22% من مساحته إلى تعرية قوية (ما بين 110 و 234طن / هكتار / السنة)، كما تتميز هذه المناطق بمنحدر حاد، تعرية شديدة وتآكل شديد في الأمطار .

الكلمات المفتاحية:

حوض السيوس، التعرية المائية، المعادلة المنقحة العالمية لفقدان التربة، نظام المعلومات الجغرافية.

Dédicace

Je dédie ce travail :

A ma chère mère,

A mon cher père,

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mon frère Oussama,

A ma chère sœur Imen et son mari Farid et son adorable fils Adam,

A ma chère sœur Nour El Houda et son mari Alla,

Pour leur soutien moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

A ma sœur jumelle rym,

Pour toute la complicité et l'entente qui nous unissent.

A mes chers amis : Manel, Rabeb, Amina, Marwa, Raouf et Nafaa,

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

Ibtissem.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail a :

A ma chère mère,

le soleil de mon cœur qui m'a donné la vie en sacrifiant la sienne pour me voir réussir, pour son amour et ses conseils.

A mon cher père pour son aide et ses encouragements.

Une dédicace spéciale :

A ma deuxième mère : Nacera

A mes chères sœurs : Hadjer et Rana

A mon cher frère : Mohamed Nidhale

A mes cousines: Wafa, Bouthaina, Radja, Aya et Kawther

A mes amies : Leila, Nachwa, Roumaissa, Ines et Marwa

A tous ceux que j'aime

A toute la promotion d'hydraulique 2019

Imene.

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Mr. OUARDACHI LAHBASSI, son précieux conseil et son aide durant toute la période du travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions.

On tient à remercier tout particulièrement Mr DERDOUS OUSSAMA maître de conférences en hydraulique à l'Université de Ouargla et Mr BOUGUERRA HAMZA docteur en hydraulique qui ont répondu avec patience et passion à nos questions.

On remercie également Mr REHAMNIA SAAD ALAA EDDINE ingénieur d'état en architecture pour ses conseils concernant la télédétection.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

6.3	Modèle d'Érosion hydrique en milieu semi-aride de Forte Énergie de Relief (Tidiane et al, 2011).....	11
6.4	Modèle « Water Prediction Project » (Bhuyan et al, 2003).....	11
6.5	Cartographie de l'aléa « érosion hydrique » (Luneau, 2006)..	12
6.6	Trois indices utilisés pour estimer l'érosion des sols (Atherton et al, 2017)	12
7.	Carte de vulnérabilité d'érosion des sols.....	12

Chapitre II : Cadre d'étude.

1.	Situation géographique.....	14
2.	Les grands ensembles physiques du bassin de Seybouse.....	15
2.1	La zone de hautes plaines (Haute Seybouse).....	15
2.2	Le domaine sud-Tellien.....	16
2.3	Le domaine tellien du Nord.....	16
3.	Le réseau hydrographique.....	17
4.	Typologie de sol.....	17
5.	L'occupation du sol.....	18
6.	Climat.....	19
7.	Pluviométrie.....	20
8.	Température.....	23

Chapitre III : Quantification et cartographie des zones à risque d'érosion.

1.	Le modèle Rusle.....	24
1.1	Facteur d'érosivité des pluies.....	25
1.2	Facteur topographique (LS).....	26
1.3	Facteur d'érodibilité du sol.....	27
1.4	Facteur du couvert végétal.....	28
1.5	Facteur des pratiques antiérosives (P).....	29
2.	Résultats et discussion.....	29
2.1	Résultat.....	29

Sommaire :

Dédicace I VII

Remerciements..... VII

Sommaire..... VII

Liste des figures..... VII

Liste des tableaux..... VII

Introduction générale..... 2

Chapitre I : Aperçu bibliographique.

1. L'érosion
hydrique.....3

2. Mécanisme de l'érosion.....3

2.1 Détachement.....3

2.2 Transport.....4

2.3 Dépôt.....4

3. Différentes formes d'érosion.....4

3.1 Erosion en nappe ou érosion diffuse.....4

3.2 Erosion en rigoles.....5

3.3 Erosion en ravines.....5

4. Cause d'érosion et facteurs de résistance en milieu.....6

5. Conséquence de l'érosion hydrique.....7

5.1 Les pertes des terres arables et la diminution de la fertilité des sols.....7

5.2 Envasement des barrages.....8

5.3 La dégradation des infrastructures.....9

5.4 Les conséquences sur l'agriculture.....9

6. La modélisation de l'érosion hydrique.....10

6.1 Méthode « Universal Soil Loss Equation » (Wischmeier et Smith).....10

6.2 La méthode PAP/CAR.....10

2.1.1 Facteur R.....	29
2.1.2 Facteur LS.....	30
2.1.3 Facteur K.....	31
2.1.4 Facteur C.....	31
2.1.5 Facteur P.....	32
2.1.6 Estimation des pertes de sols.....	33
2.2 Discussion.....	35
Conclusion générale.....	36
Références bibliographiques.....	38

Liste des figures

Figure I.1- Mécanismes de l'érosion hydrique.....	3
Figure I.2- Érosion hydrique en rigole	5
Figure I.3- Ravins profonds.....	6
Figure I.4- Envasement du barrage d'IghilEmda.....	9
Figure II.1- carte de situation géographique du bassin versant de la Seybouse.....	14
Figure II.2- Position du bassin-versant de la Seybouse en Algérie.....	16
Figure II.3- Carte hydrographique du bassin versant de la Seybouse.....	17
Figure II.4- Carte des sols du bassin versant de la Seybouse.....	18
Figure II.5- Carte d'occupation du sol du bassin versant de la Seybouse.....	19
Figure II.6- Carte simplifiée des domaines bioclimatiques du bassin Seybouse ...	20
Figure II.7- Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Annaba ville (1986-2009).....	21
Figure II.8- Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Guelma (1975-2009).....	22
Figure II.9- Variation des températures moyennes mensuelles dans la station d'Annaba (1972-2009).....	23
Figure II.10- Variation des températures moyennes mensuelles dans la station De Guelma(1985-2009).....	23
Figure III.1- Organigramme de la méthodologie utilisée.....	24
Figure III.2- Carte des précipitations moyennes annuelles du bassin de la Seybouse.....	25

Figure III.3- Carte des pentes du bassin versant de la Seybouse.....	26
Figure III.4- Triangle de code de texture du sol basé sur la classification texturale (Centre ontarien d'évaluation des ressources en sols ,1993).....	27
Figure III.5- Bandes spectrale.....	29
Figure III.6- Carte de répartition du facteur R dans le bassin versant de la Seybouse.....	30
Figure III.7- Carte de répartition du facteur LS dans le bassin versant de la Seybouse.....	30
Figure III.8- Carte de répartition du facteur K dans le bassin versant de la Seybouse.....	31
Figure III.9- Carte de répartition du facteur C dans le bassin versant de la Seybouse.....	32
Figure III.10- Carte de répartition du facteur P dans le bassin versant de la Seybouse.....	32
Figure III.11- Carte du risque érosif dans le bassin versant de la Seybouse.....	33

Liste des Tableaux

<i>Tableau I.1- Appellation des lignes d'écoulement (Roose, 1994)</i>	6
<i>Tableau I.2- Processus de dégradation, causes, les facteurs de résistance du milieu. (Roose, 1994)</i>	7
<i>Tableau I.3-l'état d'envasement des barrages algériens</i>	8
<i>Tableau II.1- Précipitations moyennes mensuelles en (mm) des quatre stations : Annaba et Guelma (Période 1975-2009)</i>	20
<i>Tableau II.2- Températures moyennes mensuelles en °C à la station d'Annaba (1972-2009)</i>	22
<i>Tableau II.3- Température moyennes mensuelles en °C à la station de Guelma (1985-2009)</i>	23
<i>Tableau III.1- Code de texture du sol basé sur la classification texturale (USDA, 1983)</i>	28
<i>Tableau III.2: Classes des pertes en sols dans la zone d'étude</i>	34

INTRODUCTION GENERALE

L'érosion hydrique est un phénomène complexe, qui menace particulièrement les potentialités en eau et en sol. Elle se définit comme le détachement et le transport de particules d'un sol depuis son emplacement d'origine par différents agents jusqu'à un lieu de dépôt. (AIT ELKADI et EL KEDMIRI, 2014)

En Afrique du Nord, le phénomène de l'érosion hydrique est également très répandu, la majorité des bassins versants étant caractérisée par de fortes dégradations spécifiques dépassant 2000 tonnes/km²/an, ce qui entraîne un envasement moyen annuel des retenues des barrages à raison de 125 millions de m³ (REMINI W. et REMINI B., 2003).

Au Maroc par exemple, l'érosion hydrique provoque annuellement des pertes de sols allant de 500 tonnes/km² à plus de 5 000 tonnes/km² selon les régions et un envasement des retenues des barrages de l'ordre de 75 millions de m³, soit une réduction annuelle de 0,5 % de leur capacité de stockage, ce qui provoque une importante perte concernant les eaux permettant l'irrigation de 10000 ha/an et la détérioration de la qualité de l'eau potable mobilisée (Haut commissariat des eaux et des forêts du Maroc, 2008).

En Algérie, l'érosion est un problème majeur, son intensité varie d'une zone à l'autre, elle devient, en effet, dangereuse dès qu'elle dépasse le seuil tolérable. Ces effets sont néfastes tel que l'envasement des barrages, la détérioration de la qualité des eaux et de la fertilité des sols. D'après (Demmak, 1982), au début des années quatre vingt, environ 120 millions de tonnes de sédiments se sont arrachés annuellement au niveau des bassins versants du nord algérien.

Le but de cette étude est d'évaluer les pertes en sols causées par l'érosion hydrique dans le bassin versant de la Seybouse et ce, par l'emploi du modèle empirique de Wischmeier et Smith USLE (Universal Soil Loss Equation) avec sa version révisée RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), qui ont été développés pour (WISCHMEIER et SMITH 1978, RENARD et al. 1997),

L'approche méthodologique adoptée consiste à calculer et cartographier des différents facteurs ayant une incidence sur le processus d'érosion à savoir ; l'agressivité des pluies, la pente et sa longueur, l'érodibilité du sol, le couvert végétal et les pratiques antiérosives.

Ce mémoire est structuré en trois parties :

- ✓ La première partie est consacrée à une synthèse bibliographique sur les processus de l'érosion hydrique et sa modélisation.
- ✓ La deuxième partie est une présentation de la zone d'étude comportant une description des caractéristiques physiques (Typologie et occupation des sols) et climatiques (climat, pluviométrie, température) du bassin versant de la Seybouse.
- ✓ La troisième partie concerne la cartographie de la perte en sol causée par l'érosion hydrique au niveau bassin de la Seybouse en employant le modèle empirique RUSLE sous Arc GIS , et l'élaboration de la carte de la vulnérabilité à l'érosion hydrique sur l'ensemble du bassin versant.

CHAPITRE I:Aperçu Bibliographique

1. L'érosion hydrique :

L'érosion hydrique est un processus qui emporte et redistribue le sol. Le phénomène est surtout lié à des événements météorologiques notamment les fortes pluies, et la fonte des neiges. L'érosion hydrique emporte la couche arable du sol. Les matériaux enlevés peuvent se redéposer un peu plus loin sans grandes conséquences apparentes pour l'environnement. Cependant, dans certains cas, l'érosion transporte les matériaux jusqu'aux cours d'eau principaux, aux lacs et même jusqu'aux océans (AIT ELKADI et EL KEDMIRI, 2014).

Le phénomène se fait sentir généralement, lorsque les eaux de pluie ne peuvent plus s'infiltrer dans le sol. Ce refus du sol d'absorber les eaux en excédent apparaît soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol, soit lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée par une nappe (INRA et IFEN, 2002).

2. Mécanisme de l'érosion

L'érosion hydrique est le résultat de trois principaux mécanismes : le détachement des particules, leur transport et leur dépôt.



Fig. I.1-Mécanismes de l'érosion hydrique.

2.1. Détachement

Le détachement des particules se produit à la surface du sol lorsque, sous l'action des gouttes de pluie, des agrégats s'éclaboussent ou lorsque la force de cisaillement du ruissellement devient supérieure à la résistance au détachement du sol (LTHE, 2007).

2.2. Transport :

Les particules issues de la dissociation, grossières ou fines, sont ultérieurement déplacées vers l'aval sous l'action de la gravité. Certains, comme les cailloux d'éboulis et les blocs d'éboulement, tombent directement. D'autres, les plus fins, sont véhiculés par un agent de transport, généralement l'eau.

La force du véhicule règle naturellement la taille des sédiments; le vent ne pouvant déplacer que les poussières et les fins grains de sable, tandis que les torrents charrient du sable, du gravier et des galets (Démangeot, 2000).

2.3. Dépôt

Il s'effectue lorsque l'énergie cinétique qui déplace les matériaux issus du détachement, diminue ou s'annule. Les particules arrachées se déposent entre le lieu d'origine et les mers (Démangeot, 2000). (GEORGES, 2008).

3. Différentes formes d'érosion :

On distingue trois formes d'érosion accélérée :

3.1. Erosion en nappe ou érosion diffuse :

Elle est caractérisée par une eau de ruissellement sans griffes ou rigoles visibles. Sous l'effet de l'impact des gouttes de pluies (effet splash), les particules sont arrachées et transportées. Ce phénomène est observé sur les pentes faibles où l'eau ne peut pas se concentrer.

Dans un premier temps, c'est l'impact des gouttes qui va arracher les particules. La battance des gouttes de pluie va envoyer des gouttelettes dans toutes les directions.

Seulement, sous l'effet de la gravité les gouttelettes auront une vitesse plus importante vers l'aval que vers l'amont. Si l'on réalise une moyenne sur l'ensemble des gouttelettes, la vitesse sera dirigée de l'amont vers l'aval. A partir de là, il y aura formation de flaques et débordement de l'eau non infiltrée d'une flaque à l'autre ce qui entraînera un ruissellement en nappe.

L'érosion en nappe dépend de :

-L'intensité maximale des pluies qui déclenchent le ruissellement.

-L'énergie cinétique des pluies qui détachent les particules.

-La durée des pluies et/ou l'humidité avant les pluies, c'est à dire l'état du sol.

Les signes qui permettent de caractériser l'érosion en nappe sont l'apparition de plages de couleur claire aux endroits les plus décapés et la remontée de cailloux à la surface du sol, les conséquences de l'érosion en nappe sont :

-Le nivellement de la surface du sol.

-La squelettisation des horizons superficiels.

-Le décapage entraînant l'apparition de taches claires (ASRI, 2017).

3.2. Erosion en rigoles :

L'érosion en rigoles résulte de la concentration du ruissellement, en petits canaux assez bien définis .Ces canaux portent le nom de rigoles lorsqu'ils sont assez petits pour ne pas interférer avec les opérations de la machinerie. Sur un bassin versant ou une parcelle, l'érosion en rigole succède à l'érosion en nappe par concentration du ruissellement dans les creux.



Fig. I.2-Érosion hydrique en rigole. (source : <http://nwww.ma.auf.org/erosion/chapitre1>)

3.3. Erosion en ravines :

Une évolution de l'érosion en rigoles peut conduire à l'érosion en ravine. Les rigoles sont appelés ravins lorsqu'ils s'étendent au point de ne pouvoir être comblés par les opérations

normales de travail du sol, ou lorsqu'ils deviennent nuisibles au travail du sol (Arnold et al, 1989). (GEORGES, 2008).



Fig. I.3-Ravins profonds. (Source : comité scient.2011_Elbarakka.pdf)

Tab. I.1- Appellation des lignes d'écoulement (Roose, 1994).

Profondeur Appellation	Appellation
Quelques centimètres	Griffes
>10 cm	Rigoles
10 à 20 cm quelques mètres de large	Nappe Ravinant
>50 cm	Ravines

4. Causes d'érosion et facteurs de résistance du milieu :

Le sol est souvent menacé par les problèmes d'érosion En géomorphologie est le processus de dégradation et de transformation du relief, et donc des roches, l'érosion, qui est causé par tout agent externe (donc autre que la tectonique). C'est ainsi qu'on distingue par exemple l'érosion hydrique qui est causée par l'eau et l'érosion éolienne causée par le vent.

Le tableau 1.2 présente les processus de dégradation, les causes ainsi que les facteurs de résistance du milieu.

Tab. I.2- *Processus de dégradation, causes, les facteurs de résistance du milieu. (Roose, 1994)*

Les processus de dégradation et d'érosion et leurs formes	Les causes : différentes sources d'énergie	Les facteurs de résistance du milieu
Erosion mécanique sèche Forme : creeping	Gravité et poussée par Les outils de travail du sol	- fonction de l'intensité du travail du sol, c'est-à-dire de la fréquence des travaux et du type d'outil - fonction de la pente et de la cohésion du terrain
Erosion en nappe Forme : nappe de sable, pellicule de battance ou de sédimentation, "demoiselle coiffée", micro-falaise	Battance des gouttes de pluie	- le couvert végétal, - la pente, - le sol, - les techniques et structures anti-érosives
Erosion linéaire Formes : griffes, rigoles, Ravines	L'énergie du ruissellement dépend du volume du ruissellement et de sa vitesse au carré $1/2MV^2 = 1/2MGH$	- la vitesse du ruissellement est fonction de la pente et de la rugosité, - le volume ruisselé est fonction de la surface du bassin versant et de la capacité d'infiltration, - résistance du profil du sol Et des racines

5. Conséquences de l'érosion hydrique :

5.1. Les pertes des terres arables et la diminution de la fertilité des sols :

Suite à l'extension des différentes formes d'érosion, de grandes surfaces de terres arables disparaissent d'une année à une autre. La diminution de la fertilité du sol (appauvrissement des horizons supérieurs) qui résulte de la détérioration des qualités physiques et chimiques et de l'extension des parcours, s'observe de plus en plus sur ces terres (MORSLI, 1996).

5.2. Envasement des barrages :

Le taux de sédimentation a évolué ces dernières années, du fait de la forte érosion des bassins versants. Au début des années quatre-vingt, environ 120 millions de tonnes de sédiments arrachés annuellement au niveau des bassins versant du nord algérien (DEMMAK ,1982). Une partie de cette masse se dépose dans les 57 grands barrages construits en Algérie. On évalue le dépôt sédimentaire annuellement dans ces barrages à 45 millions de m³ (REMINI et HALLOUCHE, 2007).

Or du fait de l'érosion assez sensible (pluie de courte durée, de forte intensité, absence du couvert végétal et relief assez jeune), l'Algérie perd annuellement une grande capacité par le dépôt des sédiments dans les retenues.

La majorité des barrages en Algérie ont une durée de vie de l'ordre d'une trentaine d'années. Il est rare cependant, que l'on puisse admettre à l'issue d'une période aussi courte, l'abandon d'un aménagement hydraulique particulier lorsqu'il s'agit de réservoirs destinés à l'adduction en eau potable ou l'irrigation dont les intérêts socio-économiques justifient une garantie de service illimitée. (KOUDDÉD, 2012).

Tab. I.3-l'état d'envasement des barrages algériens.

Barrage	Mise en eau	Capacité initiale (10 ⁶ m ³)	Envasement moyen annuel (10 ⁶ m ³ /an)
OUED FODDA	1932	228	2.66
GHRIB	1939	280	3.2
DJORF EL TORBA	1934	350	1.3
S.B.M.A	1978	235	1
CHEFFIA	1965	175.68	0.17
EGHIL EMDA	1953	154.8	1.6
BOUHANIFIA	1944	73	0.78
BENI BAHDELS	1940	63	0.2
BAKHADA	1936	37.6	0.27

FOUM EL GHERZA	1950	47	0.8
ZERDEZAS	1936	14.9	0.25
HAMIZII	1935	21	0.35
FOUM EL GUEISS	1939	3	0.03
OOLED MELLOUK	2004	127	1.4

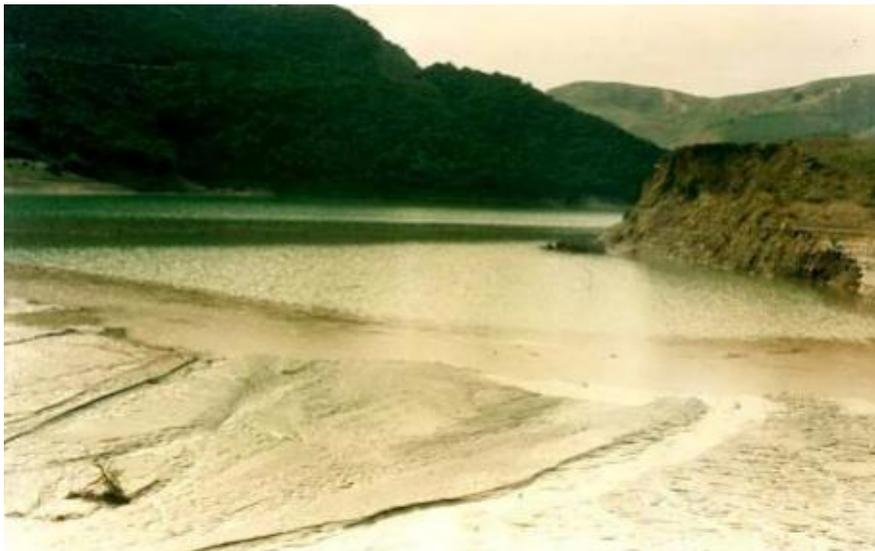


Fig. I.4-Envasement du barrage d'IghilEmda (Remini et Ouaret, 2004).

5.3. La dégradation des infrastructures :

La plupart des ravines prennent naissance sur les pentes en bordure des routes. Lorsque ces routes ne sont pas protégées comme il se doit de profondes ravines se forment en bordure des routes et les ramifications qu'elles donnent rongent les champs adjacents (MORSLI, 1996).

5.4. Les conséquences sur l'agriculture :

En effet, l'érosion hydrique diminue la capacité du sol à retenir l'eau et à la mettre à la disposition des végétaux. Les cultures sont alors soumises à des déficits hydriques plus fréquents et plus graves. Au point de vue physique, la perméabilité des sols décroît, la structure devient compacte, asphyxiante en saison humide. L'eau ne pénètre pas en profondeur, aucune réserve ne se constitue dans le sol pour la saison sèche. Au point de vue chimique et biologique, la faune et la microflore disparaissent et la réserve d'humus est dilapidée, ce qui a pour effet de rendre la nutrition azotée déficiente. Les éléments fins qui

constituent la majeure partie du complexe absorbant disparaissent en ne laissant sur place que la trame stérile d'éléments grossiers. Le sol perd rapidement sa fertilité initiale, (GRECO, 1966). (KOUDDÉD, 2012).

6. La modélisation de l'érosion hydrique :

La quantification et la spatialisation de l'érosion des sols constituent une approche essentielle pour l'appréhension des processus en cours sur les bassins versants. De nombreuses modélisations des processus de transfert de sédiments ou polluants ont été proposées. Ces dernières sont basées sur des représentations mathématiques des processus hydrologiques et érosifs fondamentaux (AIT ELKADI et EL KEDMIRI, 2014)

Ces dernières années, de multiples méthodes ont été intégrées avec les SIG pour décrire le milieu et pour mieux étudier le phénomène de l'érosion. Ces méthodes, souvent basées sur l'analyse des photographies aériennes et des images satellites, permettent de mieux comprendre et évaluer cette problématique environnementale. En fonction des risques encourus, des modes de suivi et de surveillance peuvent être mis en place afin d'assurer la protection des personnes, de l'environnement et des biens. Les méthodes les plus adaptées au contexte méditerranéen seront brièvement exposées.

6.1. Méthode « Universal Soil Loss Equation » (Wischmeier et Smith) :

Une des méthodes les plus répandues pour estimer l'érosion hydrique est l'Universal Soil Loss Equation (USLE). Cette équation, développée par Wischmeier et Smith en 1978 pour les milieux cultivés, prend en compte les paramètres suivant : l'érosion pluviale, la topographie, la couverture végétale et la protection du sol (Deumlich et al, 2006). Ce modèle empirique de l'érosion du sol a été révisé (le Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE) (Renard et al, 1997). Cette méthode se base sur les paramètres suivants : l'érosion pluviale, l'érosion du sol, la pente, la couverture du sol et les pratiques qui y sont faites ainsi que les mesures de conservations mises en place (Yue-Qing et al, 2009).

6.2. La méthode PAP/CAR :

Les étapes méthodologiques de la méthode PAP/CAR comporte trois approches PAP/CAR (1998) : L'approche prédictive qui contrôle l'érosion à partir de la cartographie thématique des- facteurs (pente, lithologie, occupation des sols et degré de couvert végétal). Cette approche finie par la déduction de la carte d'état érosif qui donne une idée sur le degré

d'érosion dans toute la zone. L'approche descriptive donne une image réelle sur les différentes formes d'érosion– situées sur la zone d'étude ainsi leurs degrés d'exposition à la dégradation. L'approche d'intégration c'est la superposition des cartes des états érosifs obtenues– par la cartographie thématique et la carte des formes d'érosion obtenue par la cartographie descriptive directe des formes d'érosion sur le terrain ou par les images satellites.

6.3. Modèle d'Érosion hydrique en milieu semi-aride de Forte Énergie de Relief (Tidiane et al, 2011) :

Une équipe du CARTEL propose, quant à elle, un modèle d'érosion hydrique adapté aux milieux semi-arides caractérisés par un relief escarpé. Il s'agit du Modèle d'Érosion hydrique en milieu semi-aride de Forte Énergie de Relief (MEH-SAFER) (Tidiane et al, 2003). Il se base sur une méthode d'exploitation d'images satellitaires multisources (RSO de RADARSAT-1, ETM+ de Landsat-7 et HRV de SPOT-4) couplée à un nouveau modèle de cartographie de la vulnérabilité topographique (MNT) et à l'analyse discriminante. Selon les résultats obtenus en Bolivie, ce modèle donne une précision de 80 % (ib.). Ce modèle a été développé pour cartographier les risques d'érosion hydrique. L'approche consiste, en premier lieu, à réaliser une carte de potentiel de ruissellement en intégrant des données hydro-pluviométriques et des unités géo-écologiques et, par la suite, de combiner cette carte à l'esquisse géomorphologique. Le résultat obtenu est une carte de vulnérabilité topographique (Ouattara et al, 2002).

6.4. Modèle « Water Prediction Project » (Bhuyan et al, 2002):

Le ruissellement et les pertes de sol peuvent aussi être évalués à partir d'un modèle nommé Water Erosion Prediction Project (WEPP) (Bhuyan et al, 2002). Ce modèle, développé par Flanagan et Nearing (1995), se base sur de multiples paramètres dont les notions de base de l'infiltration, la surface de ruissellement, la croissance des plantes, les résidus de décomposition, l'hydraulique, le labourage, la consolidation du sol ainsi que les mécanismes d'érosion (Nearing et al, 1989). Afin d'intégrer ce modèle dans les SIG, un outil a été créé. Cet outil, appelé Geospatial Modelling of Soil Erosion (GEMSE), est composé de plusieurs bases de données (le climat, le sol et la topographie ainsi que l'occupation du sol) (Baigorria and Romero, 2007).

6.5. Cartographie de l'aléa « érosion hydrique » (Luneau, 2006) :

Dans la continuité de cette étude cartographique réalisée par Dumas (2004), Luneau définit l'aléa « érosion hydrique » comme la combinaison de la sensibilité des sols et des précipitations. L'indice de l'érodibilité des sols, le degré de protection de la couverture végétale, la pente, la courbure horizontale, la courbure de profil, les surfaces drainées et les données pluviométriques sont les indicateurs qui ont été extraits. Un modèle statistique par évaluation multicritère a été développé à partir de ces indicateurs qui ont été pondérés lors d'une phase de standardisation (Luneau, 2006).

6.6. Trois indices utilisés pour estimer l'érosion des sols (Atherton et al, 2017) :

Lors de recherches réalisées sur le phénomène d'érosion des bassins versants à Fidji, Atherton et al. (2005) ont élaboré un indice « Relative Erosion Prediction » (REP). Cet indice représente une mesure relative de prédiction de l'érosion des sols. Ce modèle est basé sur cinq principaux facteurs environnementaux de l'érosion : la pente, l'occupation du sol, les précipitations absolues ou saisonnières et l'érodibilité des sols. Pour chaque bassin versant à l'étude, des indices statistiques ont été obtenus suite à la combinaison des différentes couches d'information. Un autre indice le Water shed Development Index (WDI) a aussi été développé par ces auteurs pour représenter le degré d'impact des infrastructures sur le bassin versant. Pour ce faire, la densité des routes, le nombre de cours d'eau traversés par les routes par kilomètre carré et le degré de déforestation sont les paramètres qui ont été pris en compte. En combinant le REP et le WDI, on obtient le Composite Threat Index (CTI). Ce nouvel indice représente le risque d'érosion sur le bassin versant (Atherton et al, 2005). (ASRI, 2017).

7. Carte de vulnérabilité d'érosion des sols :

L'érosion hydrique des sols est une conséquence physique de l'interaction de plusieurs facteurs dont la nature du sol, le relief et le climat (pluviométrie). La compréhension de ce phénomène va permettre de le modéliser. En effet, on peut considérer qu'en présence de fortes averses, la pluie va s'infiltrer dans le sol. L'érosion est d'autant plus importante que le sol arrive à saturation plus vite. La saturation du sol dépend de sa texture et de sa profondeur. Par ailleurs, lorsque le sol est saturé, l'eau s'infiltré dans la roche d'autant qu'elle est perméable. Donc la capacité d'infiltration de la roche est le troisième facteur qui va accélérer le ruissellement. Quand le sol est saturé, le ruissellement va emporter le sol d'autant que le relief est accusé. Ainsi la topographie est le quatrième facteur à prendre en considération. De plus, lors des crues, les oueds peu larges sont sujets à des phénomènes d'érosion forte des

berges (ravinement). Donc il est possible de définir les zones à risques d'érosion hydrique à partir des facteurs cités plus haut (Yakout et al, 2016).

CHAPITRE II: CADRE DE L'ETUDE

1. Situation géographique :

Le bassin versant de la Seybouse est le troisième plus large bassin de l'Algérie ayant une aire de 6471 km², situé au cœur de la Numidie au Nord-est de l'Algérie, entre 06°47'02" et 07°58'47" de longitude Est et entre 35°47'49" et 36°55'43" de latitude Nord. Il s'inscrit dans le territoire de sept wilayas, il occupe la partie centrale de la wilaya de Guelma, la majorité de la wilaya d'Annaba et la partie Ouest de la wilaya d'El Taref, ses limites naturelles sont :

- Au Nord : la mer méditerranée,
- Au Sud : les monts de Mahouna, Ain larbi et Sedrata,
- A l'Ouest : le massif de l'Edough, les monts de Houara et Débagh,
- A l'Est : le prolongement oriental du système aquifère Annaba-Bouteldja et les monts de Nador N'baïl.

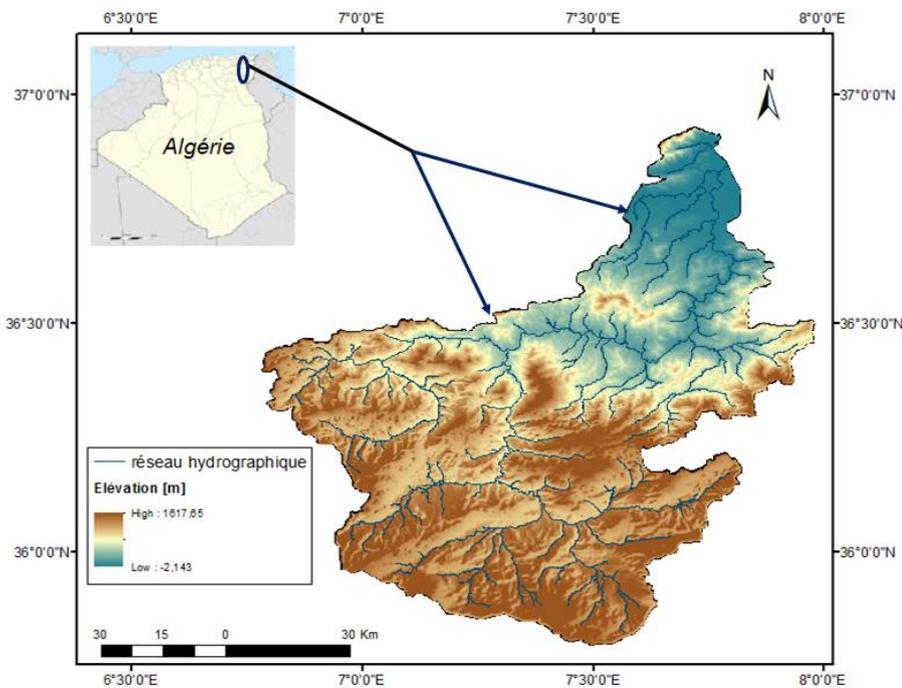


Fig. II.1-carte de situation géographique du bassin versant de la Seybouse.

La Seybouse est un des Oueds les plus importants d'Algérie avec une longueur totale de 138 km et un réseau hydrographique de plus de 4000 km. La région d'étude comporte deux grands barrages : Foum El Khanga, Hammam Debegh.

Le bassin possède trois parties: les hautes plaines (haute Seybouse), le tell méridional (moyenne Seybouse) et le tell septentrional (basse Seybouse).

2. Les grands ensembles physiques du bassin de la Seybouse :

Le bassin de l'oued Seybouse couvre trois grands domaines physiques et bioclimatiques :

-le domaine des Hautes Plaines au Sud ;

-le domaine sud-Tellien ;

-le domaine Tellien du Nord qui comprend la Seybouse maritime : bassin de l'oued Ressoul, oued Derdar et la zone des plaines littorales.

Ces grands ensembles physiques présentent des caractéristiques topographiques qui les différencient nettement

2.1. La zone des Hautes Plaines (haute Seybouse)

Elle intègre en totalité le bassin du Haut Cherf. C'est une zone au relief plat, parsemée de plaines (plaine de Sedrata, plaine d'Ain Babouche, plaine de Tamlouka) avec un encadrement montagneux imposant :

- djebel Tiffech (1164 m);

- djebel El Guelaa au Nord de Ain Beida (1135 m);

- djebel Sidi Reghiss (1635 m); - Chebk et Sellaoua, d'orientation SW –NE avec djebel El Hamra (1188m), Koudiat El Bouib (1117 m);

- Djebel Terraguelt (1156 m).

Le bassin-versant du Cherf aval est une zone de transition entre les Hautes Plaines et le Tell, les altitudes diminuent mais le relief devient compartimenté.

2.2. Le domaine sud-Tellien

Il couvre une superficie importante qui correspond assez étroitement sur le plan morpho-structural à la chaîne numidique. A ce domaine appartiennent plusieurs sous- bassins, le bassin aval de l'oued Cherf ; le bassin de l'oued Bouhamdane ; les affluents de la Seybouse dans la vallée de Guelma (oued Halia, oued Bou Sorra, oued Zimba , affluents de rive gauche dans la vallée de Guelma) ; le bassin de l'oued Mellah; la Moyenne Seybouse avec des reliefs encadrant la vallée de Guelma (courbe qui encadre la vallée= 200 à 300 m). Sur le versant Nord, les altitudes augmentent progressivement jusqu'à 583 m (Kef Es Soud), et Kef El Mansour (932 m). Le Versant Sud est plus étendu, plus vaste spatialement, et présente des altitudes plus élevées : Il correspond au versant Nord des Monts de la Medjerdah. Le djebel Mahouna culmine à 1051 m (Koudiat Ed Drizina).Le versant Nord des Monts de la Medjerdah est occupé par les affluents de la Moyenne Seybouse, et le bassin de l'oued Mellah.

2.3. Le domaine Tellien du Nord

La Basse Seybouse présente un relief dissymétrique avec une zone de moyennes montagnes, relativement accentué sur la rive gauche de l'oued Seybouse. A l'extrême Nord-Ouest, le massif de l'Edough, est à une altitude de 1008 m (Kef Seba) (LOUAMRI, 2013).

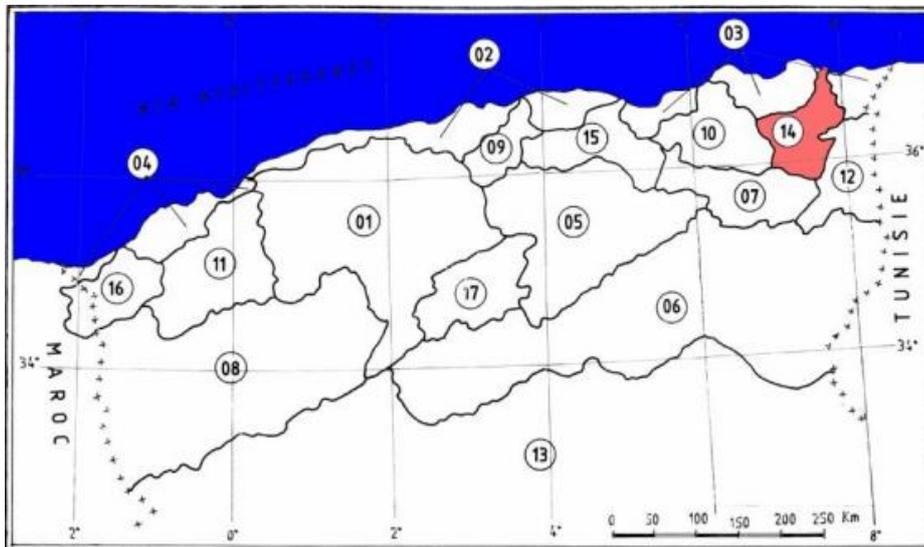


Fig. II.2-Position du bassin-versant de la Seybouse en Algérie.

3. Le réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels permanents ou temporaires, par lesquels s'écoulent toutes les eaux de ruissellement et converge vers un seul point de vidange du bassin versant (exutoire).

Le réseau hydrographique du bassin de la Seybouse possède un régime hydrologique de type pluvial, fortement dominé par les précipitations sur l'ensemble de l'année avec un chevelu hydrologique de plus de (3.000Km). Quarante deux oueds ont une longueur supérieure à 10Km, dont deux : le Cherf (88.61Km), et le Bouhamdane (37.49Km),

se réunissent à Medjez Amar pour donner naissance à l'oued Seybouse (134.74Km), qui serpente vers le Nord en parcourant la basse plaine de Annaba, souvent inondée au moment des crues, avant de se jeter dans la baie d' Annaba par l'estuaire de Sidi Salem(BOUCHELAGHEM, 2007).

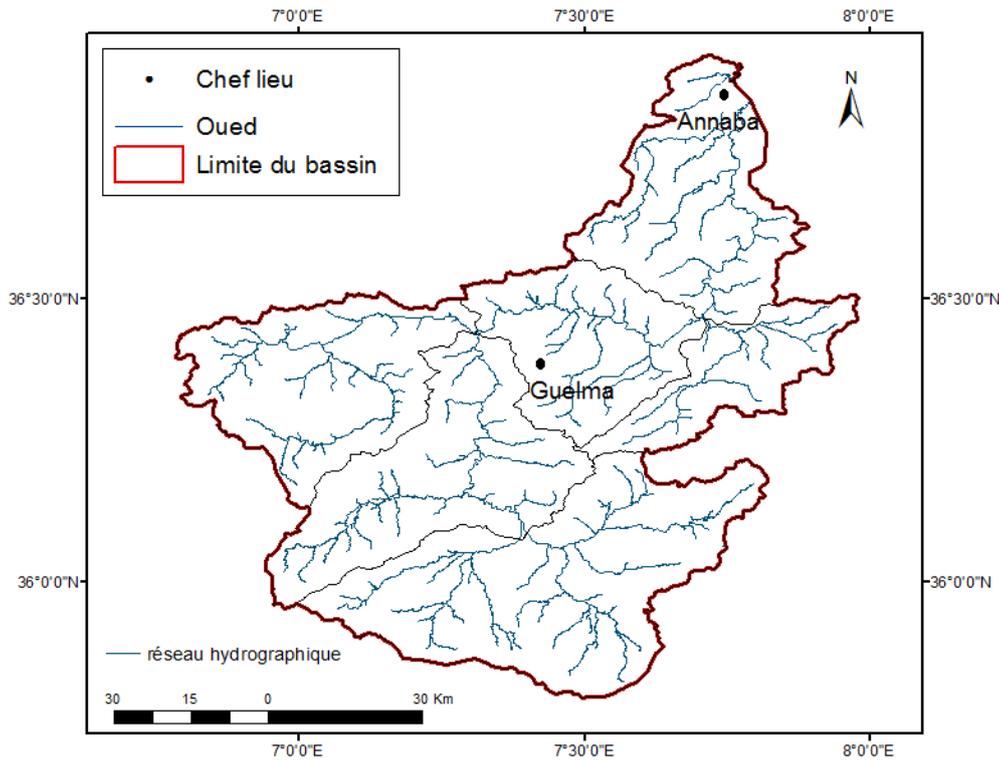


Fig. II.3-Carte hydrographique du bassin versant de la Seybouse.

4. Typologie de sol :

D'après la carte de typologie des sols du bassin de la Seybouse on distingue plusieurs types :

-Sols podzoliques, sols carbonatés et Sols alluviaux se localisent principalement au nord et au milieu du bassin.

-Associations des roches calcaires et solontchak, roches calcaires et solonetz qui occupent une petite partie de la moyenne Seybouse.

- Sols calciques, Roches mères et roches de marais qui se répartissent dans la basse Seybouse

- Sols calcaires qui s'étendent sur le sud et le milieu de la région d'étude

-Sols salins qu'on trouve au nord et au sud du bassin.

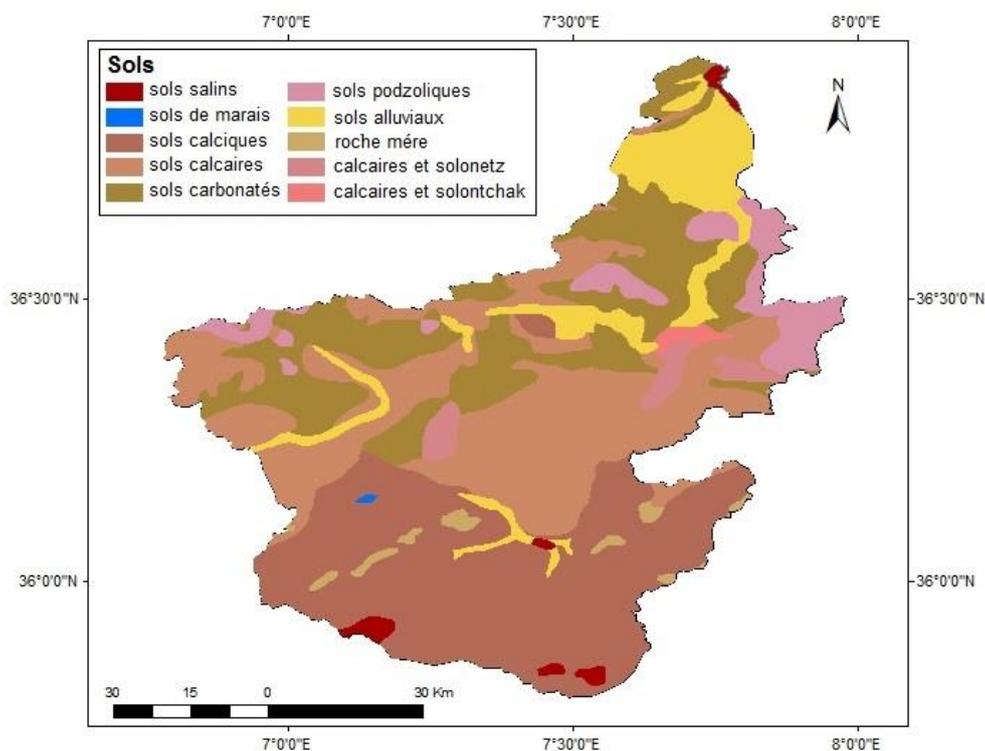


Fig. II.4-Carte des sols du bassin versant de la Seybouse.

5. L'occupation du sol:

Le processus d'érosion est étroitement lié au mode d'occupation du sol, qui contribue largement à son aggravation ou à son atténuation. L'occupation du sol détermine le degré de protection des sols (ASRI, 2017).

Dans le cadre de ce travail on a réalisé une carte d'occupation du sol du sous bassin de la Seybouse représenté dans la figure à l'aide des images satellitaires récentes 15 à 30 m de résolution (LandSat8).

La répartition spatiale de l'occupation des sols au niveau du bassin versant de la Seybouse indique plusieurs domaines : les terres agricoles (cultures, cultures associées aux parcours et oléiculture) dominant sur ce bassin ; céréales et cultures maraîchères sont les principales spéculations des périmètres irrigués (irrigation traditionnelle ou gravitaire dans le bassin du haut Charef, et irrigation moderne ou par aspersion dans la basse Seybouse).

Les formations forestières qui sont protecteurs contre l'érosion hydrique occupent un espace très important du bassin versant Le reste de la superficie du bassin est occupé par des terres improductives (terrains rocheux, terrains nus, plan d'eau et terres urbanisées), ces domaines se trouvent un peu partout dans le bassin versant.

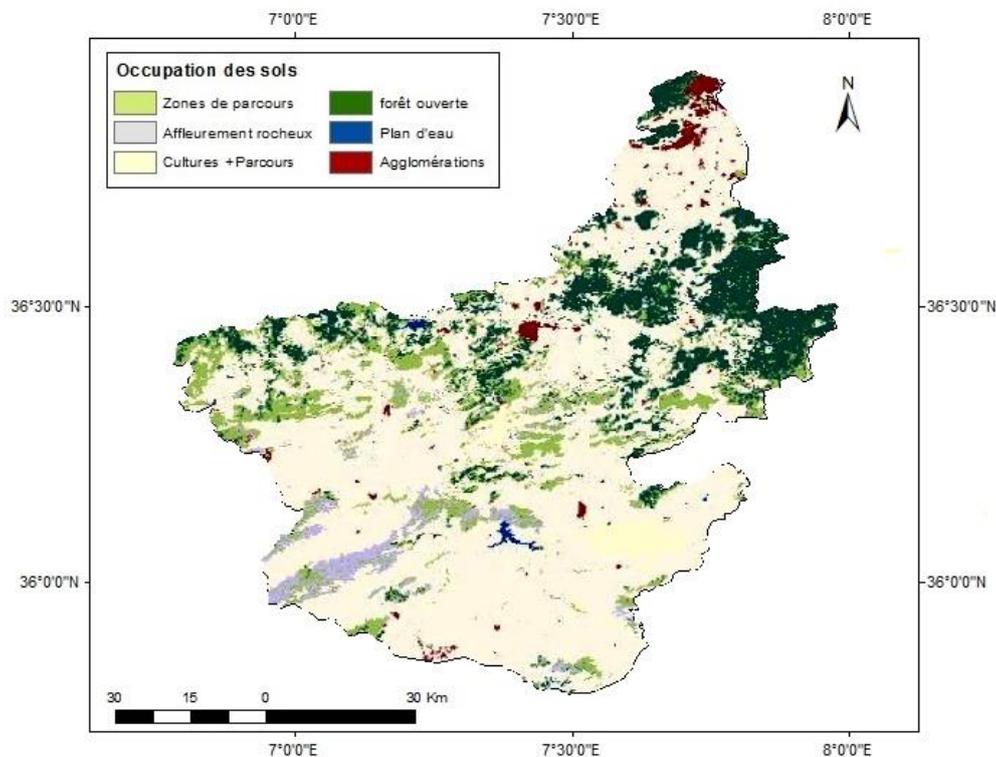


Fig. II.5-Carte d'occupation du sol du bassin versant de la Seybouse.

6. Climat :

Le bassin de la Seybouse se trouve dans la zone subtropicale et soumis aux influences des climats sahariens, méditerranéens et aux descentes polaires.

- Sahariens : car elles se manifestent par les hautes pressions tropicales (Anticyclone saharien), par le Sirocco (Chehili) qui souffle en été, c'est un vent chaud et sec qui est redouté par les agriculteurs il est synonyme de sécheresse.

- Méditerranéens : pour le régime des pluies en hiver et la sécheresse estivale.

- Polaires : des masses d'air froides en provenance de Sibérie ou du pôle viennent lécher la partie Nord du Maghreb en hiver. En revanche, le climat est de type tempéré et ensoleillé (BOUCHELAGHEM, 2007).

Les étages bioclimatiques sont identifiés sur la base de la carte simplifiée des domaines bioclimatiques établie par (COTE, 1998) pour le Nord-est algérien.

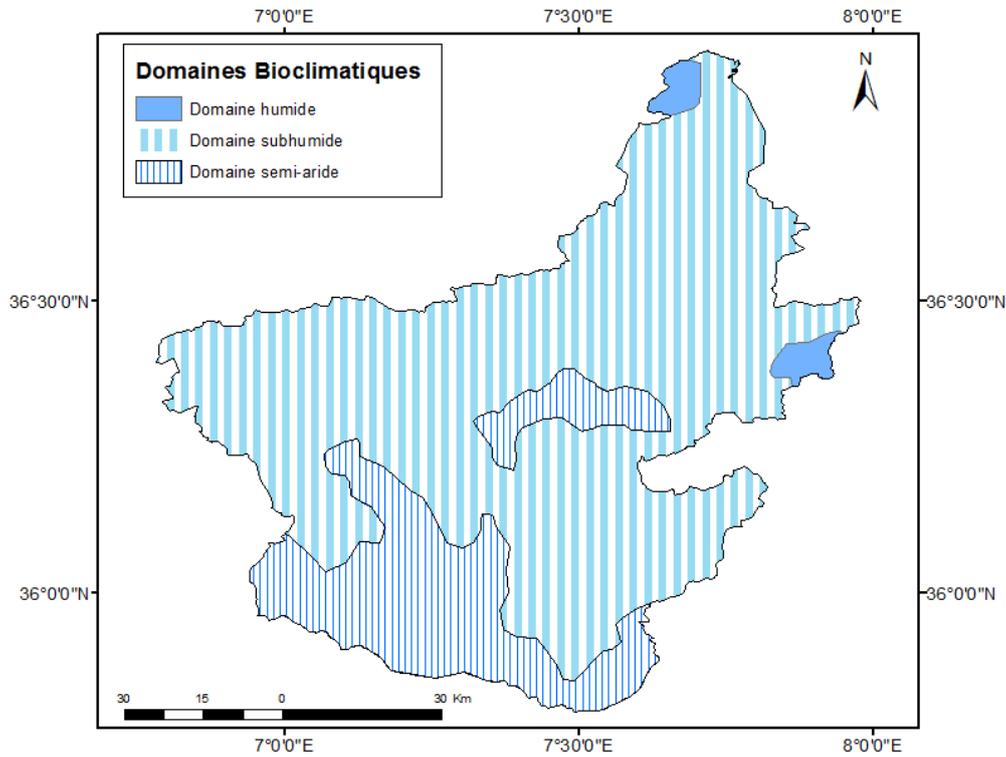


Fig. II.6-Carte simplifiée des domaines bioclimatiques du bassin Seybouse (COTE, 1998).

Les observations météorologiques réalisées sur les régions de la Seybouse montrent que le bassin englobe trois domaines bioclimatiques à savoir le domaine subhumide qui domine la plus grande surface du bassin, le domaine semi-aride qui domine la basse Seybouse et le domaine relativement humide qui domine la haute Seybouse.

7. Pluviométrie :

La pluie est l'élément causal de l'érosion, il intervient dans les processus érosifs par son intensité, sa fréquence et sa hauteur. L'analyse des précipitations est réalisée à travers l'étude du régime moyen mensuel des précipitations.

Tab. II.1-Précipitations moyennes mensuelles en (mm) des quatre stations : Annaba et Guelma (Période 1975-2009).

Station	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juit	Aoû	Total
Annaba	34,75	44,13	99,96	118,83	105,9	65,69	72,96	55,08	29,43	8,78	1,57	6,67	643.8
Guelma	3,36	44,71	64,54	30,49	78,97	69,65	59,81	60,34	55,57	47,51	15,88	9,08	539.9

Afin de pouvoir réaliser une évaluation de la variation des précipitations moyennes mensuelles nous avons établi les histogrammes relatifs à chaque station.

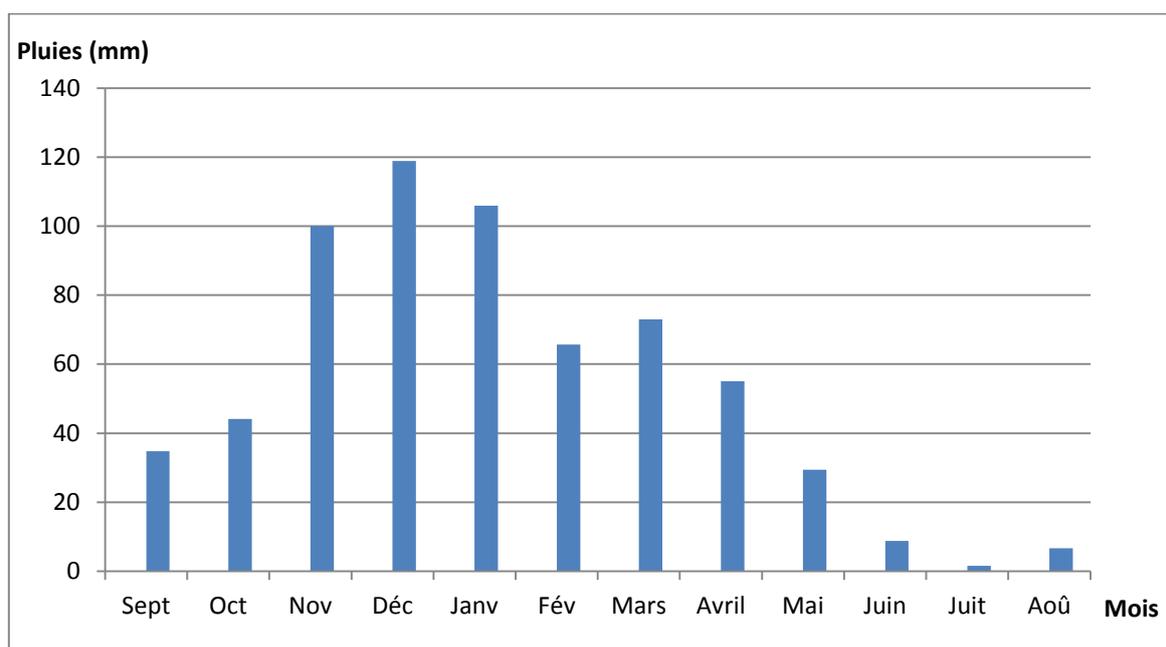


Fig. II.7-Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Annaba ville (1986-2009).

Les précipitations arrivent à la valeur maximale en Décembre avec une hauteur de 118.83 mm et la valeur minimale et atteinte en Juillet avec une hauteur de 1.57 mm.

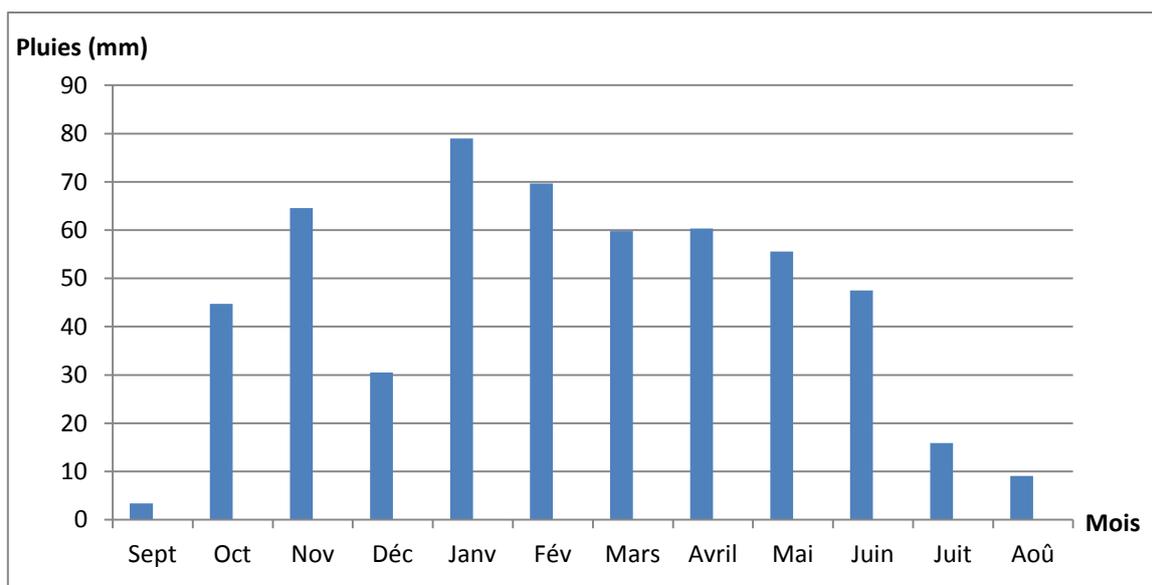


Fig. II.8-Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Guelma (1975-2009).

Les précipitations les plus importantes sont marquées au mois de Décembre avec 78.97 mm, tandis que la plus faible valeur caractérise le mois de Juillet avec une hauteur de 3.3 mm.

8. Températures :

La température est l'un des éléments fondamentaux dans l'établissement du bilan hydrologique et dans la détermination du caractère climatique d'une région.

Tab. II.2-Températures moyennes mensuelles en °C à la station d'Annaba (1972-2009).

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juit	Aout
T (°C)	23,0	19,6	15,3	12,9	11,6	11,7	13,1	15,0	18,1	21,7	25,0	25,4

Les variations des températures moyennes mensuelles de la station d'Annaba sont démontrées ci-dessous

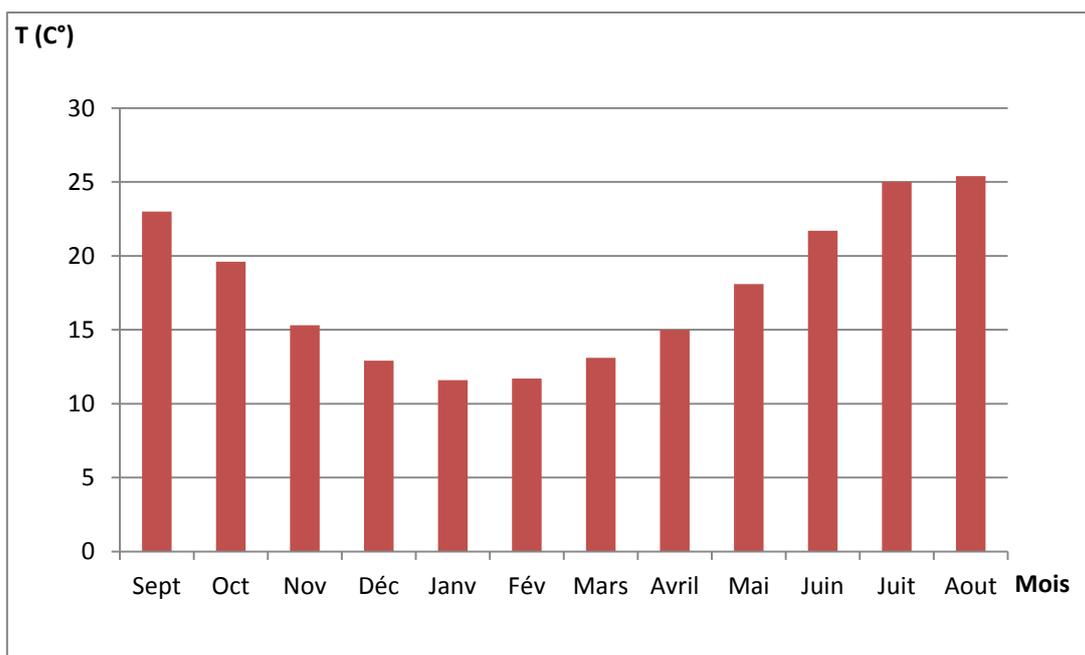


Fig. II.9-Variation des températures moyennes mensuelles dans la station d'Annaba (1972-2009).

Tab. II.3-Température moyennes mensuelles en °C à la station de Guelma (1985-2009).

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juit	Aout
T(°C)	23.9	20.1	14.5	10.8	9.6	10.2	12.3	14.7	18.8	23.3	27.1	27.5

Les variations des températures moyennes mensuelles de la station de Guelma sont démontrées ci-dessous :

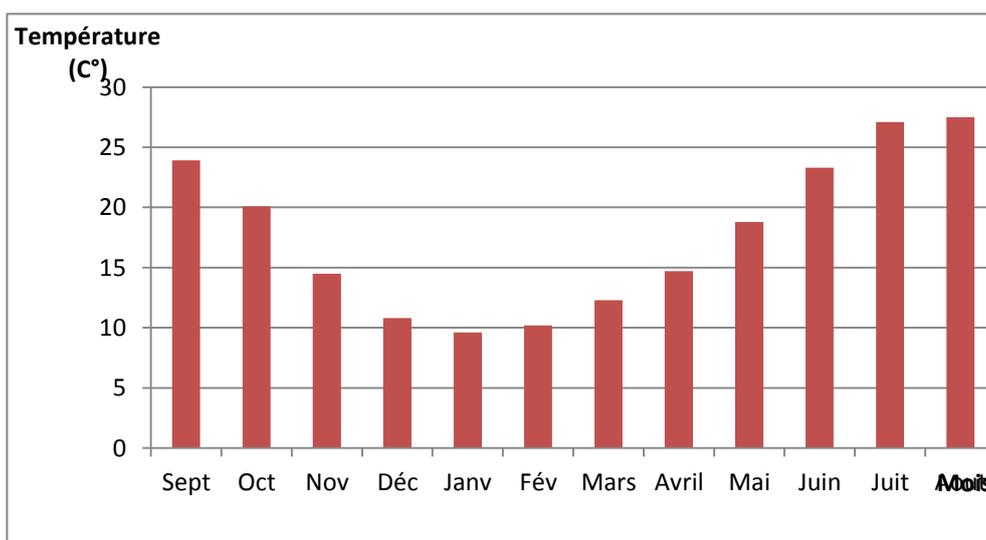


Fig. II.10-Variation des températures moyennes mensuelles dans la station de Guelma (1985-2009).

CHAPITRE III: QUANTIFICATION ET CARTOGRAPHIE DES ZONES A RISQUE D'ÉROSION

1. Le modèle RUSLE :

Le modèle RUSLE « Revised Universal Soil Loss Equation » se présente sous forme d'une équation mathématique qui utilise les facteurs d'érosion comme entrées, pour estimer les pertes en sols moyennes annuelles résultantes de l'érosion en nappe et en rigole (Toy et al, 1998). Le modèle RUSLE ne prend pas en considération les processus d'érosion comme le détachement, le transport et le dépôt, pour estimer les pertes en sol (Jones et al., 1996). Le modèle conserve la même forme que l'équation utilisée dans le modèle USLE (Jones et al. 1996), établie précédemment par Wischmeier et Smith (1978), et qui se présente comme suit :

$$A=R \times K \times LS \times C \times P \text{ (III.1)}$$

Où A: moyenne annuelle des pertes en sol (T/ha/an), R:l'érosivité des pluies (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, K:l'érodibilité des sols (th MJ⁻¹mm⁻¹), LS: facteur topographique (adimensionnelle), C:facteur du couvert végétal (adimensionnel),P: facteur des pratiques antiérosifs (adimensionnel)

L'organigramme ci-dessous résume toutes les étapes suivies pour quantifier et cartographier la perte moyenne annuelle de terres causée par le phénomène érosif.

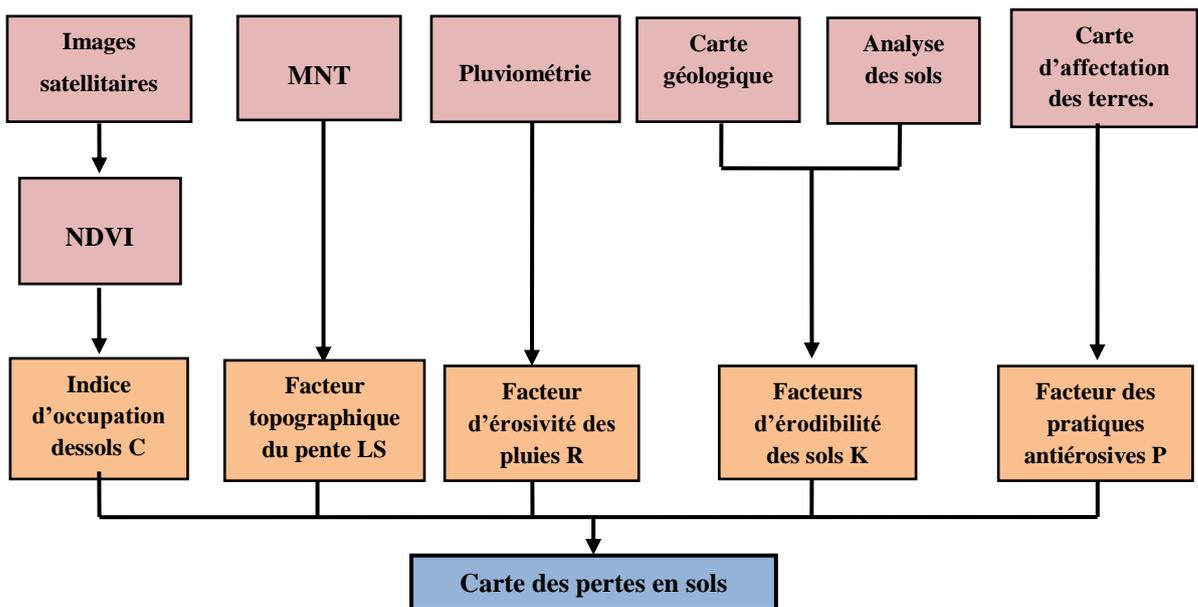


Fig. III.1- Organigramme de la méthodologie utilisée.

1.1 Facteur d'érosivité des pluies:

La pluie est l'agent principal de l'érosion hydrique. L'érosivité de la pluie se définit comme étant une aptitude à provoquer l'érosion. C'est le paramètre pris en considération pour évaluer l'influence de l'agressivité climatique sur les pertes en sol. Elle dépend surtout de l'intensité de pluie ou de l'énergie cinétique qui en résulte directement (Stengel et Gelin, 1998). Cette énergie découle du diamètre des gouttes de pluie et de leur vitesse de chute. L'efficacité de la pluie vis-à-vis des processus d'érosion est liée aux rôles qu'elle a dans le détachement des particules des sols et surtout dans la formation du ruissellement (Marcey et Berville., 2003).

Dans la présente étude le facteur R est déterminé par la formule suivante (KASSAM et al ,1992)

$$R = 117.6 \times (1.00105^{MAR}) \quad (\text{III.2})$$

MAR : Précipitations annuelles moyennes (mm)

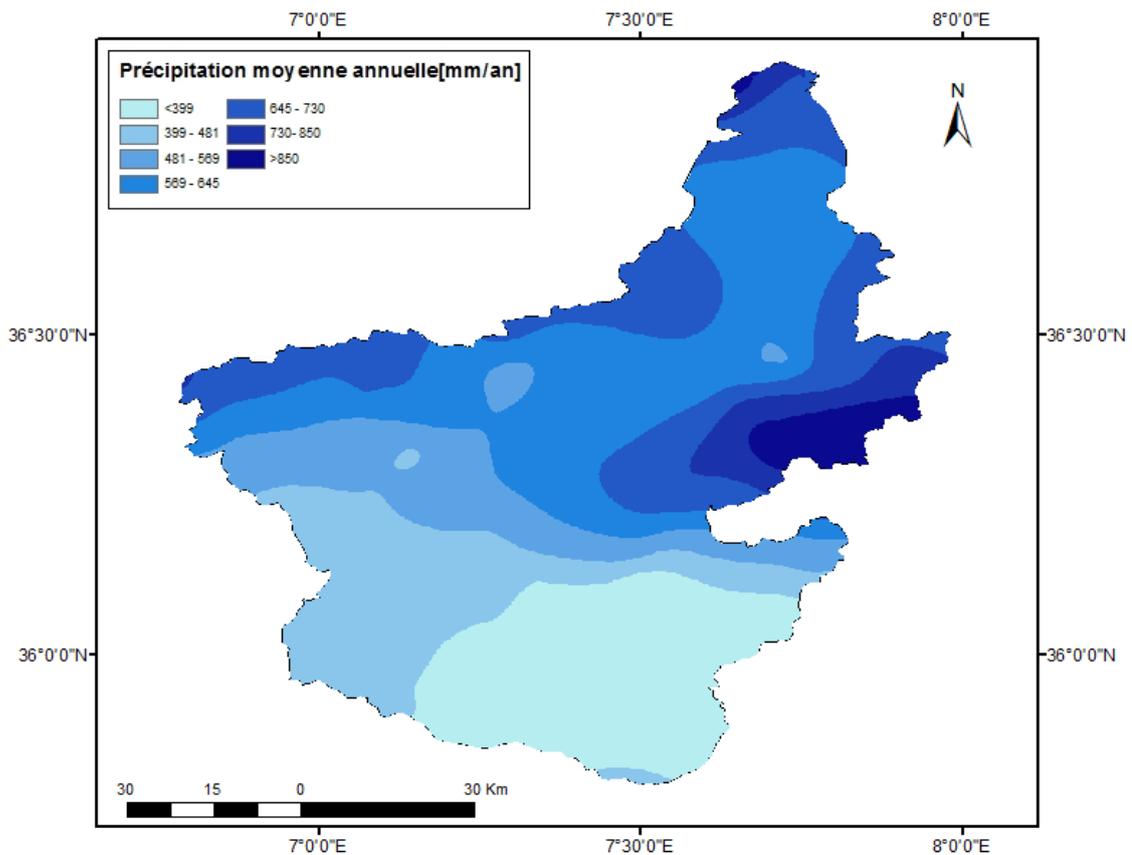


Fig. III.2- Carte des précipitations moyennes annuelles du bassin de la Seybouse.

1.2 Facteur topographique (LS) :

La morphologie du terrain et notamment l'inclinaison et La longueur des pentes ont une influence très importante sur le processus de l'érosion hydrique ; elles aggravent l'effet du ruissellement des eaux de pluie .Le facteur LS est un indice topographique sans dimension qui réunit l'effet de ces deux paramètres (l'inclinaison (S en %) et la longueur de pente (L en m)).

Le facteur (LS) peut être calculé dans le SIG à partir du Modèle Numérique du Terrain (MNT) par la formule suivante (Moore et Burch, 1986) :

$$LS = (\text{Power}(f_{acc} * \text{Cell size} / 22.13, 0.4) * \text{Power}(\text{Sin}(\text{slope} / 0.0896, 1.4), 1.3)) \quad (III.3)$$

Avec:

F_{acc} : Flow accumulation= cumulation des flux

Slope: pente en degré

Cell size :taille de la cellule

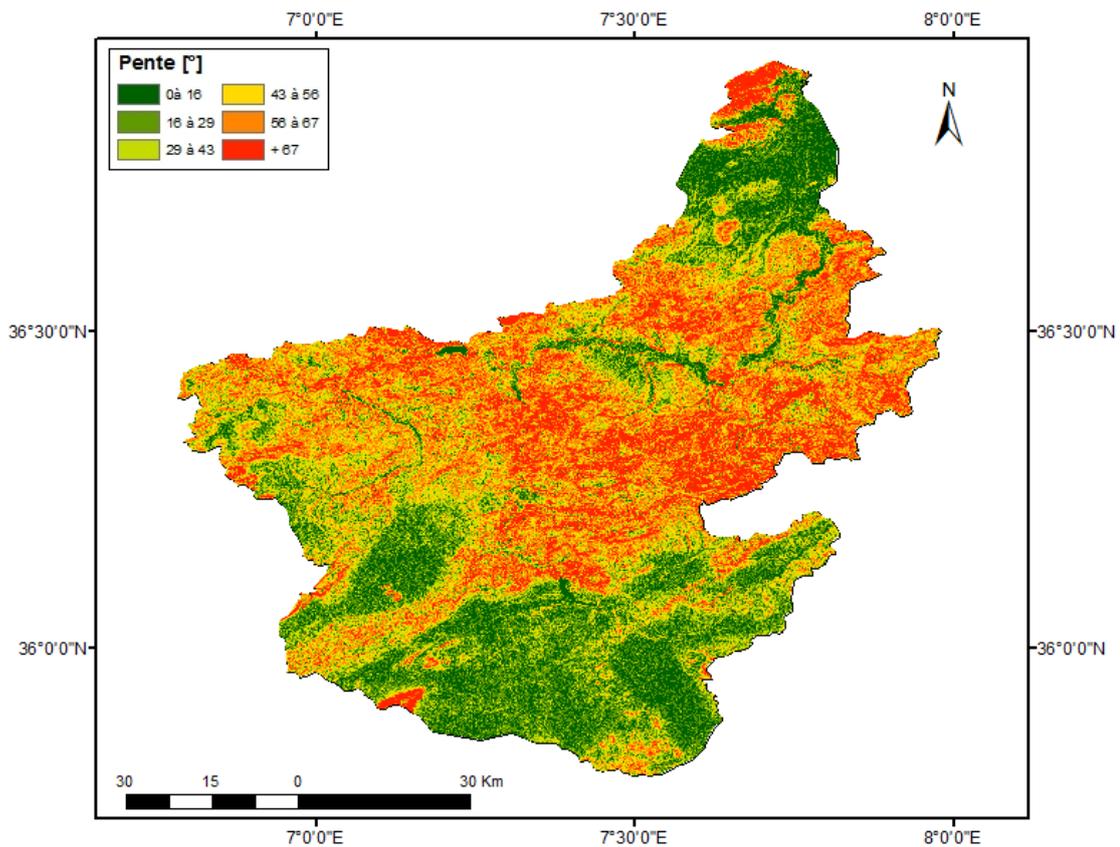


Fig. III.3- Carte des pentes du bassin versant de la Seybouse.

1.3 Facteur d'érodibilité du sol :

L'érodibilité du sol K détermine la résistance des différents types de sols à l'érosion. Certains sols sont plus sensibles à l'érosion hydrique.

Le facteur K est déterminé en fonction de certaines caractéristiques des sols qui sont : la texture, la présence de la matière organique, la perméabilité et la profondeur. Ils sont calculés selon la formule suivante (Wischmeier et Smith, 1978).

$$K = [2.1 \times 10^{-4} (12 - M O) M^{1.14} + 3.25(S - 2) + 2.5 (P - 3)] / 100 \quad (III.4)$$

K : le facteur d'érodibilité,

M : (% sable fin + % limon) (100 - % argiles)

MO : le pourcentage de matière organique

S : le code de structure

P : la classe des perméabilités

Les perméabilités des sols et leurs codes respectifs peuvent être évalués à partir du triangle d'évaluation de la perméabilité à partir de sa texture (Fig. III.4).

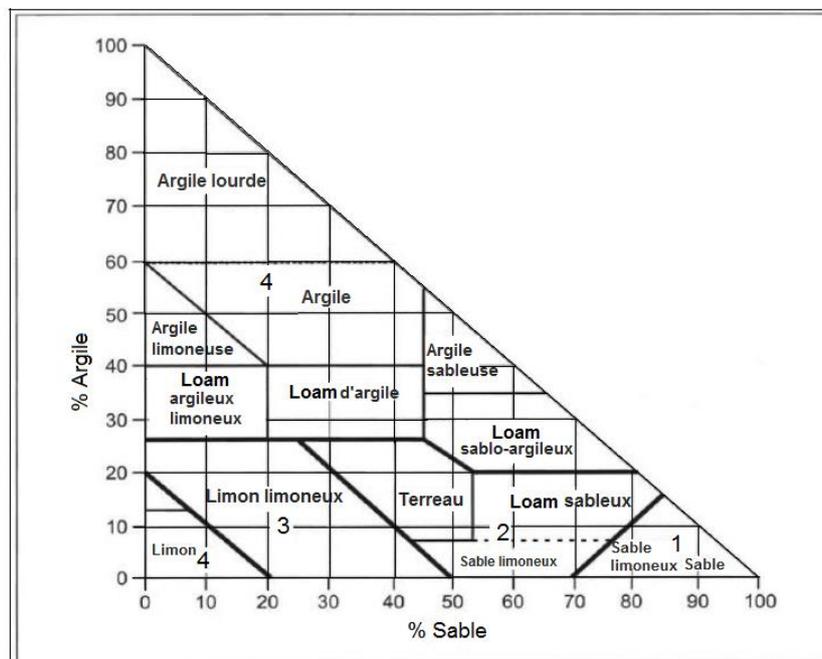


Fig. III.4-Triangle de code de texture du sol basé sur la classification texturale (Centre ontarien d'évaluation des ressources en sols ,1993)

Tab. III.1: code de texture du sol basé sur la classification texturale (USDA, 1983).

texture du sol	code de perméabilité
Argile lourde, Argile.	6
Loam argileux limoneux, Argile sableuse.	5
Loam sablo-argileux, terreau d'argile.	4
Loam ; Limon limoneux.	3
sable limoneux ;Terreau sableux.	2
Sable.	1

1.4 Facteur du couvert végétal :

Le facteur C exprime la protection assurée par le couvert végétal contre l'érosion. A cet effet, un indice est affecté à chaque type de couvert en fonction de son degré de protection. La valeur de l'indice varie de 0 à 1 dont la valeur nulle correspond à la protection maximale.

Une estimation du facteur C peut être réalisée à partir de l'indice de végétation normalisé dérivé (NDVI) à partir de l'imagerie satellitaire. En effet, l'NDVI est l'indice le plus utilisé parmi d'autres pour l'identification du couvert végétal, il se calcule de la manière suivante (Tucker, 1979) :

$$NDVI = (PIR-R) / (PIR + R) \quad \text{(III.5)}$$

Avec:

PIR: band Proche InfraRouge

R: band Rouge

NDVI : Normalized Différence Végétation Index ou bien Indice de végétation par différence normalisée, varie entre -1 et 1.

Dans la présente étude la relation entre le NDVI et C est déterminé par l'équation (Vender Kniff ,1999 ; 2000):

$$C = \exp (-a NDVI / (\beta - NDVI)). \quad \text{(III.6)}$$

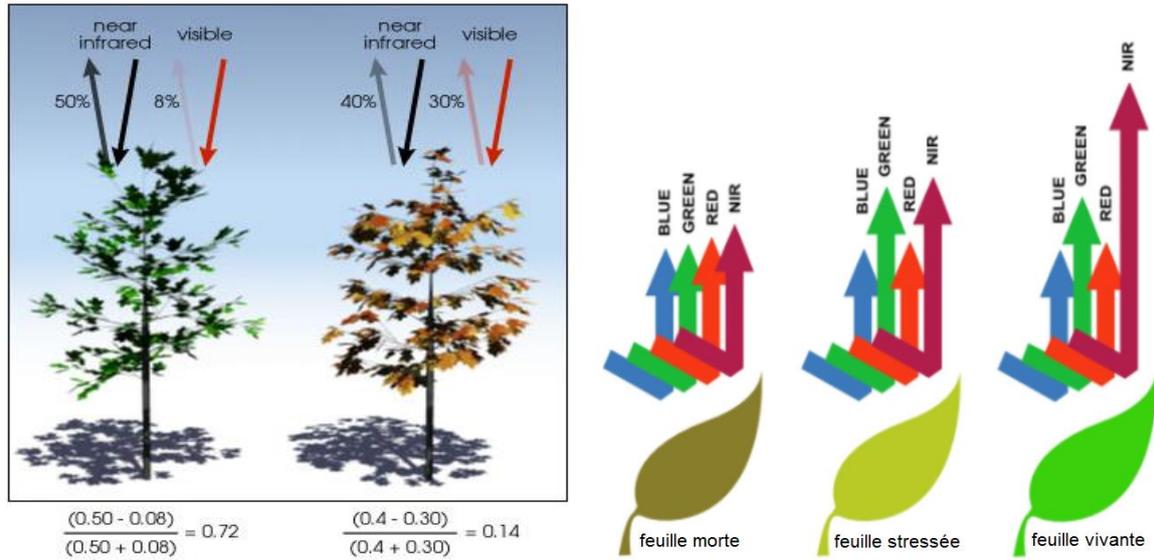


Fig. III.5-bandes spectrales.

1.5 Facteur des pratiques antiérosives (P) :

Le facteur P représente la protection du sol et les pratiques antiérosives réduisant la vitesse de ruissellement et diminuant ainsi le risque de l'érosion hydrique. Il varie en fonction des aménagements effectués. Les valeurs de ce facteur varient généralement entre 0,5 dans les zones aménagés et protégés et 1 où la protection et l'aménagement des sols et des versants sont presque absents.

2. Résultats et discussions :

2.1 Résultat :

2.1.1 Facteur R :

L'exploitation des données de la carte de répartition du facteur d'érosivité des pluies R a permis d'aboutir à une évaluation globale de l'agressivité des pluies sur la zone d'étude.

La carte montre que la partie central du bassin est très Influencée par ce facteur, alors l'effet d'agressivité du climat est très grand dans cette région. Les valeurs annuelles moyennes de l'indice R varient entre 166 et 246 [Mj.mm/ha.h.an] avec une moyenne de 211[Mj.mm/ha.h.an].

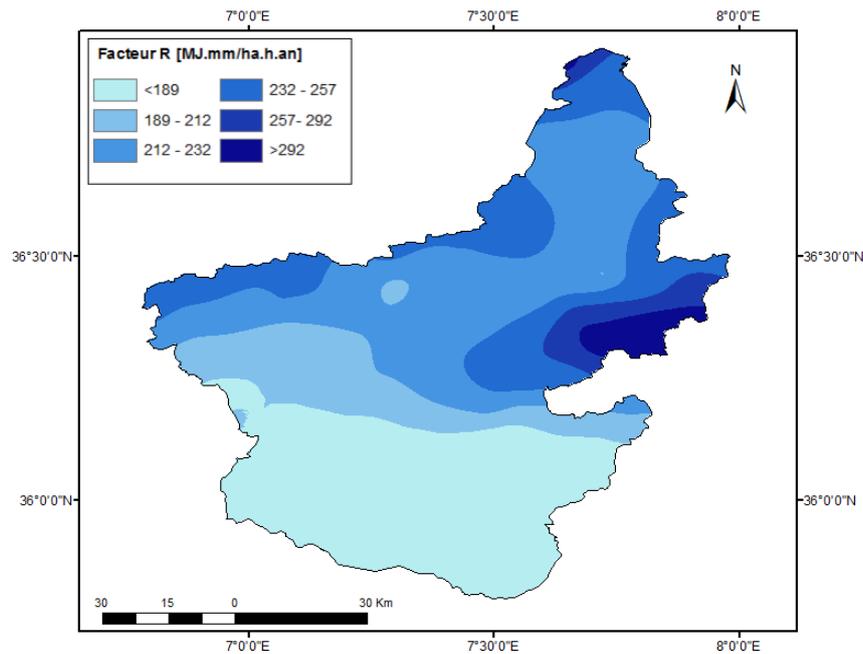


Fig. III.6- Carte de répartition du facteur R dans le bassin versant de la Seybouse.

2.1.2 Facteur LS :

Le facteur topographique a été calculé à partir de la conjugaison de l'inclinaison et longueur de pente selon l'équation de MOORE et BURCH (1986). La spatialisation du facteur LS sur tout le territoire du bassin versant de la Seybouse montre que les valeurs du facteur LS varient de 0 à 34,78. Les plus grandes valeurs du facteur sont localisées dans la partie Sud -ouest et Sud du bassin versant où les pentes sont très raides.

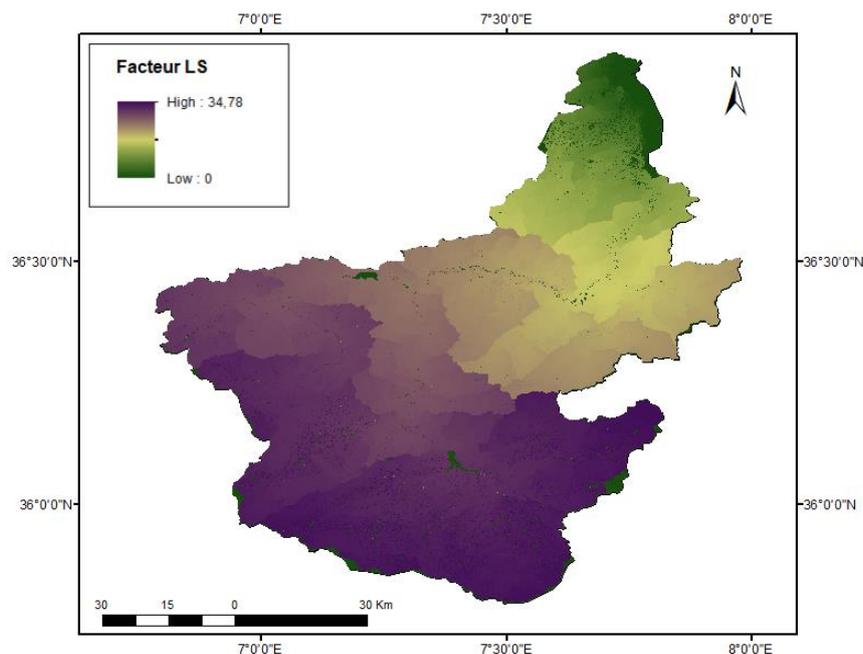


Fig. III.7- Carte de répartition du facteur LS dans le bassin versant de la Seybouse.

2.1.3 Facteur K :

La sensibilité des sols à l'érosion varie considérablement en fonction des sols, c'est pourquoi la correspondance entre la texture des sols et l'érodibilité des sols a permis de mettre en évidence les sols les plus érodibles du bassin versant.

Le facteur K varie entre 0,0352 à 0,0734 t.ha.h/ha.MJ.mm, pour les sols les plus sensibles à l'érosion. La moyenne du facteur d'érodibilité des sols est de 0,059 ce qui est considéré comme des sols moyennement sensibles à l'érosion. La distribution spatiale du facteur K montre que les sols les plus érodibles se situent au sud du bassin versant.

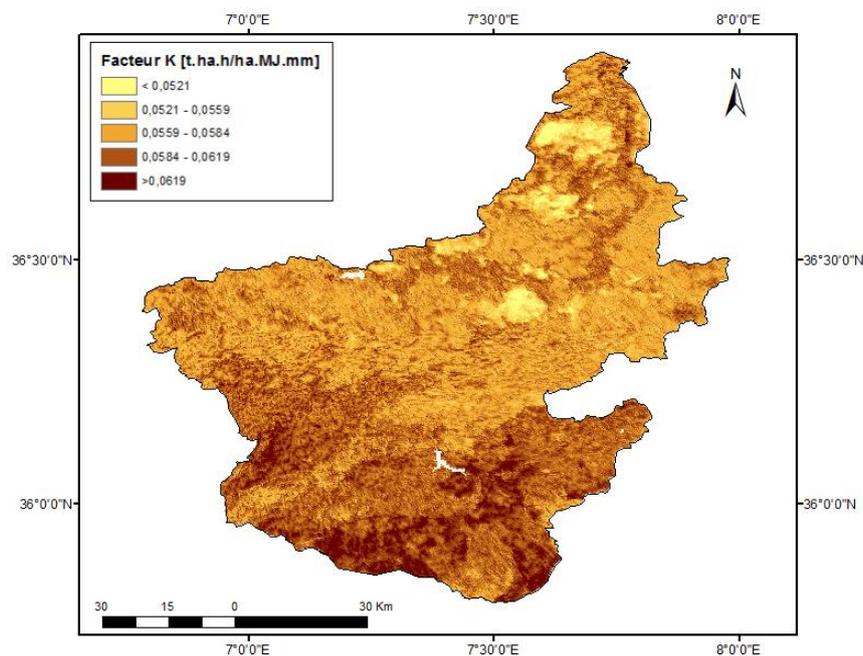


Fig. III.8- Carte de répartition du facteur K dans le bassin versant de la Seybouse.

2.1.4 Le facteur C :

Dans cette étude nous avons exploité les données de la télédétection pour la cartographie de facteur du couvert végétal C. Des images satellitaires Landsat 8 ont servi au calcul de l'NDVI indice qui permet d'estimer les valeurs du facteur C du site étudié.

La carte de répartition du facteur C (Figure) montre la sensibilité des différents types d'occupation du sol vis-à-vis des processus érosifs. Les zones fortement végétalisées sont associées au coefficient le plus faible (0,10) et les coefficients les plus élevés (1) correspondent aux sols nus.

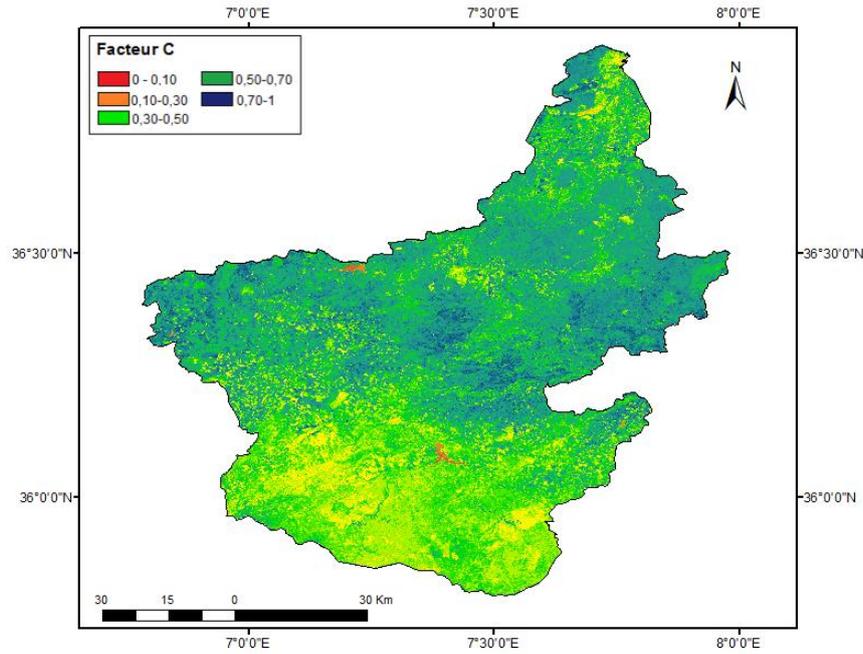


Fig. III.9- Carte de répartition du facteur C dans le bassin versant de la Seybouse.

2.1.5 Facteur P :

Le facteur P est déterminé à partir de la carte des aménagements existants. Dans la présente étude deux valeurs du facteur P ont été attribuées ; la valeur 0,5 est attribuée aux terres agricoles et la valeur 1 pour les terres sans pratique anti érosive.

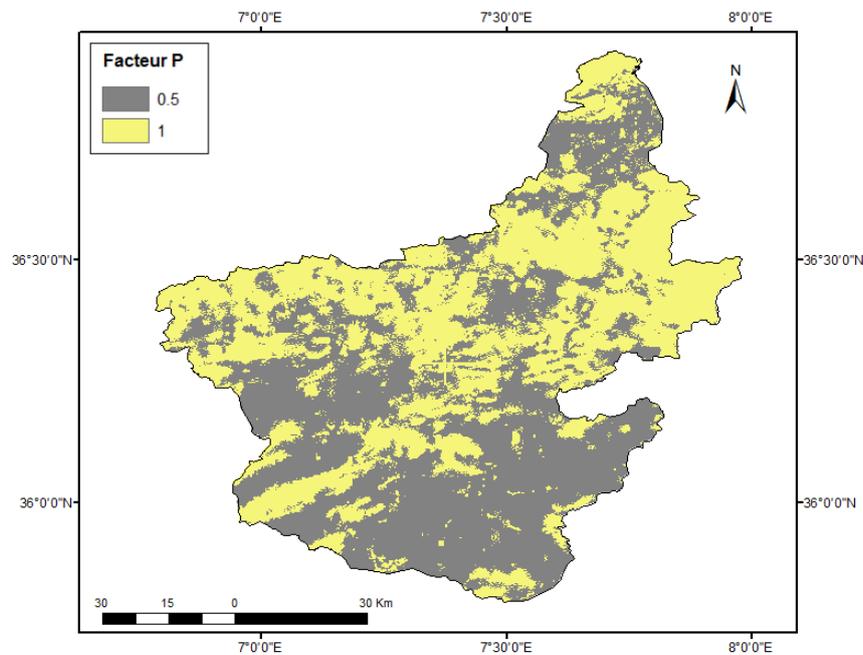


Fig. III.10- Carte de répartition du facteur P dans le bassin versant de la Seybouse.

2.1.6 Estimation des pertes de sols :

Le taux de l'érosion résulte de la combinaison des facteurs du modèle RUSLE, à savoir l'érosivité des pluies R, l'érodibilité des sols K et l'effet combiné du degré et de la longueur de la pente LS, la couverture végétale C et les pratiques antiérosives P. Leur détermination permet de connaître et produire la carte de répartition du risque érosif en (tonne/hectare/an), dans chaque point du bassin versant de la Seybouse.

La carte obtenue montre une nette variabilité spatiale des risques d'érosion hydrique au sein du la zone à l'étude. Le taux de l'érosion calculé par le modèle RUSLE (Wischmeier et Smith 1978) varie entre 0 et plus de 98 t/ha/an répartis sur l'ensemble de l'aire d'étude, avec une moyenne de l'ordre de 63 t/ha/an ce qui est considéré comme élevée par rapport au seuil de tolérance qui est de 7 t/ha/an (SADIKI et al. 2009).

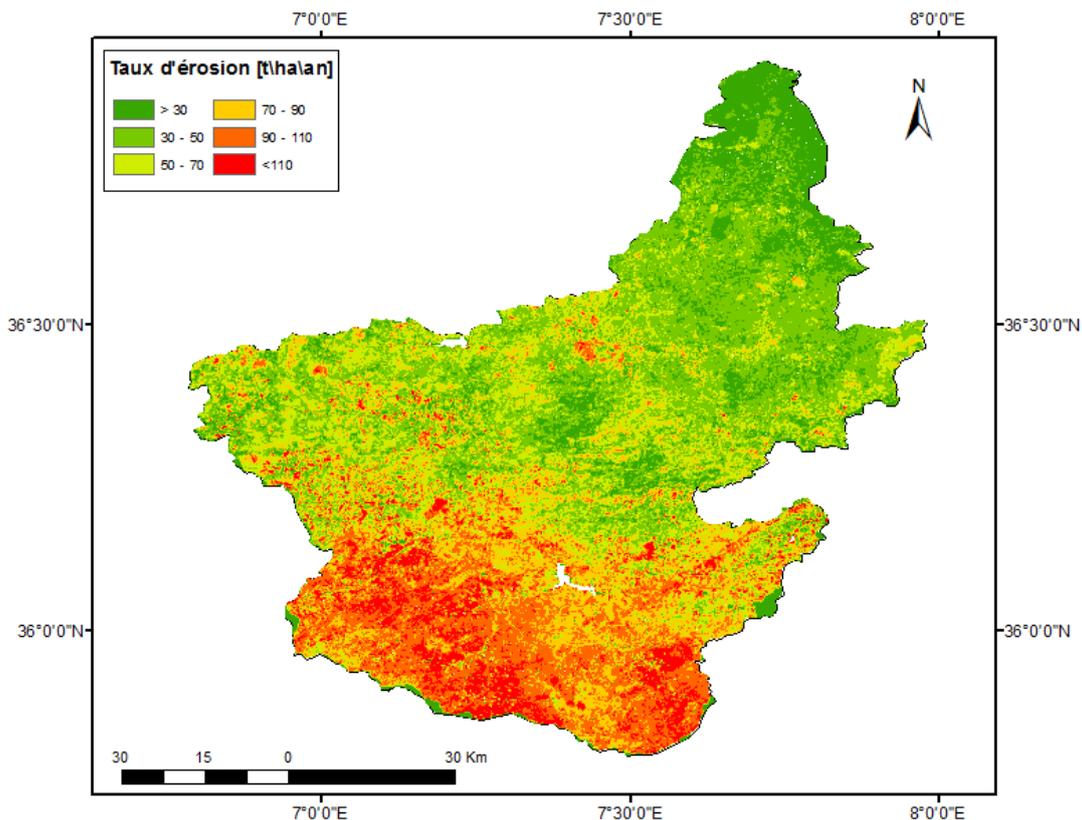


Fig. III.11- Carte du risque érosif dans le bassin versant de la Seybouse.

Une classification de l'érosion hydrique (Tab.III.2) montre qu'une superficie de 642,5Km² soit 9,93% de la superficie totale est soumise à des pertes en sols inférieurs à 39 tonnes/ha/an,

2390Km² du bassin (36,93%) est soumise à des pertes en sols qui oscillent entre 39 et 68 tonnes/ha/an, une 3^{me} partie couvrant 1908,5Km² (29,49 %) est soumise à des pertes en sols variant de 68 à 89 tonnes/ha/an, la quatrième partie qui représente les terrains à pentes fortes et dépourvues de végétation de 1530Km² (23,64%) est plus vulnérable à l'érosion hydrique avec des taux d'érosion supérieur à 98 tonnes/ha/an.

Tab. III.2: Classes des pertes en sols dans la zone d'étude.

Classe du taux de l'érosion hydrique(t/ha/an)	Superficie(Km ²)	taux de l'érosion en %
<39	642,5	9,93
39 - 68	2390	36,93
68 - 89	1908,5	29,49
>98	1530	23,64

2.2 Discussion

La mise en œuvre du modèle RUSLE apporte une information intéressante sur les processus de l'érosion dans le bassin versant de la Seybouse. Il convient cependant de discuter les résultats annoncés dans cette étude au vu de l'échelle d'analyse, des données utilisées et du choix des équations.

La plupart des terres du bassin versant sont vulnérables au processus de l'érosion hydrique, quelques rares localités sont à l'abri de ce fléau environnemental, situé globalement dans les régions à faible pente notamment dans la basse Seybouse.

- Le facteur R a été calculé à partir de l'équation proposée par KASSAM et al (1992).

Cette équation établit une relation entre la moyenne annuelle des précipitations et l'érosivité des pluies, elle a été mise en œuvre à partir de nombreuses données provenant de différentes stations sur l'ensemble du bassin versant et permet donc de prendre en compte la variabilité des précipitations.

Pour le calcul du facteur LS l'équation de Moore et Burch (1986), a été utilisée. Celle-ci montre des résultats satisfaisants par rapport à la topographie réelle du bassin versant.

Le calcul du facteur K a été réalisé par l'emploi de l'équation de Wischmeier et Smith, (1978) Qui s'appuie sur le triangle des textures des pourcentages en matière organique, en sable fin en limon et en argiles à chaque endroit (pixel). Les valeurs de K attribuées aux sols du bassin versant sont donc spécifiques au milieu ce qui est traduit par la grande variabilité spatial du facteur.

Le facteur d'occupation des sols C calculé avec l'équation de Vender Kniff (1999 ; 2000) présente une très grande faiblesse, qui se manifeste sur la plupart du territoire du bassin versant, à l'exception de quelques végétations représentées par des essences forestières.

Les résultats obtenus, présentés sous forme de cartes de perte annuelles de sol, ont permis de définir les zones sensibles nécessitant une priorité aux interventions d'aménagement et de conservation des sols.

CONCLUSION GENERALE

La présente étude pose la problématique de l'érosion hydrique dans le bassin versant de la Seybouse à l'aide du système d'information géographique (SIG), qui est un outil essentiel pour la spatialisation de l'information ainsi que pour la mise à jour des données.

Les éléments contenus dans les inventaires topographiques, les inventaires géologiques et d'occupation des terres ont été croisés dans un SIG. L'analyse et la modélisation spatiale de la friabilité du substratum lithologique, du couvert végétale, la répartition des pluies moyennes annuelles et le degré d'inclinaison des pentes ont permis d'avoir une idée claire sur la gestion du bassin versant de la Seybouse.

La cartographie de la zone à l'érosion hydrique a permis d'évaluer en chaque pixel le taux d'érosion moyen annuel, ces taux ont été par la suite classés en quatre classes de vulnérabilité multifactorielle dans le bassin versant. Les zones à faible vulnérabilité couvrent 9,93 % du secteur d'étude, les zones à moyenne vulnérabilité 36,93 %, les zones à forte vulnérabilité 29,49 % et celles à très forte vulnérabilité couvrent 23,64 % du bassin versant de la Seybouse.

L'Equation Universelle des Pertes en Sol Révisée (RUSLE) mise en œuvre conduit à une meilleure compréhension de la distribution spatiale de l'érosion dans le bassin étudié. Les résultats indiquent que les valeurs les plus élevées ont été observées dans les zones avec des pentes abruptes et dépourvues de végétation.

L'application de cette méthode a donné des résultats respectables qui peuvent apporter une aide précieuse, à coûts très bas, aux décideurs pour simuler des scénarios d'évolution et par suite cibler les zones prioritaires qui nécessitent des actions de conservation et de lutte contre l'érosion hydrique dans le bassin de la Seybouse.

- Ait Elkadi.M, El Kedmiri .A. Modélisation de l'érosion hydrique dans le bassin versant du barrage Mly Abdallah (Haut atlas occidental, Maroc). P 8 ,29.
- Arnold, S. J., and C. R. Peterson.1989. A test for temperature effects on the ontogeny of shape in the garter snake, *Thamnophis sirtalis*. *Physiological Zoologie*, in press
- ASRI.A .Cartographie de vulnérabilité à l'érosion hydrique du bassin versant d'Oued Zeddine (W.AinDefla). P5, P6, P9-12.
- Bhuyan, S.J., Marzen, L.J., Koelliker, J.K., Harrington, J.A., and Barnes, P.L. 2002.Assessment of runoff and sediment yield using remote sensing, GIS, and AGNPS. *J. Soil Water Cons.* 57(6): 351–363.Flanagan et Nearing (1995)
- BOUCHELAGHEM.E. Caractérisation du peuplement Odonatologique du bassin versant des Oueds :Cherf – Seybouse. P12 , P13.
- Center for Ecological Management of Military Lands Department of Forest Science, Colorado State University.
- COTE M. 1998. Les régions bioclimatiques de l'Est Algérien. *Rhumel*. Vol. 6. p. 57-71.
- Démangeot J., 2000. Les milieux naturels du globe. P 300.
- DEMMAK A. 1982.Contribution a l'étude de l'érosion et des transports solide en Algérie septentrionale. Thèse Doc – Ing .Paris. p323
- Dumas TC. 2004. Early eyelid opening enhances spontaneous alternation and accelerates the development of perforant path synaptic strength in the hippocampus of juvenile rats. *Dev Psychobiol* 45: 1–9.Atherton, J. et al. (2017). *Nature Struct. Mol. Biol.* 24, 931–943.
- GEORGES. Y. Evaluation de l'Erosion dans le bassin versant de la rivière Grise (Haïti).
- Jones D., Kowalski D & Shaw R. 1996.Calculating Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Estimates on Department of Defense Lands: A Review of RUSLE Factors and.
- Kassam A.H.,Velthuisen H;T, Mitchell A.J.B, Fishcher G.W. and. Shah M;M; 1992.Agro-Ecological Land Ressources Assessment ford Agricultural Development Planning
- KOUDDED.M. Cartographie des risques d'érosion hydrique des sols au moyen du Système d'Information Géographique Cas du bassin versant de l'oued Fergoug. p14 ,p15.
- LOUAMRI.A.LEBASSIN-VERSANT DE LA SEYBOUSE (Algérie orientale):HYDROLOGIE ET AMENAGEMENT DES EAUX .P3,P4.
- Luneau, G. (2006), La spatialisation de l'aléa érosion en Nouvelle-Calédonie, Master thesis, ENSAT/SIGMA
- MOORE I.D., BURCH G.J. 1986. Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation.*Soil Sciences Society America Journal*.Vol. 50.Iss.5. p. 1294-1298.

- MORSLI B., 1996. Caractérisation, distribution et susceptibilité à l'érosion des sols de montagne « cas des monts de Béni-Chougrane – Mascara ». Thèse de magistère I.N.R.F EL, Harrach. p170. Greco, J. (1966). L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie. MARA. Alger
- Nearing, M. A., G. R. Foster, L. J. Lane, and S. C. Finkner. 1989. A process-based soil erosion model for USDA-Water Erosion Prediction Project technology. Trans. ASAE 32(5): 1587-1593 Baigorria and Romero, 2007
- RENARD K.G., FOSTER G.R., WEESIES G.A., MCCOOL D.K., YODER D.C. 1997. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U. S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook No. 703.
- Roose (1994). Introduction à la GCES. Bulletin pédologique FAO. 76, 420p (MORSLI, 1996).
- SADIKI A., FALEH A., ZÉZERE J.L., MASTASS H. 2009. Quantification de l'érosion en nappes dans le bassin versant de l'oued Sahla Rif central Maroc. Cahiers Géographiques. Vol. 6. p. 59-70.
- Stengel P., Gelin S., (1998). Sol, interface fragile. Chap 9 l'érosion hydrique des sols cultivés en milieu tempéré. Institut National de la Recherche agronomique, ed. Quae, 222 pages
- Toy J-T & Foster R-G. 1998. Guidelines for the use of the revised universal soil loss equation (RUSLE).
- Tucker, C. J., 1979: Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sens. Environ., 8, 127-150
- Triangle de code de texture du sol basé sur la classification texturale (Centre ontarien d'évaluation des ressources en sols, 1993)
- United state department of agriculture (USDA), (1983). National soil handbook.
- United state Geology and soils (USGS). Ontario center for soil Resource evaluation 1993
- Van der Knijff J.M., Jones R.J.A. & Montanarella L. 1999. Soil erosion risk assessment in Italy. European Soil Bureau, Joint Research Center of the European Commission. 54p. <https://pdfs.semanticscholar.org/18f2/cb0145c0c027d8d27c280b533d7aa6fef5f3.pdf>
- Vander Knijff J.M., Jones R.J.A. & Montanarella L. 2000. Soil erosion risk assessment in Europe. European Soil Bureau, European Communities, EUR19044EN, 32p.
- WISCHMEIER W.H., SMITH D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses : A guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook No. 537.