

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

**Cartographie de vulnérabilité à l'érosion hydrique du bassin versant d'Oued Zeddine (w. Ain defla) .**

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0027-17

APA Citation ( APA توثيق ):

**Asri, Abir (2017). Cartographie de vulnérabilité à l'érosion hydrique du bassin versant d'Oued Zeddine (w. Ain defla)[Thèse de master, ENSH].**

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بنمّين الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات، بيداغوجية، مقالات الدوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE URBAINE

## MEMOIRE DE MASTER

*En vue de l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique*

**Option: Assainissement**

### **THEME DU MEMOIRE :**

Cartographie de vulnérabilité à l'érosion hydrique du bassin  
versant d'Oued Zeddine (W.Ain Defla)

### **PRESENTE PAR :**

Mlle : ASRI Abir.

### **Devant les membres du jury**

<b>Nom et Prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
Mr KHODJET-KESBA Omar	Professeur	Président
Mr KAHLERRAS Djillali	M.A.B	Examinateur
M <sup>me</sup> AMMOUR Fadila	M.A.A	Examinatrice
M <sup>me</sup> SALHI Chahrazed	M.A.B	Examinatrice
M <sup>me</sup> BERBACHE Sabah	M.C.A	Promoteur

**Avril 2017**





REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE URBAINE

## MEMOIRE DE MASTER

*En vue de l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique*

**Option: Assainissement**

### **THEME DU MEMOIRE :**

Cartographie de vulnérabilité à l'érosion hydrique du bassin  
versant d'Oued Zeddine (W.Ain Defla)

### **PRESENTE PAR :**

Mlle : ASRI Abir.

### **Devant les membres du jury**

<b>Nom et Prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
Mr KHODJET-KESBA Omar	Professeur	Président
Mr KAHLERRAS Djillali	M.A.B	Examinateur
M <sup>me</sup> AMMOUR Fadila	M.A.A	Examinatrice
M <sup>me</sup> SALHI Chahrazed	M.A.B	Examinatrice
M <sup>me</sup> BERBACHE Sabah	M.C.A	Promoteur

**Avril 2017**

# Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force, le courage et la patience d'accomplir ce modeste travail.

La réalisation de ce mémoire de Master a été possible grâce au concours de plusieurs personnes, à qui je voudrais témoigner toute ma reconnaissance.

Je tiens à exprimer ma gratitude et mes remerciements les plus sincères à mon encadreur Mme BERBECHE Sabah de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé judicieusement.

Sans oublier Mr, Berbeche Yacinee pour l'aide précieuse, qu'il nous a apportée durant l'élaboration de ce modeste travail.

Je tiens à remercier en particulier, tous le corps enseignants et les personnels de l'ENSH qui veillent sur notre bonne formation.

Je tiens à remercier également toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail et à toute personne qui m'a apporté son aide en me consacrant une partie de son temps.

Pour finir, j'adresse mes vifs remerciements à mes parents pour leur soutien constant et leur présence quotidienne tout au long de mes études.

Je n'y serais pas arrivée sans eux et j'espère qu'ils trouveront en ce modeste travail, la récompense de tout ce qu'ils m'ont enseigné. J'ai également une pensée pour mes frères, sœur et ma belle sœur, qui ont également été présents toutes ces années, m'apportant chacun leur soutien à leur manière.

Merci a tous

*ASRI Abir*

# Dédicace

Je dédie ce modeste travail au seigneur DIEU tout puissant qui m'a créé et m'a donné la faculté de connaître et de comprendre, A mon père auprès de qui j'ai eu le goût de la sagesse, du savoir et de la connaissance ; A ma mère qui m'a donné la vie et qui a guidé mes premiers pas dans la recherche du savoir et de la réussite, qu'elle trouve ici sa joie ; A mes frères Housseem et Ayoub qui m'ont toujours soutenu et éprouvé de la joie pour mes victoires et de la peine pour mes souffrances, sans oublier ma petite sœur Hasna et ma belle sœur Narimane;

Ainsi qu'à tous les membres de ma famille ASRI et la famille KABAR.

*Mon dédicace va également à ma promotrice* Mme, BERBECHE SABAH pour sa patience et son inestimable aide,

A mes très chers amis qui étaient toujours à mes côtés

A toute personne utilisant ce document pour un bon usage.

.....ABIR 2017



## ملخص

تتضمن الدراسة تحليلاً للعوامل الطبيعية الأساسية المسببة لظاهرة انجراف التربة بواسطة المياه في حوض وادي زدين وتقوم هذه المنهجية على أسلوب قياسي من الخرائط الرقمية ابتداء من جمع وتجهيز صور الأقمار الصناعية. إلى إن تتقاطع مع البيانات الجغرافية الأخرى في أداة نظم المعلومات الجغرافية. إن العوامل المختارة ترتبط بالظروف البيئية المتمثلة في المناخ، التربة، التضاريس والغطاء النباتي، وتقاطع هذه العوامل اعتماداً على القواعد المختارة سمح لنا باعداد خارطة تصف أربع فئات متعددة العوامل لحساسية التربة للانجراف بواسطة المياه (منخفضة 14.04٪، متوسطة 48.52٪، عالية 34.59٪ وعالية جداً 2.85٪). نجد المناطق المعرضة لخطر الانجراف خاصة في الاراضي ذات المنحدرات الحادة و / أو في حالة غطاء نباتي غير حامي. يعتبر هذا المشروع أداة لمساعدة واضعي السياسات لتحسين إدارة الموارد المائية والتربة مع الأخذ بعين الاعتبار توقعات واحتياجات سكان الريف.

## Résumé

L'étude porte sur une analyse des principaux facteurs naturels entraînant le phénomène de l'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de l'oued Zeddine. La méthodologie se base sur la technique usuelle de cartographie numérique depuis l'acquisition et le traitement d'images satellitaires jusqu'à leur croisement avec d'autres données géographiques dans l'outil SIG (système d'information géographique). Les paramètres à estimer sont liés aux conditions du milieu : sol, relief, occupation du sol. Ainsi, le croisement de ces facteurs selon des règles qualitatives choisies nous a permis d'élaborer une carte décrivant quatre classes de vulnérabilité multifactorielle des sols à l'érosion hydrique : faible (14.04 %), moyenne (48.52 %), forte (34.59%) et très forte (2.85 %). Les zones très vulnérables à l'érosion se manifestent dans les sols et substrats fragiles à pente raide et/ou subissant une agriculture très extensive où le couvert végétal est peu protecteur. Cette première ébauche cartographique est un outil devant aider les décideurs pour une meilleure gestion des ressources en eau et en sol et tenant compte des attentes et des besoins de la population rurale.

## Abstract

The study includes an analysis of key natural factors causing the phenomenon of water erosion in a watershed of western Algeria. The methodology is based on the standard technique of digital mapping from the acquisition and processing of satellite images and remote sensing data to the use of the GIS tool (Geographical Information System). The parameters to be estimated are related to environmental conditions: climate, soil, topography, land cover. However, the crossing of these factors by qualitative rules chosen allowed us to develop a map depicting four multifactorial vulnerability to water erosion classes: low (14.04 %), medium (48.52 %), high (34.59%) and very high (2.85 %). High- risk areas of erosion occur in fragile lands in steep and / or undergoing a very extensive agriculture where the soil covers little protection. This first mapping study is a tool to help decision makers to better manage water resources and soil and taking into account the expectations and needs of the rural population.

## Liste des tableaux

Tableau I.1 : Appellation des lignes d'écoulement .....	5
Tableau I.2 : processus de dégradation, causes, les facteurs de résistance du milieu .....	6
Tableau I.3 : l'état d'envasement des barrages algériens .....	8
Tableau II.1 : le relief en fonction de la valeur de $I_g$ .....	19
Tableau II.2 : caractéristiques morphologiques du bassin versant.....	20
Tableau IV.1 : Classes des pentes et indices attribués selon Roose, 1977 .....	39
Tableau IV.2 : Classes de sensibilité du couvert végétal à l'érosion .....	40
Tableau IV.3 : classes des pluies favorisantes à l'érosion.....	40
Tableau IV.4 : Classement des sols en fonction de différentes caractéristiques.....	41

## Liste des Figures

Figure II.1 : Carte de situation du bassin versant de l'oued Zeddine.....	15
Figure II.2 : Carte hypsométrique du bassin versant de l'oued Zeddine.....	16
Figure II.3 : la courbe hypsométrique du bassin de l'Oued Zeddine .....	16
Figure II.4 : le profil en long du cours d'eau principale.....	17
Figure II.5 : Vue du Barrage Ouled Mellouk.....	21
Figure II.6 : Evacuateur de crues du Barrage Ouled Mellouk .....	21
Figure II.7 : Vidange de fond du Barrage Ouled Mellouk .....	21
Figure II.8 : Prise agricole et la tour de prise du Barrage Ouled Mellouk .....	22
Figure II.9 : Galerie d'injection et drainage du Barrage Ouled Mellouk .....	22
Figure III.1 : Carte des élévations du bassin de l'oued Zeddine.....	27
Figure III.2 : Carte des pentes du sous bassin versante de l'oued Zeddine .....	28
Figure III.3 : Carte litho-stratigraphique du sous bassin de l'oued Zeddine .....	30
Figure III.4 : Carte pluviométrique du sous bassin de l'oued Zeddine .....	32
Figure III.5 : Carte d'occupation du sol du bassin de l'oued Zeddine.....	34
Figure IV.1 : Méthodologie de la cartographie de sensibilité des sols a l'érosion hydrique....	38
Figure IV.2 : Les combinaisons existante si la précipitation est de classe faible .....	42
Figure IV.3 : Les combinaisons existante si la précipitation est de classe moyenne.....	43
Figure IV.4 : Carte de vulnérabilités multifactorielles a l'érosion hydrique du bassin .....	44

## Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

### Chapitre I : Recherche Bibliographique

I.1 Introduction.....	3
I.2 L'érosion.....	3
I.2.1 Définition .....	3
I.2.2 Types d'érosion .....	4
I.2.2.1 L'érosion éolienne .....	4
I.2.2.2 L'érosion aratoire ou mécanique sèche.....	4
I.2.2.3 L'érosion hydrique.....	4
I.2.3 Causes d'érosion et facteurs de résistance du milieu.....	6
I.2.4 L'impact De L'érosion Dans Différentes Régions .....	6
I.2.5 Intérêts de l'imagerie et des SIG pour l'étude de l'érosion.....	8
I.3 Méthodes utilisées pour étudier l'érosion .....	9
I.3.1 Méthode « Universal Soil Loss Equation » (Wischmeier et Smith).....	10
I.3.2 La méthode PAP/CAR .....	10
Modèle d'Érosion hydrique en milieu semi-aride de Forte Énergie de Relief.....	10
I.3.4 Modèle « Water Prediction Project » (Bhuyan <i>et al.</i> ).....	11
I.3.5 Cartographie de l'aléa « érosion hydrique » (Luneau) .....	11
I.3.6 Trois indices utilisés pour estimer l'érosion des sols (Atherton <i>et al.</i> ).....	11
I.4 Les principales études de l'érosion en Algérie .....	11
I.5 Conclusion .....	12

### Chapitre II : Cadre de l'étude

II.1 Introduction .....	14
II.2 Zone d'étude.....	14
II.2.1 Situation géographique .....	14
II.2.2 Réseau hydrographique.....	15
II.2.3 Climat.....	15
II.2.4 Caractéristique morphologique du bassin versant.....	15
II.3 Présentation du barrage d'Ouled Mellouk.....	20
II.3.1 Equipement du barrage .....	21

II.3.2 Apport du Barrage .....	22
II.3.3 Le barrage en chiffre.....	23
II.4 Conclusion.....	23

### **Chapitre III : Cartographie des principaux facteurs de l'érosion hydrique**

III.1 Introduction .....	25
III.2 Le facteur de l'érosion hydrique.....	25
III.2.1 Les facteurs d'ordre naturel .....	26
III.2.1.1 La topographie.....	26
III.2.1.2 La nature du substrat .....	29
III.2.1.3 Les précipitations .....	31
III.2.2 Le paramètre d'ordre anthropique.....	33
III.2.2.1 L'occupation du sol .....	33
III.3 Conclusion .....	35

### **Chapitre IV : Approche cartographique de l'érosion hydrique**

IV.1 Introduction.....	37
IV.1 Approche méthodologique.....	37
IV.3 La pondération des facteurs .....	39
IV.3.1 Les pentes .....	39
IV.3.2 L'occupation du sol.....	39
IV.3.3 Les Précipitations .....	40
IV.3.4 La litho-stratigraphie .....	40
IV.4 Combinaison des facteurs .....	41
IV.5 Limites et perspectives.....	45
IV.6 Conclusion .....	46
Conclusion générale .....	48

# **Introduction générale**

### Introduction générale

L'érosion hydrique est un phénomène géologique naturel qui a façonné la surface de la terre au cours des âges géologiques (**White, 1986**). Les changements climatiques et des paysages sous l'influence de la pression démographique et l'extension des cultures d'exploitation, ont contribué à l'augmentation de l'exposition des terres au processus de ruissellement, et par conséquent, à la dégradation des sols par l'érosion (**Vezena et Bonn, 2006**). Diverses sortes d'activités humaines, pratiques agricoles, exploitations forestières, pâturages, construction des routes et bâtiments tendent à modifier les phénomènes d'érosion, en l'accéléralant souvent de façon considérable (**Wachal, 2007**). Elle résulte du détachement, sous l'effet de l'énergie cinétique des gouttes de pluie, et du transport de fragments ou de particules de sol ou de roches de leur emplacement initial par l'eau, dégradant la qualité des eaux et la fertilité des sols et réduisant la capacité des réservoirs

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. Elle a été reconnue comme un moyen de problème environnemental dans les années 1930 par les colons et les agronomes (**Aubert G. 1986**). Plus de 120 millions de tonnes de sédiments sont rejetées en mer chaque année réduisant la durée de vie des barrages (**Demmak.1989**). Ces effets sont néfastes sur la fertilité des sols et la qualité des eaux. D'après (**Demmak, 1982 et Achite et al, 2006**), Le taux de sédimentation a évolué ces dernières années, du fait de la forte érosion des bassins versants, particulièrement à l'Ouest du pays où l'érosion touche 47 % de l'ensemble des terres. Au début des années quatre vingt, environ 120 millions de tonnes de sédiments arrachés annuellement au niveau des bassins versants du nord algérien (**Demmak, 1982**).

La présente étude pose la problématique de l'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de l'oued Zeddine ou droit du barrage d'Ouled Mellouk qui a connue un envasement de 8 Mm<sup>3</sup> en seulement 2 ans. A fin connaître la répartition et l'ampleur géographique de l'érosion dans ce bassin versant on a va procéder a une cartographie multifactorielle du phénomène

Nous proposons une approche cartographique qui porte sur l'intégration dans un SIG quatre facteurs influençant l'érosion hydrique qui sont : l'inclinaison de la pente, les précipitations, la nature du substrat et le couvert végétal. Ainsi, une évaluation de l'érosion qualitative est établie grâce à divers croisements des cartes thématiques entre elles a fin d'obtenir au finale une carte de vulnérabilité multifactorielle a l'érosion hydrique du bassin versant.

Cette étude peut être un document de référence dans les études d'aménagements contre l'érosion hydrique à prévoir dans le bassin-versant de l'oued Zeddine.

**Chapitre I :**  
**Recherche Bibliographique**

## Chapitre I : Recherche Bibliographique

### I.1 Introduction :

Les études récentes sur la vulnérabilité au changement climatique dans la région méditerranéenne indiquent une tendance à un accroissement à l'aridité qui accélère l'érosion hydrique (**Shabban et al, 1998**).

L'érosion des sols par la pluie et le ruissellement est un phénomène largement répandu dans les différents pays de la méditerranée. Il continue à prendre des proportions considérables en particulier sur les pentes à cause de la torrencialité des pluies, de la forte vulnérabilité des terrains (roches tendre ; sols fragiles ; pentes raides et couvert végétal souvent dégradé) et de l'impact défavorable des activités agricoles, selon la FAO (**1990**), la situation continue à se dégrader ; En Tunisie 45% de la superficie totale est menacée par l'érosion hydrique (**Chevalier, 1995 ; Boussama, 1996**), au Maroc 40% (**Celik, 1996**) et en Algérie 45% des zones telliennes sont touchées, soit 12 millions d'hectares (**Chebbani,1999**).

Devant l'aggravation des dégâts observés au cours de ces vingt dernières années, de nombreuses recherches sur les processus et les facteurs de l'érosion hydrique ont été engagées

### I.2 L'érosion :

#### I.2.1 Définition :

Erosion vient de "*ERODERE*", verbe latin qui signifie "ronger". L'érosion ronge la terre comme un chien s'acharne sur un os. D'où l'interprétation pessimiste de certains auteurs qui décrivent l'érosion comme une lèpre qui ronge la terre jusqu'à ne laisser qu'un squelette blanchi : les montagnes calcaires qui entourent la Méditerranée illustrent bien ce processus de décharnement des montagnes dès lors qu'on les défriche et que l'on brûle leur maigre végétation (ex. Grèce). En réalité, c'est un **processus naturel** qui certes, abaisse toutes les montagnes mais en même temps, l'érosion engraisse les vallées, forme les riches plaines qui nourrissent une bonne partie de l'humanité. Il n'est donc pas forcément souhaitable d'arrêter toute érosion, mais de la réduire à un niveau acceptable ou tolérable.

C'est aussi l'ensemble des actions chimique et organique qui aboutit à la destruction des roches et au nivellement progressif du terrain plus simplement ; l'érosion est l'usure de la partie superficielle de l'écorce terrestre, l'eau et le vent sont les principaux agents naturels. (**Greco 1966**).

L'érosion est un phénomène naturel qui affecte l'ensemble de la couverture terrestre géopédologique et c'est l'un des facteurs important de formation et l'évolution des milieux naturels (**Dutil, 1984**).

## **I.2.2 Types d'érosion :**

Il existe trois types d'érosion

### **I.2.2.1 L'érosion éolienne :**

Le vent exerce sur les particules solides au repos une pression sur la surface exposée au flux d'air, appliquée au-dessus du centre de gravité, auquel s'oppose un frottement centré sur la base des particules. Ces deux forces constituent un couple tendant à faire basculer et rouler les particules lourdes (0,5 à 2 mm), de plus, la différence de vitesse entre la base et le sommet des particules provoque leur aspiration vers le haut. Les particules les plus légères s'élèvent à la verticale jusqu'à ce que le gradient de vitesse ne les porte plus. Elles retombent alors, poussées par le vent, suivant une trajectoire subhorizontale. En retombant, ces grains de sable transmettent leur énergie à d'autres grains de sable (comme dans un jeu de boules) ou se dégradent les agrégats limono-argileux en dégageant de la poussière (**Heusch, 1988**).

L'érosion éolienne prend de l'importance en Afrique de l'Ouest dans les zones tropicales sèches, là où la pluviosité annuelle est inférieure à 600 mm, où la saison sèche s'étend sur plus de six mois et où la végétation de type steppique laisse de larges plaques de sol dénudé. Ailleurs, elle peut aussi se développer dans des conditions de préparation du sol qui amènent une pulvérisation importante des matériaux superficiels secs.

### **I.2.2.2 L'érosion aratoire ou mécanique sèche**

Ce phénomène d'érosion n'est pas dû à l'intervention de l'eau, c'est le travail du sol qui arrache les particules, les transporte et les dépose soit en bas de parcelle, soit en talus.

- **Facteurs d'érosion mécanique**

Les facteurs influençant la quantité de terre déplacée sont :

- Le type d'outil
- La fréquence des passages
- La pente

Plus la pente est forte, plus les mottes de terres détachées roulent vers le bas. C'est ce qui explique que les sommets des collines sont souvent décapés.

### **I.2.2.3 L'érosion hydrique**

L'érosion hydrique des terres est un processus impliquant le détachement de particules de sol puis leur transport sous l'action de l'eau vers un lieu de dépôt.

L'élément déclencheur de ce type d'érosion est la pluie, qui provoque le détachement des particules élémentaires du sol. Et il existe plusieurs types de l'érosion hydrique

- **Erosion en nappe**

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.

- **Erosion linéaire, en griffes ou en rigoles**

Ce type d'érosion intervient à la suite du ruissellement. Dans un premier temps, des flaques se forment. En débordant, les flaques communiquent entre elles et des lignes d'écoulement limitées dans l'espace apparaissent selon la ligne de plus grande pente : selon la profondeur de ces lignes, le vocabulaire employé est différent. Dans le tableau I.1, nous donnons les différentes formes d'érosion hydrique.

**Tableau I.1** :Appellation des lignes d'écoulement

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

Roose.1994

### I.2.3 Causes d'érosion et facteurs de résistance du milieu

Le sol est souvent menacé par les problèmes d'érosion. En géomorphologie, c'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 I.2 présente les processus de dégradation, les causes ainsi que les facteurs de résistance du milieu.

**Tableau I.2** : processus de dégradation, causes, les facteurs de résistance du milieu.

Les processus de dégradation et d'érosion et leurs formes	Les causes : différentes sources d'énergie	Les facteurs de résistance du milieu
<b>Erosion mécanique sèche</b> 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
<b>Erosion en nappe</b> 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
<b>Erosion linéaire</b> Formes : griffes, rigoles, Ravines	L'énergie du ruissellement dépend du volume du ruissellement et de sa vitesse $\text{au carré } \frac{1}{2}MV^2 = \frac{1}{2}MGH$	- 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

(Roose, 1994)

### I.2.4 L'impact De L'érosion Dans Différentes Régions :

L'érosion est un problème dont la gravité varie beaucoup d'un site à un autre. **Kanwar (1982)** a montré au congrès de l'Association Internationale des Sciences du Sol à New Delhi que sur 13.500 millions d'hectares de surface exondées dans le monde, 22 % sont cultivables et seulement 10 % sont actuellement cultivés (soit 1.500 millions d'ha). Ces dix dernières

années, les pertes en terres cultivables ont augmenté jusqu'à atteindre 7 à 10 millions d'ha/an, suite à l'érosion, à la salinisation ou à l'urbanisation. A ce rythme, il faudrait trois siècles pour détruire toutes les terres cultivables. L'érosion est donc un problème sérieux à l'échelle mondiale mais il est bien plus préoccupant dans certaines régions du monde, comme c'est le cas au Magreb et plus particulièrement en Algérie.

Aux Etats-Unis, vers 1930, 20 % des terres cultivables ont été gravement endommagées par l'érosion suite à la mise en culture inconsidérée des prairies de la Grande Plaine par les colons européens, peu habitués à ces conditions semi-arides. C'est l'époque sombre des "dust bowl", nuages de poussières qui obscurcissaient complètement l'air dans la Grande Plaine. Ces phénomènes, impressionnant l'opinion publique, ont poussé le Gouvernement américain à former un grand service de conservation de l'eau et des sols mettant à la disposition des agriculteurs volontaires un appui technique et financier dans chaque canton. Parallèlement, un réseau de stations de recherche a été mis en place, qui, trente ans plus tard, aboutit à la formulation de l'équation universelle de perte en terre, connue sous le nom de USLE (**Wischmeier, 1978**). **En 1986, Lovejoy et al** remarquent qu'après cinquante ans d'investissement massif en hommes et en moyens, encore 25 % des terres cultivées perdent plus de 12 t/ha/an, limite reconnue tolérable. Le problème reste donc à l'ordre du jour, même si aujourd'hui on s'intéresse plus à la pollution et à la qualité des eaux qu'à la conservation des sols.

Pour l'ensemble de la Communauté Economique Européenne (CEE), **De Ploey (1990)** estime que 25 millions d'hectares ont été gravement affectés par l'érosion. La France totaliserait 5 millions d'hectares et le coût des nuisances occasionnées par l'érosion s'élèverait à 10 milliards de FF sans compter la valeur intrinsèque des sols perdus, difficilement chiffrables.

Plus sérieux que ces affirmations dramatiques, sont les résultats des mesures de pertes en terre sur parcelle (100 m<sup>2</sup>) mises en place sous l'impulsion du Professeur Frédéric Fournier depuis les années 1950, par l'ORSTOM et les Instituts du CIRAD (**Roose, 1967**). Ces pertes en terre varient de 1 à 200 t/ha/an (jusqu'à 700 tonnes en montagne, sur des pentes de 30 à 60 %) sous des cultures propres aux régions forestières à pentes moyennes (4 à 25 %), des pertes en terre de 0,5 à 40 t/ha sous mil, sorgho, arachide, coton sur les longs glacis ferrugineux tropicaux des régions soudano-sahéliennes (**Roose et al, 1984**).

En Algérie, L'érosion hydrique affecte de plein fouet les ouvrages hydrauliques, conséquence d'un engorgement rapide, face à cet épineux problème l'Algérie tente bien que mal d'y remédier. Cependant des mesures ont été effectuées au niveau de ces ouvrages dans le but de mesurer l'ampleur de ce phénomène qui est l'engorgement. Des chiffres alarmants de l'état d'engorgement des barrages algériens sont présentés dans le tableau I.3.

Le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural estime que 14 millions d'hectares de zones de montagne au nord (soit 6 % du territoire national) sont touchés par l'érosion hydrique, 32 millions d'hectares en zones steppiques (soit 13 % de la surface globale du pays) 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 (**Mostephaoui et al., 2013**).

**Tableau I.3** : l'état d'envasement des barrages algériens

Barrage	Mise en eau	Capacité Initiale (106m3)	Envasement moyen annuel (106m3/an)
	Année	Mm3	Mm3
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
LACHEFFIA	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

Remini et al, 2003

### **I.2.5 Intérêts de l'imagerie et des SIG pour l'étude de l'érosion**

Selon la littérature consultée, deux principaux moyens s'offrent aux spécialistes pour étudier l'érosion : les études effectuées directement sur le terrain et les analyses faites à l'aide des systèmes d'information géographique (SIG). Ce deuxième moyen est généralement plus populaire pour de multiples raisons. Les SIG permettent à la fois de collecter, de stocker, d'extraire, de transformer et de visualiser des données spatiales (**Burrough, 1987**). Dans plusieurs champs d'application, les SIG ont permis des avancées intéressantes grâce à la manipulation et à l'analyse de couches de données spatiales de manière séparée. Les outils d'analyse et de modélisation permettent de créer des interactions entre les différentes couches d'information (**Bonham-Carter, 1994**). Comparativement aux études exécutées sur le terrain, les SIG offrent l'opportunité d'évaluer des problématiques sur de grandes superficies à moindres coûts grâce à l'utilisation des images satellites et des photographies aériennes.

Effectivement, l'utilisation de ces deux derniers types de données matricielles est très pertinente pour étudier l'érosion. Lorsque les capteurs satellites ne sont pas assez performants, il est conseillé d'associer les photographies aériennes et les images satellitaires lors des analyses régionales (**Stephens and Cihlar, 1981 ;Breyer, 1982**). Ces deux supports d'information se complètent, car ils offrent des résolutions différentes. À l'aide de photographies aériennes à des échelles du 1/20000 au 1/5000, il est possible d'identifier des rigoles de taille relativement petite. Ces photographies doivent être prises à une période sèche

afin que la végétation ne soit pas dominante au moment de la prise de vue. Quant à la télédétection, elle est avantageuse en raison de sa rapidité et de son objectivité lors de l'analyse statistique des images. Le captage d'images à répétition donne la possibilité de suivre le phénomène de l'érosion dans le temps (**Bou Kheiret al, 2001**).

Parmi l'ensemble des images satellites disponibles sur le marché, certaines sont plus adaptées à l'étude de l'érosion. Par exemple, les images optiques (ETM+, HRV, AVIRIS, IRIS-1A) sont fréquemment utilisées lors d'études cartographiques et de suivi des terres érodées (**Dwivediet al,1997 ;Kumaret al, 1996**). Les images radars sont, quant à elles, rarement employées dans ce contexte, car elles n'offrent pas assez de précision (**Solberg, 1992**). L'utilisation combinée des données radars et optiques devrait être mise en avant-plan, car elles sont complémentaires (**Rebillardet al,1992**). En régions tropicale et intertropicale où la couverture nuageuse est souvent importante, il est préférable d'utiliser ces images conjointement. La fusion de ces images entraîne toutefois une perte d'information en raison de la détérioration des valeurs spectrales des pixels (**Bloch et Maitre, 1994**). Dans le but de réduire les pertes d'information causées par l'utilisation d'images multisources et de démontrer l'utilité du MNT, les spécialistes du Centre d'applications et de recherches en télédétection (CARTEL) de l'Université de Sherbrooke combinent les potentiels de ruissellement et la vulnérabilité topographique d'après le principe du modèle de Lamachère et Guillet (MLG) (**Tidiane et al, 2003 ;Lamachère et Guillet, 1996**).

À la place d'utiliser des images optiques et des images radar, Marzloff et Poesen (2009) combinent plutôt l'analyse des images satellites à très haute résolution et la photogrammétrie. À partir des SIG, une analyse des MNT a été réalisée afin d'établir les zones affectées et les volumes de sédiments impliqués. Selon ces auteurs, les photographies aériennes recouvrent de petites surfaces, mais elles offrent une très grande résolution qui facilite les analyses quantitatives et qualitatives. Les MNT produits de manière automatique sont basés sur la superposition d'images et sur l'interpolation. Cette méthode engendre des erreurs statistiques. Plusieurs moyens existent pour vérifier la corrélation entre les points obtenus et les points réels (**Marzloff and Poesen, 2009**).

Pour obtenir des résultats très précis, le satellite Stereo Cartosat-1 a été conçu pour produire un MNT de haute résolution. Celui-ci recueille de nombreuses mesures de terrain à partir d'un GPS. Le MNT présente le relief dénudé de couverture naturelle et de constructions, il permet de générer des indices topographiques, dont l'index d'humidité, l'index de l'intensité de l'écoulement et l'index de transports de sédiments (**Kumaret al, 2008**). Les informations que ce satellite recueille sont très pertinentes pour l'étude de l'érosion.

### **I.3 Méthodes utilisées pour étudier l'érosion :**

À l'aide des SIG, de multiples méthodes ont été développées à travers le monde pour décrire le milieu et pour 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.

### **I.3.1 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 suivants : l'érosion pluviale, la topographie, la couverture végétale et la protection du sol (Deumlichet *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).

### **I.3.2 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 satellitaires.

### **I.3.3 Modèle d'Érosion hydrique en milieu semi-aride de Forte Énergie de Relief (Tidiane *et al*.)**

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).

### **I.3.4 Modèle « Water Prediction Project » (Bhuyanet al.)**

Le ruissellement et les pertes de sol peuvent aussi être évalués à partir d'un modèle nommé Water Erosion Prediction Project (WEPP) (Bhuyanet 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 (Nearinget al, 1989). Afin d'intégrer ce modèle dans les SIG, un outil a été créé. Cet outil, appelé GeospatialModelling 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).

### **I.3.5 Cartographie de l'aléa « érosion hydrique » (Luneau)**

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).

### **I.3.6Trois indices utilisés pour estimer l'érosion des sols (Athertonet al.)**

Lors de recherches réalisées sur le phénomène d'érosion des bassins versants à Fidji, Athertonet 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 WatershedDevelopment 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 (Athertonet al, 2005).

## **I.4 Les principales études de l'érosion en Algérie :**

Plusieurs études concernant l'érosion ont été effectuées en Algérie, mais très peu qui a associé les techniques de la géomatique. Les présentes études sont les principales études réalisées dans la cartographie de l'érosion en utilisant les SIG.

– **Application des techniques nucléaires et la télédétection à l'étude de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Mina** réalisé en 2013 par Mr Meddi Mohamed comme Directeur de thèse et Mr Mahe Gil comme Co-directeur de thèse : L'objectif général

de cette thèse est de développer et de présenter une méthode qui peut être utilisée pour évaluer le risque d'érosion hydrique dans les différents niveaux du système de paysage en utilisant l'équation universelle des pertes en sol USLE dans le bassin versant de l'Oued Mina.

– **Cartographie qualitative de la sensibilité du sol à l'érosion hydrique : Cas du bassin versant oued Boukiou (nord-ouest de l'Algérie)** réalisé en 2015 par S. Bouguerra et A. Bouanani : L'étude porte sur une analyse des principaux facteurs naturels entraînant le phénomène de l'érosion hydrique des sols dans l'un des bassins-versants de l'ouest algérien. La méthodologie se base sur la technique usuelle de cartographie numérique depuis l'acquisition et le traitement d'images satellitaires et des données de la télédétection jusqu'à leur croisement avec d'autres données géographiques dans l'outil SIG

– **Cartographie des risques d'érosions hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol à l'aide d'un système d'information géographique dans le bassin versant d'El Hamel (Boussaada) Algérie** réalisé en 2013 par T. Mostephaoui, S. Merdas, B. Sakaa, M. T. Hanafi et M.T. Benazzouz : L'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 et anthropiques 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.

– **Contribution à l'évaluation et à la cartographie de sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin versant de l'oued Saida (Ouest de l'Algérie)** réalisé en 2014 par Anteur Djamel, Labani Abderrahmane, Khalladi Mederbal et Gliz Mohamed : Cette étude a été réalisée à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG), a permis de hiérarchiser les différentes zones du sous bassin versant, en produisant une carte synthétique de répartition des degrés de sensibilité à l'érosion.

### **I.5 Conclusion :**

Le présent chapitre à donner un aperçu du phénomène environnemental faisant l'objet de cette étude, ainsi une explication des méthodes utilisées dans le contexte de la cartographie de vulnérabilité à l'érosion hydrique afin de choisir la méthode qui conviens a la zone d'étude et au données disponibles. Notre décision se porte sur une approche cartographique qui porte sur l'intégration des facteurs influents à l'érosion hydrique dans un SIG et les hiérarchiser sur les différentes zones du sous bassin versant, afin de produire une carte de vulnérabilité à l'érosion. Notre choix se justifie par la simplicité de la méthode et la disponibilité des données qu'elle nécessite.

**Chapitre II :**  
**Cadre de l'étude**

## Chapitre II : Cadre de l'étude

### II.1 Introduction :

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.(S. Merdes, 2013).

En dépit de sa petite taille, la région étudiée est représentative de l'évolution de l'érosion observée dans les bassins versant en Algérie,

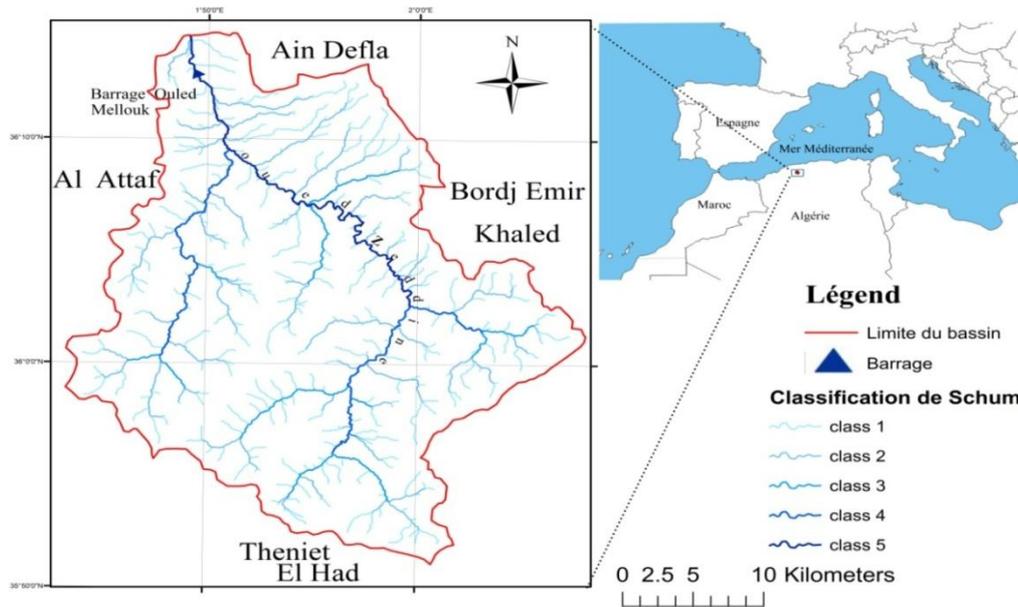
Dans ce chapitre on va présenter les caractéristiques physiques et climatiques du bassin versant de l'oued Zeddine.

### II.2 Zone d'étude :

#### II.2.1 Situation géographique :

Le sous bassin versant de l'oued Zeddine se situe au nord-ouest algérien, Il fait partie du grand bassin versant du Chélif « bassin numéro 1».D'une superficie de 876 km<sup>2</sup>, le bassin s'étend de Djebel Meddad au Sud vers la plaine Rouina au Nord. Il est situé entre les latitudes Nord 35° 50' 50"et 36° 14' 37" et les longitudes Est1°43'29" et2° 7' 54". Le sous bassin présentant une forme allongée et orienté vers le Nord géographique.

À la jonction des oueds Zeddine et Zeddina l'oued Rouina prend sa source et c'est sur cet affluent du versant gauche de l'oued Chélif que le barrage de Ouled Mellouk a été construit comme le montre la figure II .1.



**Figure II.1 :** Carte de situation du bassin versant de l'oued Zeddine (réalisée par nos soins sous Arcgis 10.3)

### II.2.2 Réseau hydrographique :

Le sous bassin versant de l'oued Zeddine se caractérise par une forte densité du réseau hydrographique (figure. II.1) qui se justifie par l'existence des pentes plus fortes et une formation superficielles moins perméables, accroissant les grandes exportations des terres qui sont liées aux ruissellements.

### II.2.3 Climat :

Le climat dans le sous bassin de l'oued Zeddine est de type semi-aride, humide et froid en hiver et chaud et sec en été.

–**Les précipitations :** Le bassin reçoit entre 300 et 500 mm de pluie par an (ANRH). Après une étude critique des éléments antérieurement obtenus, la précipitation annuelle moyenne du bassin versant a été fixée à 461 mm/an. (ANBT)

– **La température :** Les températures moyennes de la région subissent des variations saisonnières. Le contraste saisonnier est bien marqué entre l'hiver et l'été. Les minima thermiques sont généralement atteints en janvier, les maxima en juillet / août qui peut atteindre les 41 °C. (ANRH)

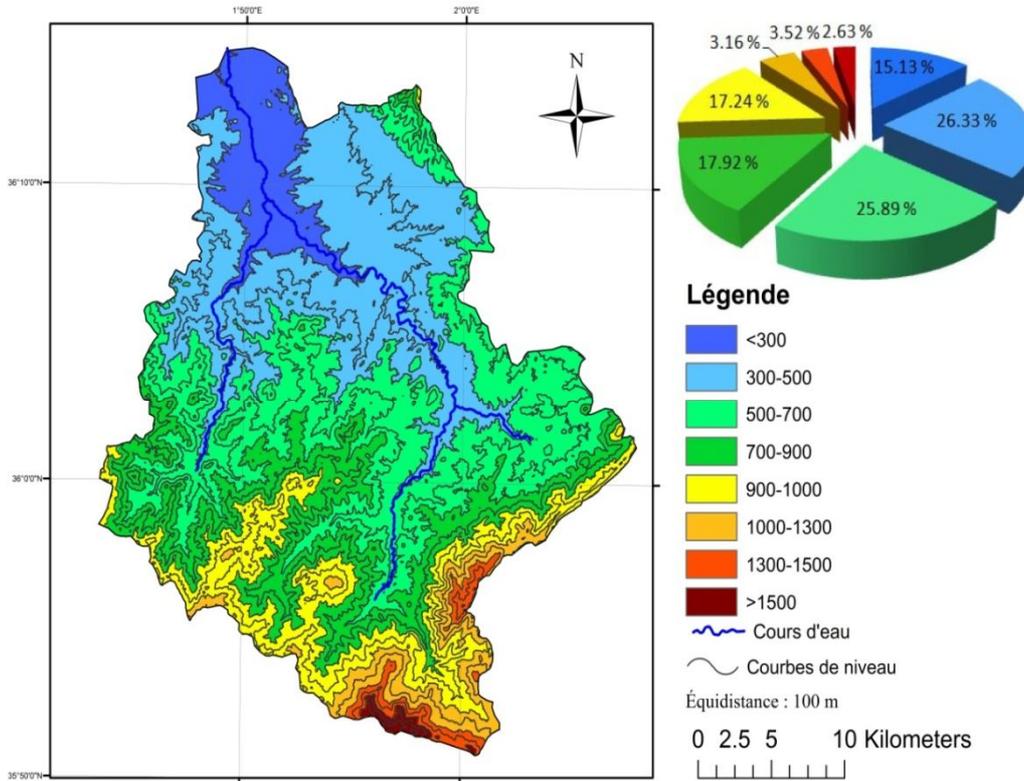
–**Le vent** le bassin versant subi un fort vent stable de décembre a avril et des vents calmes de juin à octobre (ANRH)

### II.2.4 Caractéristique morphologique du bassin versant :

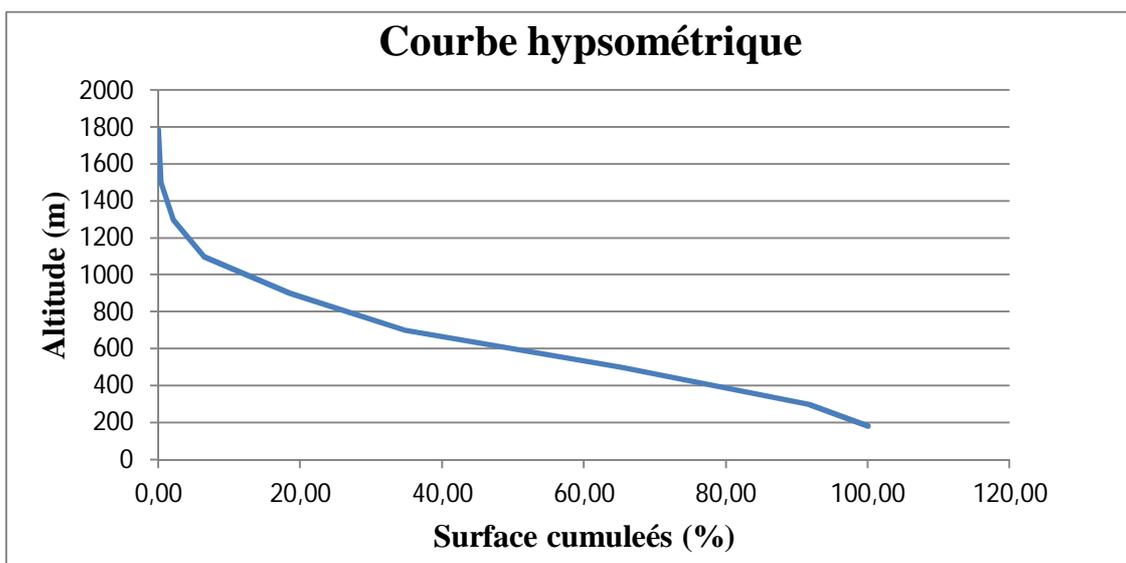
Le sous bassin de l'oued Zeddine présente un caractère montagneux moyennement accidenté avec des altitudes qui varient entre 183 m et 1786 m.les principales caractéristiques morphologique sont représenté dans ce qui suit

• **Courbe hypsométrique**

La courbe hypsométrique de l'Oued Zeddine représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Les données utilisées pour dessiner la courbe sont présentées dans la figure II.3 et sont tirées de la carte hypsométrique représentée dans la figure II.2.



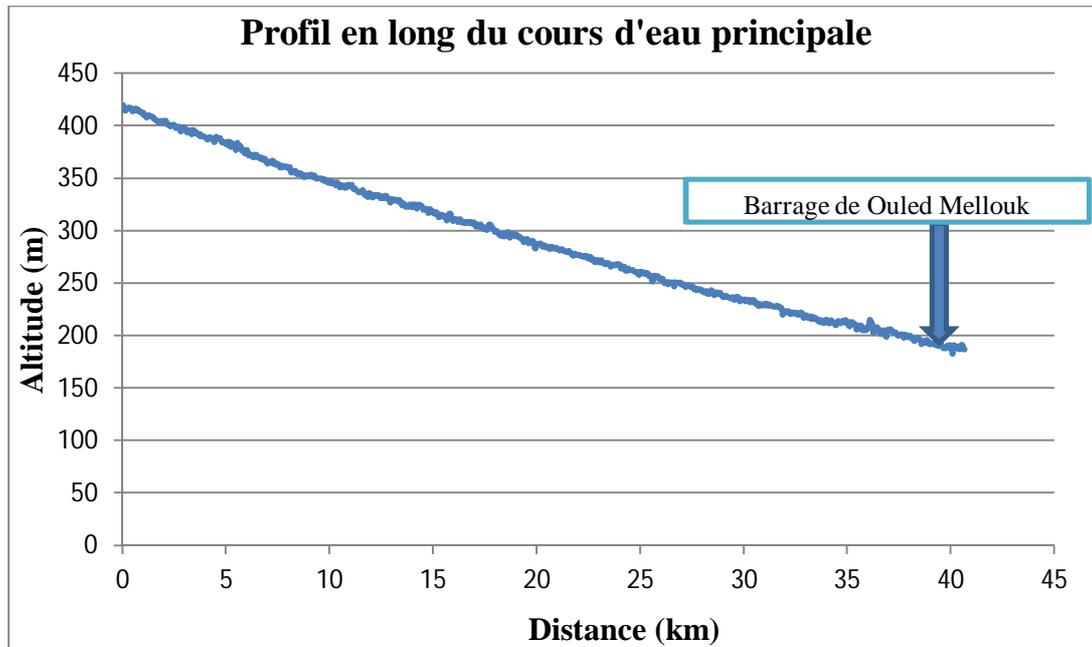
**Figure II.2 :** Carte hypsométrique du bassin versant de l'Oued Zeddine (réalisée par nos soins sous Arcgis 10.3)



**Figure II.3:** la courbe hypsométrique du bassin de l'Oued Zeddine

- **Profil en long**

Le profil en long représente la variation de l'altitude en fonction de la distance. La longueur de notre cours d'eau principale est de 40 m et ils d'ordre 5 selon la classification de Schum. Les données utilisées pour dessiner le profil en long de la figure II.3 sont tirées du modèle numérique du terrain réalisé par nos soins sous Arcgis 10.3.



La figure II.4 : le profil en long du cours d'eau principale

- **Indice de compacité de Gravelius :**

Indice de Gravelius «  $K_c$  » Appelé aussi indice de forme, cet indice caractérise la forme du bassin, il nous permet de faire une transformation purement géométrique en un rectangle de dimension L et l ayant la même surface que le bassin versant.

$$K_c = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{S}} \quad (II.1)$$

Avec :

P : le périmètre du bassin versant (Km),

S : la surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

Pour notre cas d'étude la valeur du coefficient de compacité est  $K_c = 1,47$

Si  $K_c > 1$  Notre bassin a une forme « allongée ».

- **Le rectangle équivalent :**

Le rectangle équivalent est caractérisé par la longueur «  $L$  » et la largeur «  $l$  » définies respectivement par les formules suivantes :

$$L, l = K_c \cdot \frac{\sqrt{S}}{1.12} \left[ 1 \pm \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right] \quad (II.2)$$

Avec

- $K_c$  : Indice de compacité de Gravelius
- $S$  : surface du bassin versant
- $L$  : La longueur du rectangle équivalent
- $l$  : La largeur du rectangle équivalent

- **Altitude moyenne du bassin versant :**

$$H_{moy} = \sum_i \frac{S_i H_i}{S} \quad (II.3)$$

Avec :

- $S_i$  : surface partielle entre deux courbes de niveau ( $\text{Km}^2$ )
- $H_i$  : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau consécutives **n-1** et **n** en (m)
- $S$  : Superficie du bassin versant ( $\text{Km}^2$ ).

- **Pente moyenne du bassin versant :**

$$I_m = \frac{\Delta H (0.5 L_1 + L_2 + L_3 + \dots + 0.5 L_n)}{S} \quad (II.4)$$

- $\Delta H$  : Dénivelés entre deux courbes de niveaux successives
- $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$  : Les longueurs des courbes de niveaux (Km).
- $S$  : superficie du bassin versant ( $\text{Km}^2$ ).

- **Indice de pente globale  $I_g$**

A partir de la courbe hypsométrique, il est favorable d'en déduire les altitudes de fréquence 5% et 95% de la surface du bassin versant.

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \quad (II.5)$$

- $D$  : Dénivelée entre  $H_{5\%}$  et  $H_{95\%}$  (m)
- $L$  : longueur du rectangle équivalent (Km)
- $H_{5\%}$  et  $H_{95\%}$  : sont respectivement Les altitudes correspondantes à 5% et 95%

- **Classe de relief**

La valeur de  $I_g$  nous donne une idée sur le relief du bassin versant comme le tableau suivant

**Tableau II.1 :** le relief en fonction de la valeur de  $I_g$

Classe de relief	$I_g$ (m/km)	Type du bassin
R2	$2 < I_g < 5$	Les bassins de plaine
R3	$5 < I_g < 10$	Des terrains intermédiaires entre la plaine et la zone à ondulation du terrain
R4	$10 < I_g < 20$	Ondulation du terrain
R5	$20 < I_g < 50$	Région de collines
R6	$I_g > 50$	Région de montagne

A partir de la valeur de  $I_g$  calculée dans notre cas, le type du relief du bassin est «Ondulation du terrain »

- **Indice de pente moyenne  $I_{pm}$**

L'indice de pente moyenne est le rapport entre la dénivelée et la longueur de rectangle équivalent.

$$I_{pm} = \frac{\Delta}{L} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \quad (II.6)$$

- **La densité de drainage :**

Elle est définie pour un bassin versant donnée de surface « S », comme la longueur totale des cours d'eaux de tous les ordres sur la surface drainée, et est exprimée en Km/Km<sup>2</sup>.

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S} \quad (II.7)$$

Avec :

$D_d$  : Densité de drainage [km/km<sup>2</sup>];

$L_i$  : Longueur de cours d'eau [km];

S : surface du bassin versant [km<sup>2</sup>].

- **Temps de concentration du bassin versant :**

C'est le temps que met une particule d'eau provenant de la partie la plus éloignée de l'exutoire pour parvenir à celui-ci. On peut l'estimer en mesurant la durée comprise entre la fin de la pluie efficace et la fin du ruissellement

Selon la formule de Giandotti (sud Italie 1937) :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L_p}{0.8\sqrt{H_{moy}}} \quad (II.8)$$

$L_p$  : Longueur du cours d'eau principal (Km)

S : La superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>)

$H_{moy}$  : Altitude moyenne du bassin versant (m NGA)

**Tableau II.2** : caractéristiques morphologiques du bassin versant

Caractéristiques	Symbole	Unité	Bassin-versant de l'oued Zeddine
Surface	S	Km <sup>2</sup>	876
Périmètre	P	Km	162.5
Longueur du rectangle équivalent	L	Km	68,45
Largeur du rectangle équivalent	l	Km	12.80
Altitude maximale	Hmax	M	1786
Altitude moyenne	Hmoy	M	648.36
Altitude médiane	Hmed	M	605
Altitude minimale	Hmin	M	183
Altitude 5%	H <sub>5%</sub>	M	1200
Altitude 95%	H <sub>95%</sub>	M	240
Indice de compacité	Kc	/	1,47
Indice de pente globale	Ig	m/km	14.02
Pente moyenne du bassin-versant	Im	%	1.53
Longueur du cours d'eau principal	Lcp	Km	40
Densité de drainage	Dd	Km/ km <sup>2</sup>	1.2
Temps de concentration	Tc	Heures	13

Source : calculer par nos soins

### II.3 Présentation du barrage d'OuledMellouk :

Le barrage d'OuledMellouk prend le nom d'un petit village existant à l'époque sur la rive gauche de l'ouedRouina, il est situé dans la wilaya d'Ain Defla, à l'ouest de cette localité, à environ 5 kilomètres en amont du village de Rouina (Mairie), juste à l'amont des anciennes mines de Rouina.

Ce barrage est destiné à Alimentation en eau potable des villes de Rouina, Bourached, Zeddine, El Mayenne et El-Attaf et à l'irrigation du périmètre EL AMRA, ABADIA et ROUINA. (ANBT)

C'est un barrage en remblais de terres avec une digue zonée en remblais, haute d'environ 51 mètres au-dessus de la fondation, La longueur de l'ouvrage en crête est de 730 mètres, alors que la largeur en crête est de 9 mètres.(ANBT)



**Figure II.5 :** Vue du Barrage OuledMellouk(ANBT)

### II.3.1 Equipement du barrage :

Le barrage de OuledMellouk est équipée par :

- Un évacuateur de crues sous forme d'un déversoir libre, placé sur le versant gauche de la vallée, au-delà de la structure du barrage. Le niveau de la crête du déversoir est de 243,40 m et le débit maximal déversé sous le PHE est de 2 175 m<sup>3</sup>/s. (ANBT)



**Figure II.6 :**Evacuateur de crues du Barrage OuledMellouk(ANBT)

- Une vidange de fond, dont la structure est associée à la prise agricole, le débit maximal déversé sous le NRN est de (2 x 65) m<sup>3</sup>/s et le délai pour la vidange de la retenue est environ 11 jours. (ANBT)



**Figure II.7 :** Vidange de fond du Barrage OuledMellouk(ANBT)

- Une prise agricole, avec tour de prise et conduite déversant sur le chenal de l'évacuateur de crues.(ANBT)



**Figure II.8 :** Prise agricole et la tour de prise du Barrage (ANBT)

- Une galerie d'injection et drainage suivant à peu près l'axe du barrage au niveau de la fondation.(ANBT).



**Figure II.9 :** Galerie d'injection et drainage du Barrage (ANBT)

### II.3.2 Apport du Barrage :

L'apport liquide annuel moyen du Barrage a été estimé à 45 millions de  $m^3$  ( $45 \text{ hm}^3$ ), ce qui correspond à un écoulement moyen, exprimé en hauteur de l'écoulement, de 51 mm, lequel semble compatible avec la valeur de 461 mm/an de précipitation.(ANBT)

L'estimation des apports solides au réservoir a permis de fixer la valeur de  $1150 \text{ m}^3/\text{an}/\text{km}^2$ , ou environ 1 million  $\text{m}^3/\text{an}$ , ce qui implique un volume mort de la retenue d'environ 40% de son volume total.(ANBT)

Avec le traitement des éléments fournis concernant l'évaporation au lac du barrage d'Oued Fodda, l'évaporation relative au réservoir d'Ouled Mellouk a été estimée à 1325 mm/an.(ANBT)

### II.3.3 Le barrage en chiffre :

**Tableau II.3 :** Description du barrage Ouled Mellouk

Année de construction	1989
Année de mise en Eau	2004
Capacité initiale	127,00 hm <sup>3</sup>
Capacité dernier levé (2006)	119,04 hm <sup>3</sup>
Apport moyen annuel	45 hm <sup>3</sup>
Envasement annuel	1,40 hm <sup>3</sup> /an
Surface du bassin versant	876 km <sup>2</sup>
Hauteur au-dessus de la fondation	51 m
Longueur	730 m
Largeur en crête	9 m
Largeur maximale au niveau de la fondation	environ 260 m
Côte retenue Normale (R.N)	243,40 m
Côte Plus Hautes Eaux (P.H.E)	247,07 m
Déversoir : SEUIL LIBRE	2 175 m <sup>3</sup> /s
Vidange de Fond	2 x 65 m <sup>3</sup> /s
Volume total des remblais	3 099 249 m <sup>3</sup>
Volume des remblais du barrage	2 992 613 m <sup>3</sup>
Volume d'autres remblais	106 636 m <sup>3</sup>
Altitude de la crête (NGA)	249 m
Débit annuel moyen de l'oued	47.5 hm <sup>3</sup> /an (millions de m <sup>3</sup> /an)
Crue maximale probable	2 175 m <sup>3</sup> /s

Source :(ANBT)

### II.4 Conclusion :

Ce chapitre comprend une brève présentation du bassin de l'oued Zedinne et le Barrage d'Ouled Mellouk qui se trouve en aval du bassin afin de donner un aperçu général du site. L'inventaire réalisé sur le barrage montre qu'il y a une diminution de son capacité d'environ 8 hm<sup>3</sup> en seulement deux ans, ce qui prouve que le barrage est exposé au problème d'envasement ce qui nous conduit à faire une étude de l'érosion dans le bassin afin d'évaluer sa vulnérabilité à l'érosion hydrique.

**Chapitre III :**  
**Cartographie des principaux facteurs de  
l'érosion hydrique**

## Chapitre III : Cartographie des principaux facteurs de l'érosion hydrique

### III.1 Introduction :

Un grand nombre de modèles empiriques (quantitatif et qualitatif) ont été adaptés pour prédire, caractériser et comprendre le phénomène de l'érosion hydrique et mettre en évidence les facteurs qui entrent en jeu tout le long de ce processus. La méthodologie entreprise vise à exploiter des données satellitaires, topographiques, géologiques et climatiques pour la restitution et la cartographie des zones exposées à l'érosion hydrique après les avoir intégrées et analysées dans un environnement SIG.

Les résultats de cette approche donneront un aperçu pour identifier et interpréter des formes d'érosion qui se sont manifestées sur le bassin, en relation avec les degrés de vulnérabilité des sols. (Akéet *al*, 2012).

L'objectif de ce chapitre est donc de :

- Identifier les principaux facteurs influençant l'érosion hydrique
- Réunir les données existante sur chaque facteur et les intégrer dans un SIG à savoir le Arcgis 10.3
- Etablir une carte du sous bassin étudié pour chaque facteur
- Interprétation des cartes réalisées afin de donner un aperçu sur l'influence de chaque facteur individuellement sur l'érosion hydrique.

### III.2 Le facteur de l'érosion hydrique :

L'érosion représente l'ensemble des phénomènes externes à la surface du sol ou en profondeur qui arrache, tout ou en partie, les terrains modifiant ainsi le relief. L'érosion hydrique des sols consiste en un détachement et un transport des particules du sol sous l'action mécanique en général combinée de la pluie et du ruissellement. Celle-ci se développe lorsque les pluies, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent en surface en emportant les particules de terre. La taille et l'impact des gouttes sont des facteurs importants dans ce processus de destruction et d'arrachement (phénomène d'éclaboussement). L'énergie cinétique des gouttes qui tombent est très élevée dans les régions humides. En effet, le pouvoir érosif des pluies tropicales peut être de 2 à 6 fois plus important que dans les zones tempérées (Thomas, 1994).

Les particules de sol très fines qui sont détachées de la surface par l'impact des gouttes peuvent obstruer les pores de la couche supérieure du sol et réduire considérablement le taux d'infiltration (phénomène de battance) augmentant alors les risques d'ablation du sol et de ruissellement en surface. Lorsque celui-ci se concentre, des griffures, rigoles et ravines apparaissent. Il s'agit de formes d'érosion liées aux processus de formation du ruissellement, de détachement et de transport des matériaux vers l'aval, se combinant dans le temps et dans l'espace. Bien que l'eau soit définie comme un agent morphogène moteur de l'érosion, d'autres facteurs interviennent alors dans ce processus et conditionnent son impact.

Ces facteurs se regroupent en quatre domaines : la topographie, le sol, l'occupation du sol et le climat (**Wischmeier et Smith, 1978 ; King et Le Bissonais, 1992**). Chacun de ces domaines se décline en plusieurs effets, chacun participant au processus. Ainsi, par exemple, le facteur topographique regroupe les effets de l'inclinaison, de la longueur et de la forme de la pente. Les précipitations en comprennent aussi plusieurs dont l'intensité de l'averse, sa durée, la grosseur des gouttes et leur vitesse de chute. La résultante de l'ensemble de ces facteurs élémentaires caractérise les processus érosifs, les rendant de ce fait très complexes à modéliser. Ces quatre facteurs se distinguent par leur origine naturelle ou anthropique et peuvent donc se classer en deux catégories.

### III.2.1 Les facteurs d'ordre naturel :

#### III.2.1.1 La topographie :

La pente influence grandement l'importance de l'érosion par son action gravitaire et fournit son énergie érosive à l'eau. Ainsi l'action de l'érosion augmente fortement avec la pente, car le détachement des particules est lié au carré de la vitesse de l'eau. L'inclinaison de la pente agit directement sur la vitesse de ruissellement. Lorsque celle-ci croît, l'énergie cinétique du ruissellement augmente et accélère le transport solide vers le bas, en augmentant l'impact de l'ablation des matériaux détritiques. Les pertes en matériaux terrigènes croissent donc de manière exponentielle avec l'inclinaison de la pente (**Hudson, 1973 ; Roose, 1977 ; Wischmeier et Smith, 1978**). Le facteur « longueur de pente » contribue également sur le volume ruisselé (**Collinet et Valentin, 1979 ; Le Bissonais, 1988**) mais son influence n'est ni constante, ni très élevée, de même que sa forme ou courbure (convexe, concave, homogène ou gauchie) qui intervient dans le phénomène érosif (**Wischmeier, 1974 ; Maurizot et Delfau, 1995**). La pente participe ainsi aux phénomènes d'érosion du fait de sa forme, de son inclinaison et de sa longueur. Dans le cadre de ce travail, nous retiendrons uniquement l'inclinaison de la pente, par le biais de sa prépondérance dans le paramètre topographique.

Afin de caractériser l'inclinaison de la pente dans notre région d'étude on a établis une carte des pentes représenté dans la figure III.2 générée à partir du modèle numérique d'altitude (MNA) représenté dans la figure III.1 établi grâce à des Images *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) de coordonnées N35E001, N35E002, N36E001 et N36E002 du 23 septembre 2014, obtenue sur le site <https://earthexplorer.usgs.gov/>

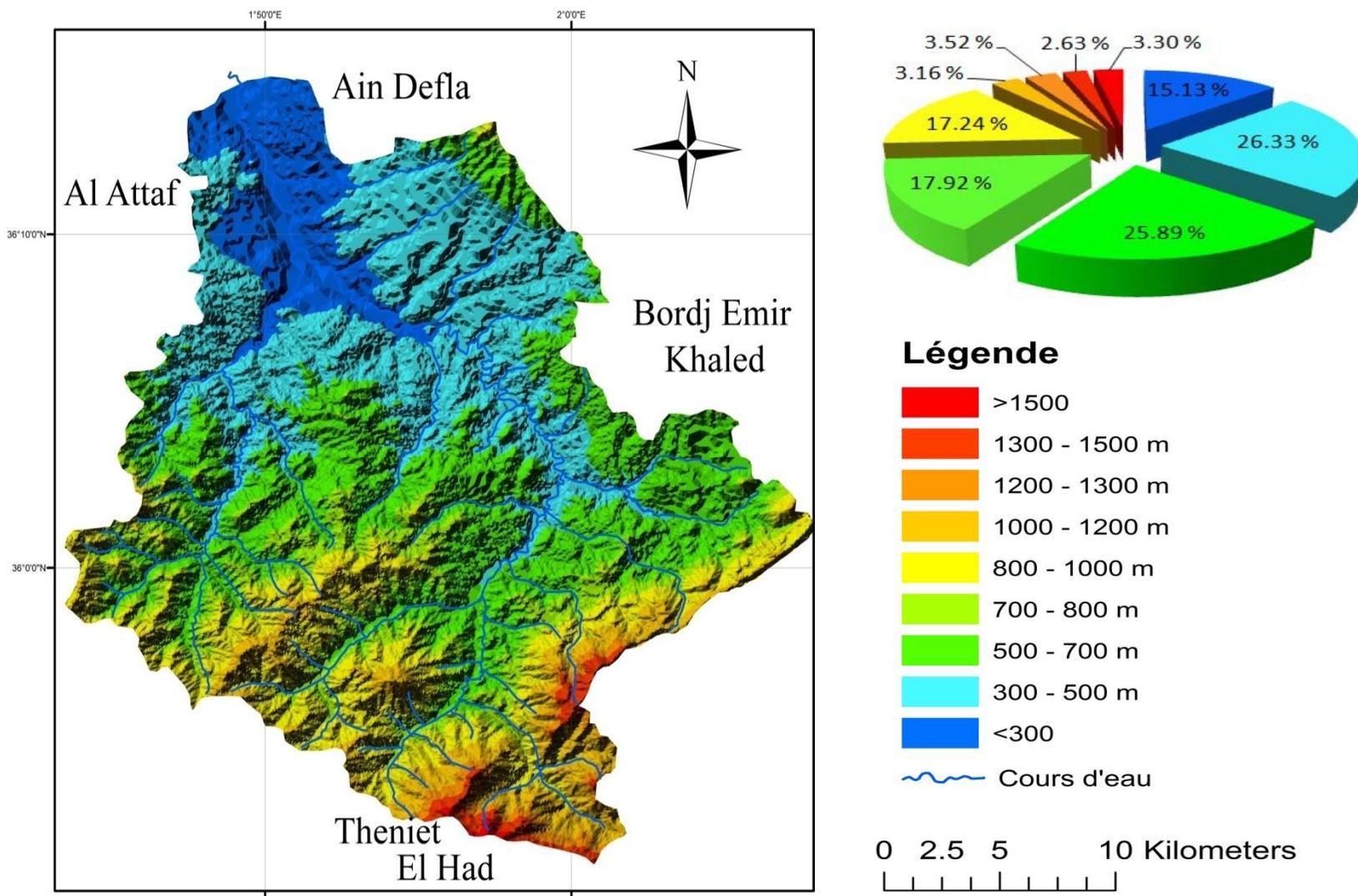


Figure III.1 : Carte des élévations du bassin de l'oued Zeddine(réaliser par nos soins sous Arcgis 10.3)

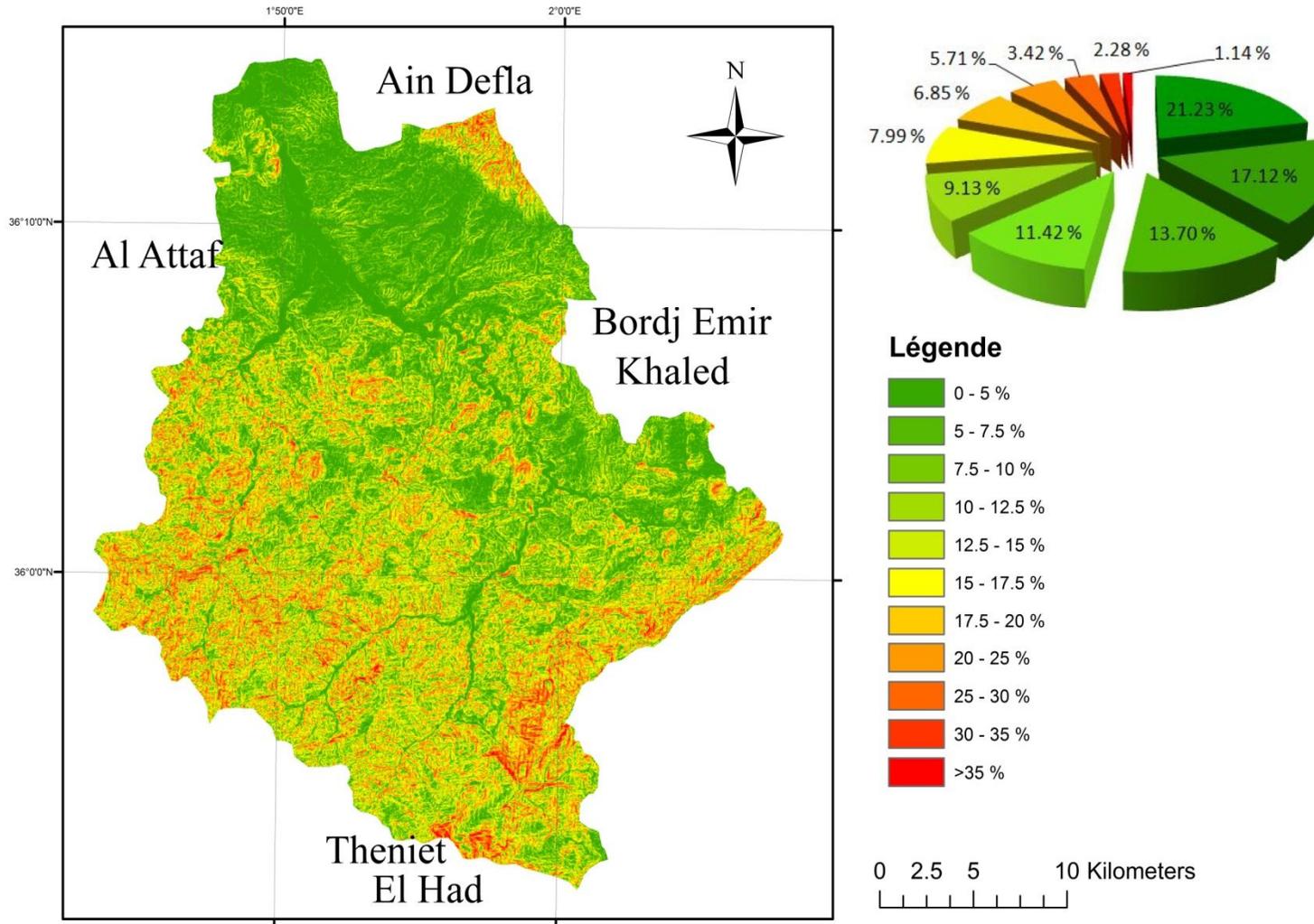


Figure III.2 : Carte des pentes du sous bassin versant de l'oued Zeddine (réalisé par nos soins sous Arcgis 10.3)

- **Interprétation :**

La carte de l'élévation montre que le bassin a un caractère moyennement accidenté avec des altitudes qui varient entre 183 et 1786 m. Les altitudes sont maximale au Sud et elle se diminue on direction du Nord où on trouve les plus basses altitudes

Les pentes dans notre sous bassin versant varient entre 2% et 50%. Les pentes les plus basses se situent principalement dans l'aval donc au Nord du sous bassin à proximité de la cuvette du Barrage, en ce qui concerne les grandes pentes sont situées principalement en amont du bassin au niveau des montagnes au Sud, à l'Ouest, et au Sud Est. On remarque ainsi des pentes très pointues au Nord Est du sous bassin versant. Le reste du bassin se caractérise par des pentes moyennes entre 10 et 30 %.

Les régions à faible pentes correspondent à un relief de plaines et aux replats structuraux que l'on trouve dans la zone montagneuse qui se caractérise par une faible érosion, donc on peut dire qu'en aval de notre bassin on a une érosion faible.

Les régions à moyennes pentes correspondent au zone de piémont et les collines qui se caractérise par une érosion moyenne est c'est le cas de la majorité de notre sous bassin versant.

Les régions à forte pentes correspondent à un relief moyennement accidenté à accidenté qui se caractérise par une forte érosion donc on peut dire qu'on a une forte érosion en amont et spécialement au Sud, à l'Ouest, au Sud Est et au Nord Est de notre sous bassin versant.

### **III.2.1.2 La nature du substrat :**

La nature du sol et du sous-sol est aussi un facteur prépondérant. Sa participation au phénomène d'érosion est fonction de sa perméabilité et de l'aptitude au détachement et au transport de ses particules. Chaque type de sol va réagir différemment à l'attaque de la pluie et au cisaillement du ruissellement selon sa texture, sa structure et sa porosité.

La lithologie joue un rôle important sur le ruissellement, l'infiltration, l'érosion et le transport solide. Les matériaux géologiques se distinguent en formations meubles (sables, argiles, marnes) ou en formations consolidées (grés, calcaires, dolomies,...).

Dans le cadre de ce travail on a réalisé une carte litho-stratigraphique du sous bassin de l'oued Zeddine représenté dans la figure III.3 à partir d'une carte litho-stratigraphique du nord Algérie avec échelle : 1/500000 qu'on a récupéré au niveau de l'agence nationale des ressource hydraulique (ANRH).

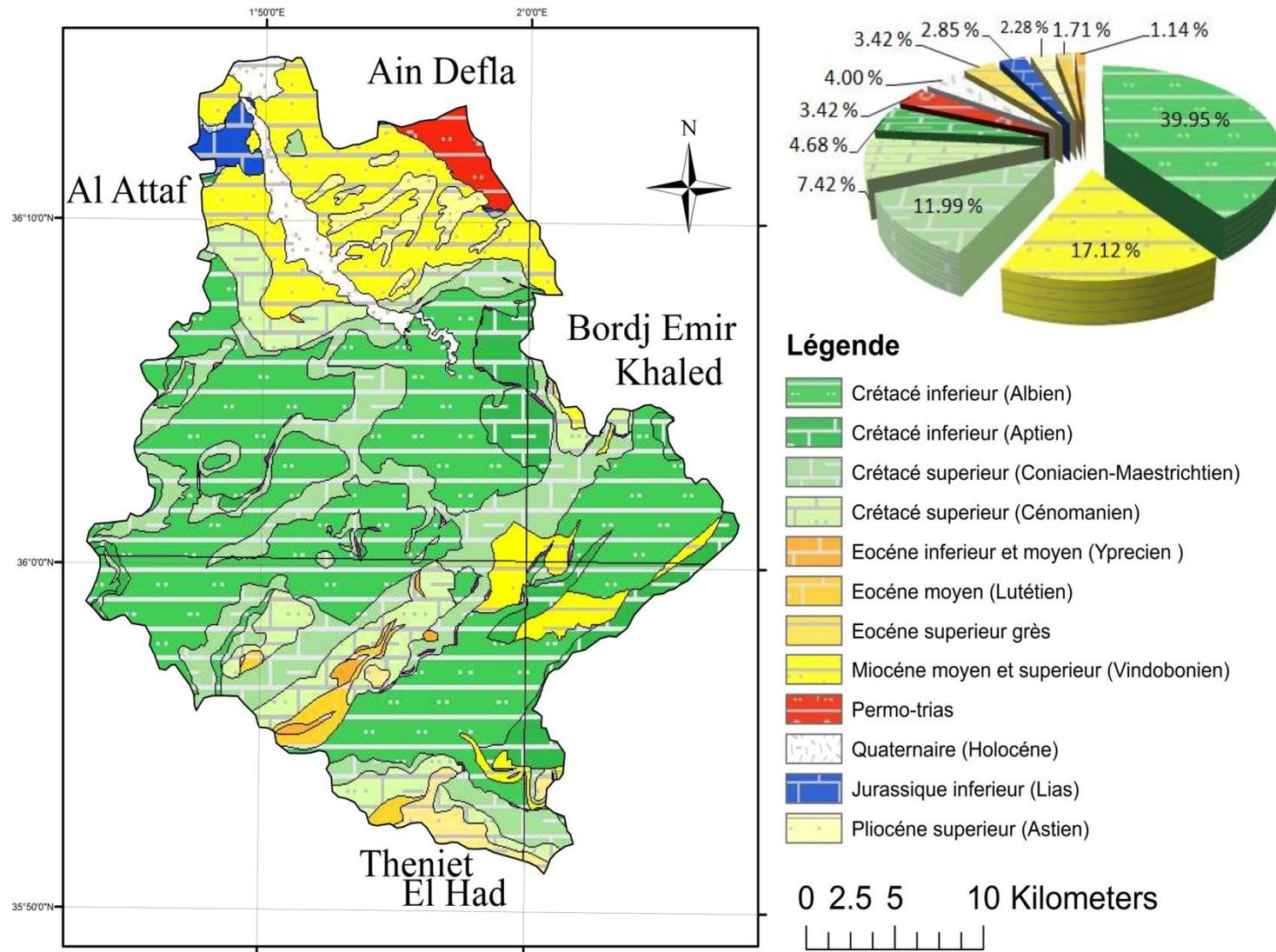


Figure III.3 : Carte litho-stratigraphique du sous bassin de l'oued Zeddine (réalisé par nos soins sous Arcgis 10.3)

- **Interprétation :**

La carte lithologique du sous bassin versant de l'oued Zeddine laisse apparaître une grande diversité des formations superficielles avec 12 formations

Les formations prédominantes sont les schistes et les quartzites de l'Albien qui sont moyennement sensible à l'érosion hydrique. Ils se situent au milieu, à l'Est, à l'Ouest et un peu au Sud du sous bassin versant.

Les alluvions actuelle et récent de la formation Quaternaire (Holocène) constitué de sable, gravier et argile et le calcaire massif du Jurassique inférieur (Lias) ainsi que les grès de la formation Pliocène supérieur (Astien) et la formation Miocène moyen et supérieur (Vindobonien) qui sont situé en aval du sous bassin versant sont des formations fortement sensibles à l'érosion hydrique.

Les formations en grès quartzeux de l'Eocène inférieur et moyen (Yprezien) et les calcaires à Silex et marno-calcaires de l'Eocène supérieur qui se situent en amont au Sud-Ouest du sous bassin versant sont des formations faiblement sensibles à l'érosion hydrique.

### **III.2.1.3 Les précipitations :**

L'étude des caractéristiques climatiques d'un bassin versant est nécessaire pour la connaissance du comportement hydrologique de ses cours d'eau. En effet l'abondance, la durée et les variations des quantités de pluies qui tombent au cours des périodes de l'année pendant lesquelles les sols ne sont pas protégés par la végétation ont une incidence dramatique sur le milieu physique et peuvent provoquer une action érosive.

Il s'agit de l'intensité, du volume, de la fréquence des pluies et de leur répartition au cours de l'année. Ces caractères conditionnent notamment l'importance du couvert végétal qui s'oppose au ruissellement en absorbant l'eau. L'eau ruisselle lorsque la vitesse d'arrivée de l'eau sur le sol est supérieure à la vitesse d'infiltration. Le volume d'eau en excès à la surface dépend de l'intensité (hauteur d'eau par rapport à une durée) de la pluie et du volume total précipité.

Dans notre étude on n'a pas pu prendre en considération l'intensité et la fréquence des pluies à cause de manque de données pluviométriques. Dans notre bassin versant de 876 km<sup>2</sup>, il existe une seule station pluviométrique (BIR OULED TAHAR : 011905) et ces données sont incomplètes, pour cela, nous avons utilisé la carte des pluies moyennes annuelles du Nord de l'Algérie réalisée au niveau de l'ANRH à l'échelle : 1/500000 et élaboré sur la base des séries d'observation pluviométriques de la période septembre 1965 à aout 2002 afin de caractériser la pluie dans notre région d'étude. La figure III.4 représente la carte pluviométrique du bassin de l'oued Zeddine

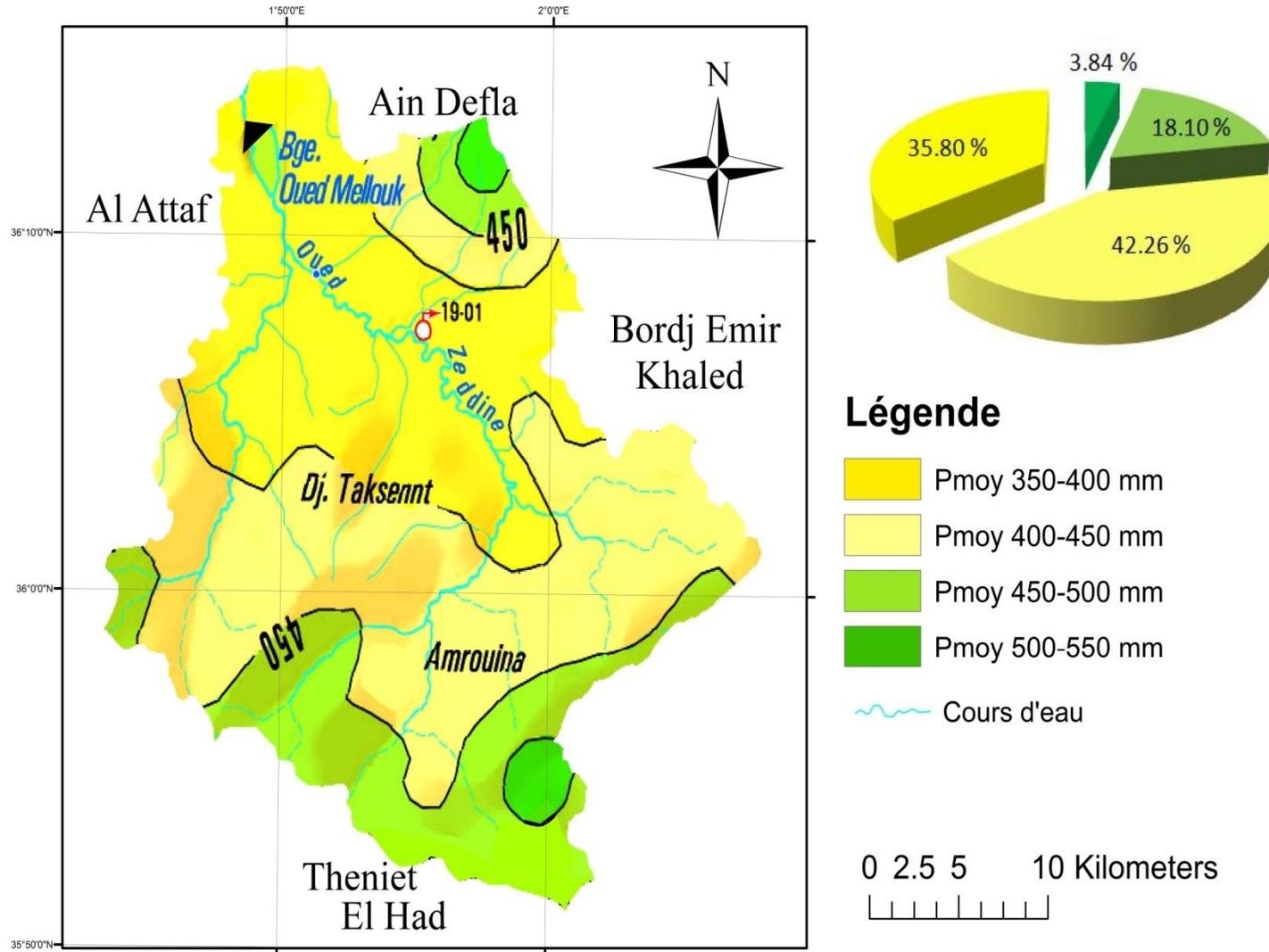


Figure III.4 : Carte pluviométrique du sous bassin de l'oued Zeddine (réalisé par nos soins sous Arcgis 10).

- **Interprétation :**

Dans le sous bassin versant de l'oued Zeddine on dispose de précipitations annuelles qui varient de 350 mm a 550 mm.

Les pluies entre 400 et 450 mm est la prédominante et se trouve en amont et aussi dans une partie de la zone Nord Est du sous bassin. Quant à la pluie annuelle de 500 à 550 mm se consent dans les zone montagneuse du sous bassin spécialement au Nord Est et au Sud Est

Les pluies entre 450 et 500 mm sont concentré on amont au Sud, à l'Ouest et aussi au Nord Est du sous bassin versant

L'aval du sous bassin versant de l'oued Zeddine se caractérise par une pluie annuelle de 350 à 400 mm

### **III.2.2 Le paramètre d'ordre anthropique :**

#### **III.2.2.1 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. L'influence du couvert végétal sur l'érosion linéaire est ainsi très importante. Son action est d'autant plus efficace qu'il absorbe l'énergie cinétique des gouttes de pluie, recouvre une forte proportion du sol et ralentit l'écoulement du ruissellement ou encore maintient une bonne porosité à la surface du sol.

D'une part, la couverture végétale protège contre le phénomène de battance des pluies et prolonge alors la perméabilité des sols et réduit le volume ruisselé. D'autre part, une grande quantité de l'énergie du ruissellement est absorbée par la litière qui entretient la mésofaune (influençant la vitesse d'infiltration).

Enfin, l'état de la couverture végétale influence directement la rugosité du sol. Celle-ci dépend notamment du nombre de tiges par mètre carré. Un couvert végétal composé d'herbacées à tiges nombreuses aura une action protectrice du sol plus efficace contre le ruissellement que des arbres (**Roose et Sarrailh, 1990**).

Dans le cadre de ce travail on a réalisé une carte d'occupation du sol du sous bassin de l'oued Zeddine représenté dans la figure III.5 à partir d'une carte d'occupation du sol de la wilaya d'Ain Defla établis par l'institut national des sols, de l'irrigation et du drainage. (INSID) Avec une échelle 1/25000.

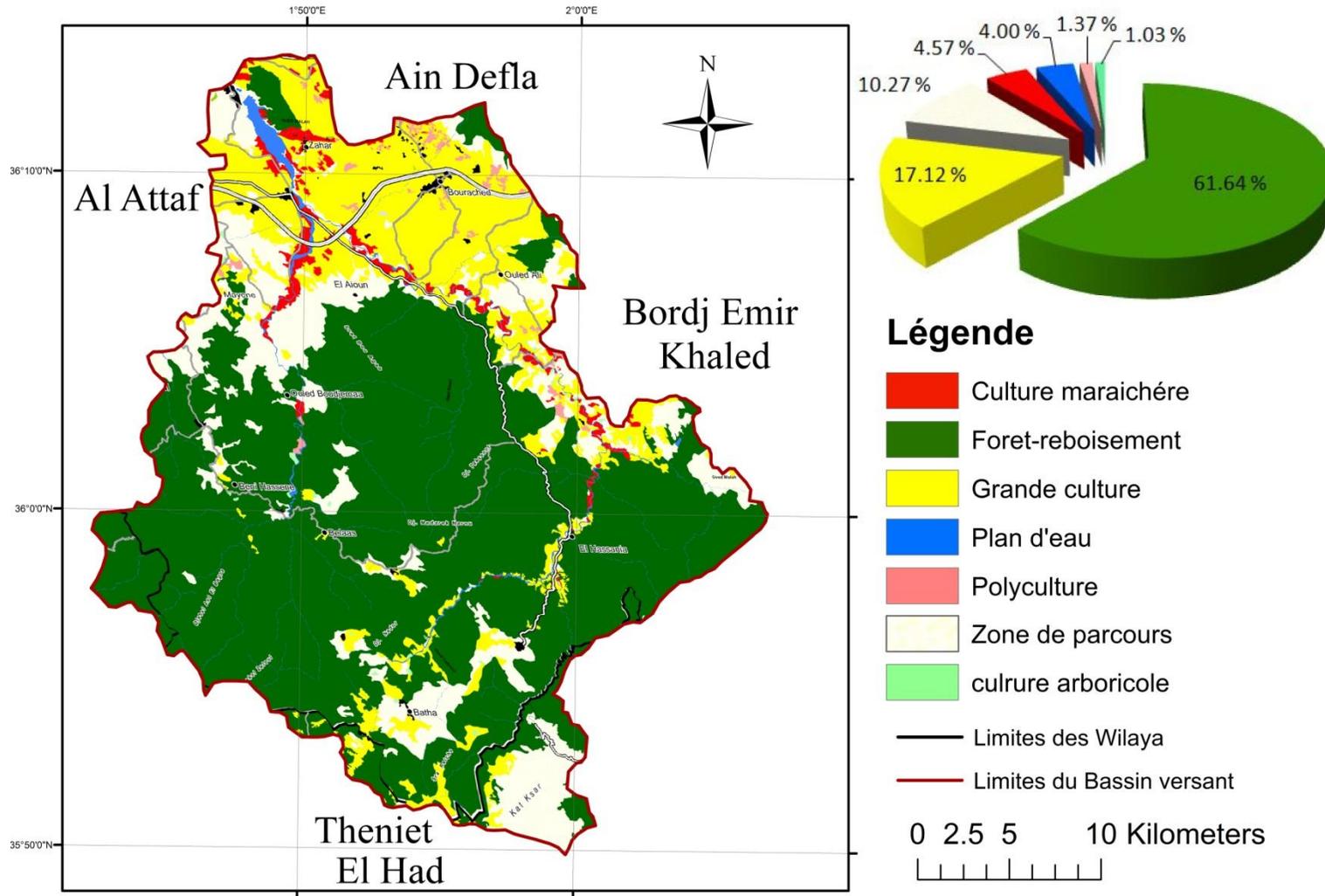


Figure III.5 : Carte d'occupation du sol du bassin de l'oued Zeddine (réalisé par nos soins sous Arcgis 10.3)

- **Interprétation :**

La majorité de la surface de notre sous bassin versant est couvert par des forets et des reboisements qui sont protecteur contre l'érosion hydrique.

Les Grandes cultures,les Polycultures etles Cultures maraichères,qui se trouvent spécialement en aval et au niveau des rives des oueds, sont moyennement protectrices contre l'érosion hydrique.

Les zones de parcours qui se trouve au Sud, au Nord et aussi au Nord-Ouest du sous bassin versant et les plans d'eau sont les plus faibles en protection contre l'érosion hydrique

### **III.3 Conclusion :**

Dans ce chapitre on a réalisé des cartes du sous bassin de l'oued Zeddine pour les différents facteurs qui influencent l'érosion hydrique, à savoir les pentes, la litho-stratigraphie, les précipitations et l'occupation du sol. Tout cela nous a permis de connaître la répartition de chaque facteur sur le sous bassin et ainsi connaître la vulnérabilité à l'érosion hydrique par rapport à chaque facteur individuellement. Les éléments présentés dans ce chapitre représentent une première étape de la réalisation d'une carte de vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique.

**Chapitre IV :**  
**Approche cartographique de l'érosion  
hydrique**

## Chapitre IV : Approche cartographique de l'érosion hydrique

### IV.1 Introduction :

Plusieurs approches méthodologiques ont été développées dans le contexte de la cartographie de vulnérabilité à l'érosion hydrique

Le choix de la méthodologie du travail dépend de la variabilité des conditions du milieu, de la surface de la zone, de la raideur des pentes, des limitations matérielles et de la disponibilité des données surtout climatiques.

Par manque de données de l'intensité des pluies et la teneur du sol en matière organique nécessaire pour les modèles fréquemment utilisés on a décidé d'utiliser un modèle de superposition des couches en utilisant les données existantes sous forme de cartes réalisées dans le chapitre précédent afin de hiérarchiser les différentes zones du sous bassin versant, en produisant une carte synthétique de répartition des degrés de sensibilité à l'érosion.

### IV.1 Approche méthodologique :

L'intérêt de notre démarche réside et s'appuie sur l'apport des données numériques par l'exploitation d'un SIG, permettant de spatialiser et caractériser le degré de sensibilité des sols à l'érosion sur l'ensemble de la zone d'étude.

La première étape de notre démarche consiste à sélectionner les facteurs les plus représentatifs intervenant dans les phénomènes érosifs. Il s'agit des facteurs choisis et développés dans le chapitre précédent la topographie, caractérisée par le critère « inclinaison de la pente », la nature du substrat, représentée par la géologie des formations superficielles, l'occupation du sol décrite par le couvert végétal et le climat décrite par les précipitations moyenne annuelle.

La deuxième étape consiste à intégrer les données précédemment mentionnées sous forme de couches d'informations dans un SIG. Ces couches sont ensuite reclassées qualitativement sous forme d'un indicateur de sensibilité en fonction de leur contribution au phénomène d'érosion. Les nouveaux plans d'informations sont par la suite hiérarchisés puis combinés par le biais d'une analyse multicritère qualitative. Cette base de données spatialisée est pilotée par le logiciel *Arcgis 10.3*.

Finalement le résultat de la combinaison multicritère, apporte une spatialisation de l'érosion potentielle des sols, hiérarchisée selon un niveau de sensibilité.

Le phénomène d'érosion est envisagé, dans le cadre de ce travail, du point de vue des surfaces émettrices de particules solides, et non pas du point de vue du transport de ces particules dans les cours d'eau et de leur dépôt à l'aval. Dans ce sens, nous considérons qu'il y a présence d'érosion à partir du moment où le risque de déplacement de particules est potentiel, sans préjuger du devenir ultérieur de ces particules. La méthodologie de la cartographie de l'aléa érosion est schématisée par la figure IV.1.

Intégration  
dans un SIG

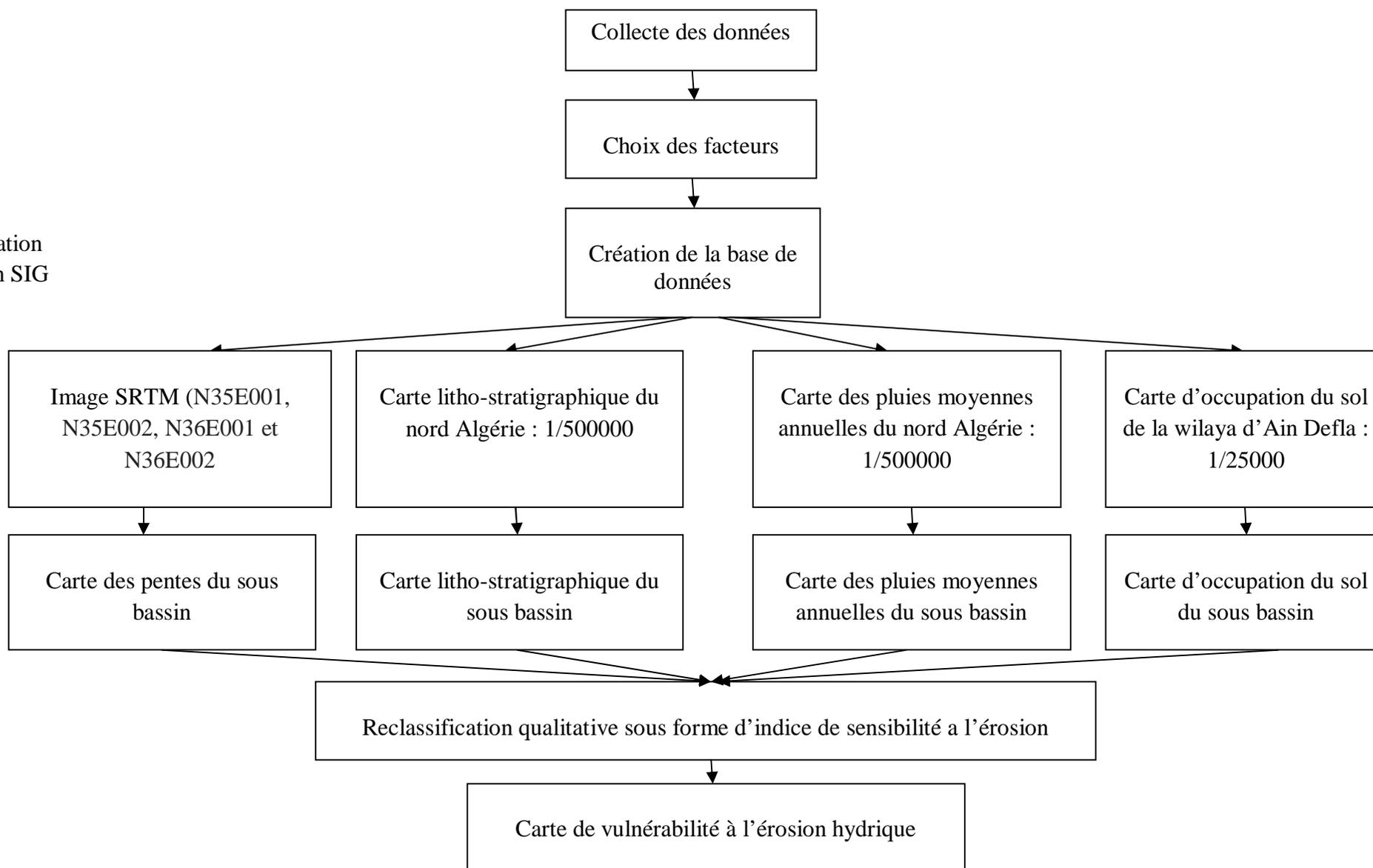


Figure IV.1 : Méthodologie de la cartographie de sensibilité des sols à l'érosion hydrique

### IV.3 La pondération des facteurs :

Dans cette étape nous allons analyser plus précisément les traitements effectués pour chacun des facteurs retenus. La pondération est effectuée selon l'approche de ROOSE 1977 qui consiste à attribuer à chaque facteur un indice allant de 1 à 4 selon le degré de sensibilité à l'érosion hydrique.

#### IV.3.1 Les pentes :

Pour chaque classe de pente est assigné un indice variant entre 1 et 4, 1 étant affecté aux pentes faibles ( $< 5^\circ$ ) et 4 aux pentes très fortes ( $>35^\circ$ ). Les classes des pentes existante dans notre bassin et leurs degrés de sensibilité sont représenté dans le tableau IV.1

- Première classe de 0-5% correspond à un relief de plaines, aux terrasses alluviales et aux replats structuraux que l'on trouve dans la zone montagneuse ;
- Deuxième classe de 5-15% représente la zone de piémont, relief de glacis, collines ;
- Troisième classe de 15-35% correspond à une zone mixte qui regroupe le haut de piémont et les montagnes ;
- Quatrième classe supérieure à 35% représente un relief moyennement accidenté à accidenté et les escarpements rocheux

**Tableau IV.1 :** Classes des pentes et indices attribués selon Roose, 1977

Pentes	Indice	Pourcentage	Situation
$>35\%$	4	21.23	Nord et East du bassin
15-35%	3	51.37	Nord, East, nord East et un peu ou sud
5-15%	2	27.39	Sud, ouest, un peu en nord East
$<5\%$	1	1.14	Sud du bassin

#### IV.3.2 L'occupation du sol :

Plusieurs classes de couverture végétale apparaissent dans notre zone d'étude. À chaque classe, a été affectée une capacité de protection contre l'érosion hydrique selon (**Roose, 1977**). Les différentes classes existantes et leurs degrés de sensibilité sont représentés dans le tableau IV.2.

- Classe 1 : non protecteur. Correspond aux sols entièrement dénudés et non cultivés
- Classe 2 : peu protecteur. Comprend aux parcours
- Classe 3 : moyennement protecteur. Comprend et les cultures annuelles (céréales, agriculture extensive)
- Classe 4 : fortement protecteur forêts, reboisement, l'arboriculture et la viticulture

**Tableau IV.2 : Classes de sensibilité du couvert végétal à l'érosion**

Catégorie	Degré de protection	Indice	pourcentage
Foret-reboisement	fortement protecteur	1	61.64
Grande culture	moyennement protecteur	2	17.12
Culture maraichère	moyennement protecteur.	2	10.27
Zone de parcours	peu protecteur	3	4.57
Plan d'eau	non protecteur	4	4.00
Polyculture	moyennement protecteur	2	1.37
Culture arboricole	fortement protecteur	1	1.03

### IV.3.3 Les Précipitations :

Les précipitations annuelles moyennes dépassants les 1700 mm favorisent une très forte érosion. Comme les pluies moyennes annuelles inférieures à 450 mm peuvent être moins favorisant de l'érosion. SMITH D.D. (1978). Donc dans notre cas on peut distinguer deux classes de pluies représenté dans le tableau IV.3

**Tableau IV.3 : classes des pluies favorisantes à l'érosion**

Pluie annuelle (mm)	Indice	Pourcentage
<450	1	78.06
450 à 550	2	21.94

### IV.3.4 La litho-stratigraphie :

Les classes de sensibilité des sols pour chaque type de sol sont attribuées à partir des caractéristiques des sols, et de leur sensibilité à la fissuration s'appuyant sur les valeurs de références établies par (Maurizot et Delfau, 1995).

La classification de sensibilité comprend, quatre classes ou on a attribué l'indice 1 aux classes de faible sensibilité et 4 aux calasses de très forte sensibilité à l'érosion hydrique comme suit :

- 4 : très fortement sensible : les formations volcano-sédimentaires du substrat, les formations ultrabasiques, les formations récentes, alluviales et littorales.
- 3 : fortement sensible : Cailloutis, tufs, schistes, travertins.
- 2 : moyennement sensible : rhyolites, basaltes, flysch, siltites, arénites dolomie cristalline
- 1 : faiblement sensible : Marnes, grès, Argile et conglomérat.

Les différentes classes de sensibilité à l'érosion hydrique existante dans notre zone d'étude sont représentées dans le tableau IV.3 avec le pourcentage de surface occupé par chaque classe

**Tableau IV.4 :** Classement des sols en fonction de différentes caractéristiques

Lithologie	Sensibilité	Indice	Pourcentage
Crétacé inférieur (Albien)	Forte sensibilité	3	39.95
Crétacé inférieur (Aptien)	Très forte sensibilité	4	4.68
Crétacé supérieur (Coniacien-Maestrichtien)	Forte sensibilité	3	11.99
Crétacé supérieur (Cénomaniens)	Forte sensibilité	3	7.42
Eocène inférieur et moyen (Yprencien)	Faible sensibilité	1	1.14
Eocène moyen (Lutétien)	Moyenne sensibilité	2	1.71
Eocène supérieur grès	Faible sensibilité	1	3.42
Miocène moyen et supérieur (Vindobonien)	Très forte sensibilité	4	17.12
Premo-trias	Moyenne sensibilité	2	3.42
Quaternaire (Holocène)	Forte sensibilité	3	4.00
Jurassique inférieur (Lias)	Forte sensibilité	3	2.85
Pliocène supérieur (Astien)	forte sensibilité	3	2.28

#### IV.4 Combinaison des facteurs :

Il s'agit maintenant d'intégrer les résultats des analyses dans un modèle général de sensibilité des sols à l'érosion et de formaliser une typologie de cette sensibilité. Le croisement des données prises en compte dans le processus érosif repose sur une combinaison dans le modèle maillé : chaque couche d'information est représentée par une image dans laquelle la valeur de chaque maille est égale à un niveau de sensibilité à l'érosion du thème considéré. L'ensemble de ces images constitue un espace multi-varié. Chacun de ces niveaux est codifié ainsi que nous l'avons décrit précédemment (faible, moyen, fort, très fort pour la déclivité et la géologie des formations superficielles, et peu protectrice, protectrice, très protectrice pour le thème occupation du sol). L'analyse multicritère repose donc sur des paramètres qualitatifs. L'ensemble des traitements est réalisé à partir du logiciel *Arcgis* qui permet le croisement des données et on peut identifier des combinaisons des facteurs (**Chevalier et al, 2001**), dans notre cas on a que 2 possibilités pour la pluviométrie pour cela on a 128 combinaisons au total, donnent chacun une valeur qualitative de sensibilité selon une approche déductive. Quatre niveaux de sensibilité sont retenus : faible, moyen, fort et très fort. Ainsi, par exemple, si l'on croise une pluie faible, une pente faible, avec une érodibilité des formations superficielles faible et une couverture végétale très protectrice, on obtient une valeur de sensibilité des sols à l'érosion faible, alors que la combinaison pluie moyenne, d'une déclivité très forte, d'une érodibilité des formations superficielles très forte et d'une couverture végétale non protectrice conduit à une sensibilité très forte. Le processus de hiérarchisation de ces combinaisons est schématisé par l'arbre décisionnel illustré par les figures IV 1 et IV.2.

La carte de vulnérabilité à l'érosion hydrique réalisée par ses combinaisons est représentée dans la figure IV.

Précipitation + Dénivelé + couverte végétale + nature du substrat = classes d'érosion

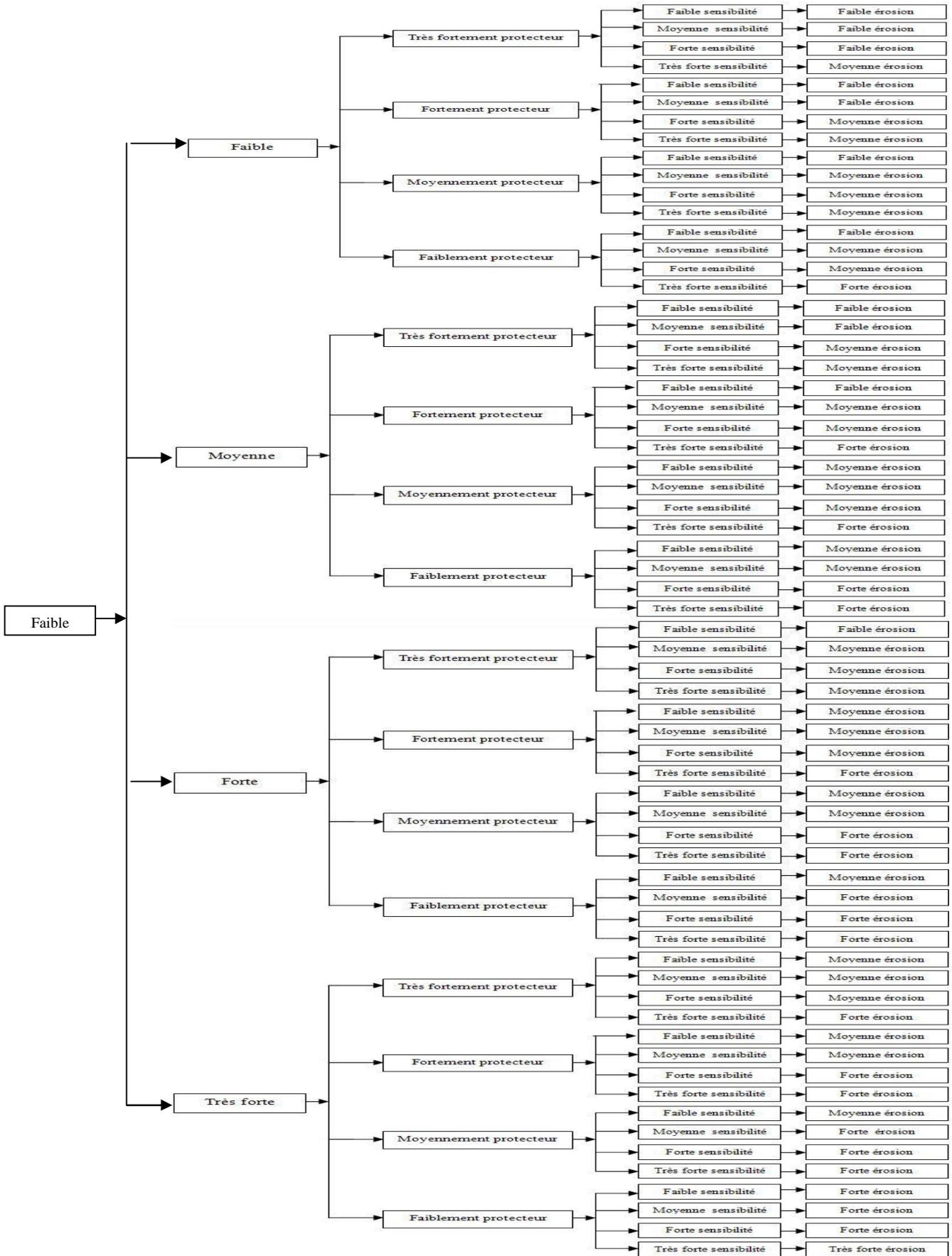


Figure IV.2 : Les combinaisons existantes si la précipitation est de classe faible

Précipitation + Dénivelé + couverture végétale + nature du substrat = classes d'érosion

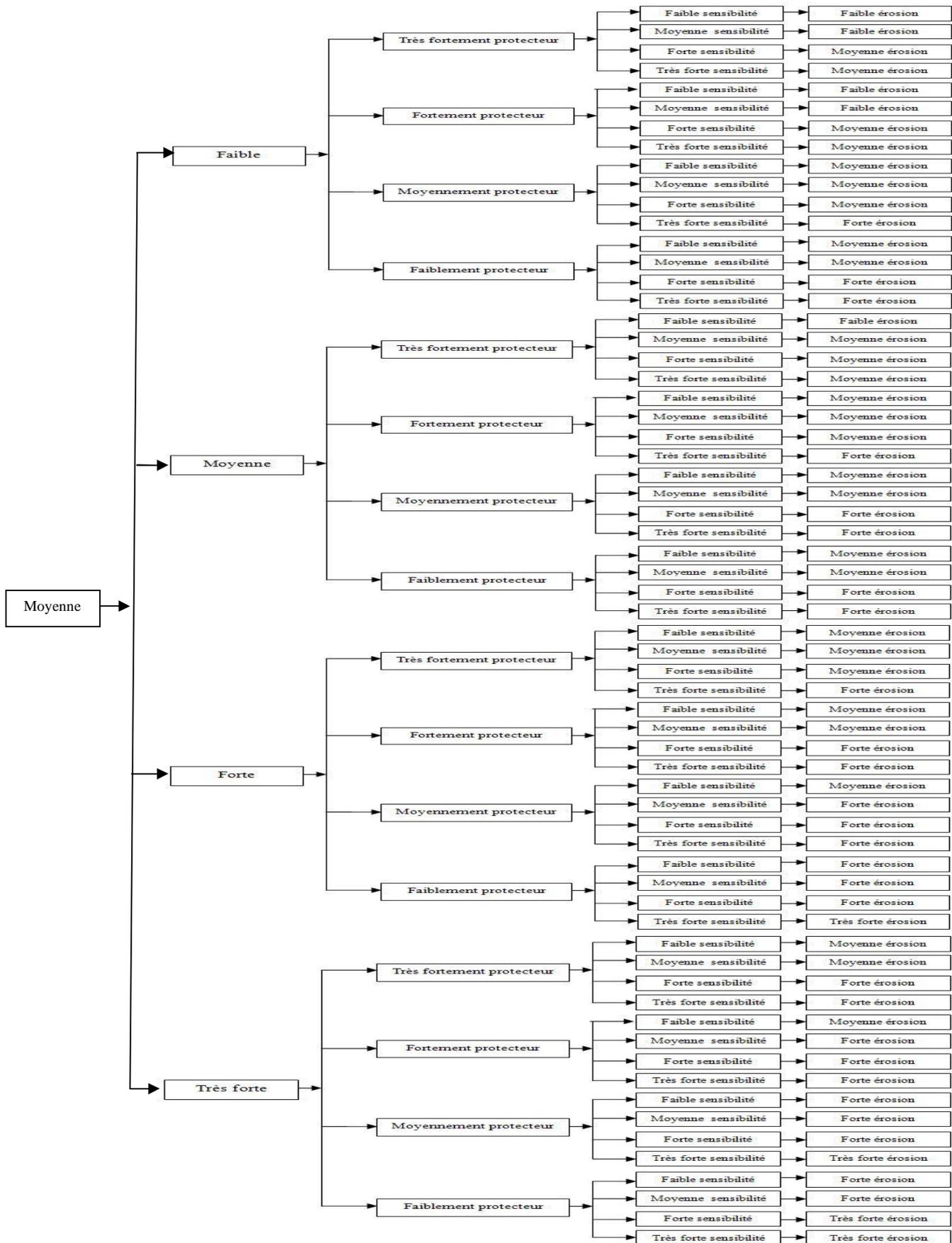


Figure IV.3 : Les combinaisons existantes si la précipitation est de classe moyenne

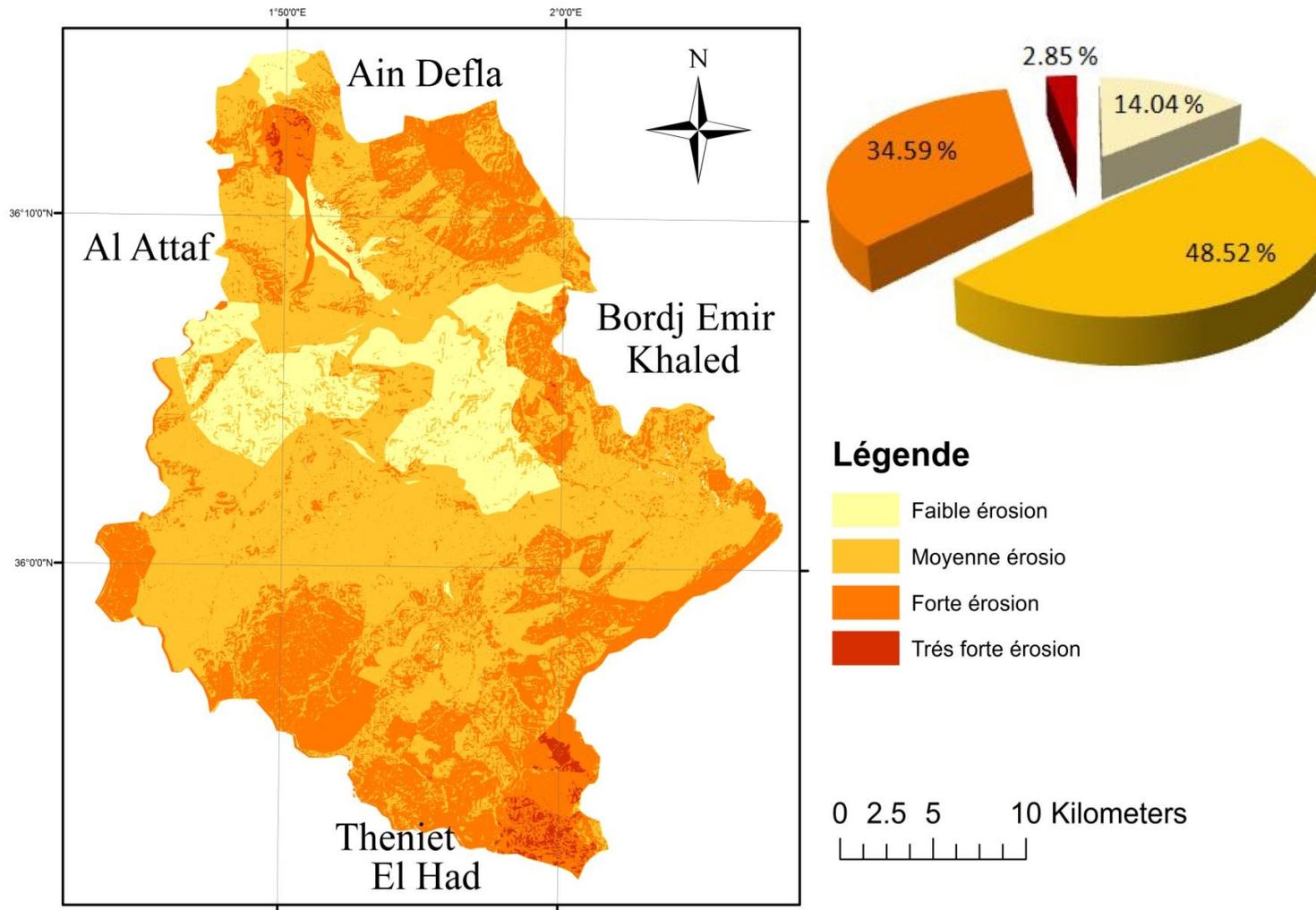


Figure IV.4 : Carte de vulnérabilités multifactorielles a l'érosion hydrique du bassin de l'oued Zeddine (réaliser par nos soins sous Arcgis 10.3)

- **Interprétation du résultat :**

La figure IV.3 est le résultat de la combinaison multicritère, apporte une spatialisation de l'érosion potentielle des sols, hiérarchisée selon un niveau de sensibilité. Nous pouvons ainsi distinguer les zones les plus affectées par le processus érosif et celles les plus préservées.

On remarque que la majorité du bassin est caractérisé par une moyenne sensibilité à l'érosion hydrique.

Les zone à forte et très forte sensibilité à l'érosion hydrique couvrent 37.44 % du bassin versant est se concentre principalement en amont ou les pontes sont trop raides et les formations affleurent sont les calcaire du crétacé supérieur qui sont fortement sensibles à l'érosion et ne sont pas protégées par le couvert végétale. On trouve aussi une forte sensibilité à l'érosion au niveau de la cuvette du barrage d'Ouled Mellouk qui se caractérise par les formations Quaternaire qui sont fortement sensibles à l'érosion et les formations Miocène moyen et supérieur qui est très fortement sensible à l'érosion hydrique.

Les zone à faible sensibilité à l'érosion hydrique couvrent 14.04 % du bassin versant et se concentre dans les zone a faible ou moyenne inclinaison de pentes et un couvert végétale très protecteur

Les résultats de cette approche montrent que les sols du bassin versant de l'oued Zeddine subissent l'effet de plusieurs facteurs favorisant le phénomène d'érosion à savoir l'importance des pentes, la diversité du couvert végétal et l'efficacité des sols. Ils indiquent également que le bassin est soumis à une érosion forte et moyenne dépassant les 80 % des sols du territoire

### IV.5 Limites et perspectives :

La méthode mise en œuvre conduit à une meilleure compréhension de la distribution spatiale de l'érosion. Toutefois, ce travail constitue la première étape vers une estimation plus précise de cet aléa. Pour y tendre, plusieurs actions sont en cours de développement. Il s'agit particulièrement de l'instrumentalisation de sites pilotes afin de disposer de mesures de terrain pour calibrer et valider au mieux le modèle. Ces mesures telles que des hauteurs de pertes en sols permettront d'affiner les indices déterminés à dire d'expert (restant par nature subjectifs) et de coupler des valeurs de terrain à un niveau de sensibilité. En effet, pour le moment, la validation s'est tournée essentiellement vers une interprétation visuelle de photographies aériennes et d'images satellites ainsi que par quelques relevés *in situ*. Le deuxième axe de recherche tend vers l'intégration de nouveaux facteurs contribuant au processus d'érosion. Ces derniers traitent de la morphologie du terrain telle que les courbures horizontales et de profils, les surfaces drainées cumulées, les précipitations, ou encore les pistes non revêtues créées par l'action de l'homme. L'intégration de ces paramètres permettrait d'améliorer sensiblement les précisions spatiale et qualitative du modèle. La poursuite de ce travail pourrait aussi s'orienter vers une approche plus dynamique. Avec l'intégration du facteur climatique, la variabilité des intensités de précipitations pourrait s'exprimer selon une saison sèche ou humide, doivent être pris en compte. Dans le même objectif, il est aussi envisageable d'élaborer des scénarios de changement d'occupation du sol. (Terry *et al.*, 2002)

Au travers de cette présentation, nous avons essayé de contribuer à l'étude de l'érosion mécanique des sols, problème majeur en zone méditerranéenne. Un modèle cognitif, envisagé du point de vue de l'émission potentielle de particules solides a été mis en œuvre sur le bassin versant de l'oued Zeddine, situées au nord-ouest algérien. Ce modèle qualitatif s'est appuyé sur des paramètres simples représentant les principaux facteurs de l'érosion tels que l'inclinaison de la pente, la géologie des formations superficielles et la couverture végétale. Ces paramètres, intégrés dans un Système d'Information Géographique (SIG), sous forme de couches d'information thématique, ont été reclassés qualitativement suivant un indicateur d'érodibilité hiérarchisant leur contribution au processus d'érosion. Une analyse multicritère de ces plans d'information a permis de concevoir la cartographie de l'aléa érosion des sols selon quatre niveaux de sensibilité, déterminés d'une manière qualitative. Ce travail conduit à une meilleure compréhension de la distribution spatiale de l'aléa érosion et permet une comparaison relative entre les secteurs de la zone d'étude. Nous pouvons ainsi procéder à une première classification des zones les plus polluantes en termes de production de sédiments terrigènes. Dans ce sens, ce type de produit peut servir d'outil d'aide à la décision en matière de gestion et d'aménagement des bassins versants. Enfin, cette modélisation, basée sur l'utilisation d'un SIG, permet de couvrir une vaste région d'analyse et présente l'avantage d'être relativement simple et donc aisément reproductible à d'autres territoires.

### IV.6 Aménagements recommandés en amont des zones à risques d'érosion hydrique :

#### IV.6.1 Structures favorisant l'infiltration de l'eau et assurant le laminage des débits de crues :

- **Les mares** : leur capacité de stockage est de l'ordre de quelques centaines de m<sup>3</sup>. Pour un bon fonctionnement, elles doivent conserver un niveau de marnage suffisant (au moins 1 m) et être curées pour éviter le comblement par les sédiments décantés. Leur positionnement doit tenir compte des risques d'infiltration vers les nappes souterraines (risques de pollution azotée et de pollution par les matières en suspension) ;
- **Les retenues** (photographie 16) : disséminées dans le bassin versant elles ont non seulement une fonction de réduction des crues, mais protègent également les talwegs situés en aval contre l'incision en réduisant le débit des écoulements exceptionnels ;
  - **Les haies**, les talus et les murets ;
  - **Les prairies permanentes** en fond de talweg et les bandes enherbées. Cette technique, également employée à titre individuel,

#### IV.6.2 Structures permettant l'évacuation sans dégât des eaux :

- **Les bandes enherbées**
- **Les fossés** : ils permettent de canaliser le ruissellement et de le stocker, mais en même temps ils présentent un risque d'accélération du ruissellement. Ils constituent un obstacle infranchissable par les engins agricoles, contrairement aux bandes enherbées qui peuvent être traversées, à condition de relever les outils.

### IV.6.3 Autres techniques d'aménagement :

- **Les passages busés** : ils permettent le franchissement de la voirie. Ils doivent être associés à un fossé de collecte en amont et, en aval, être prolongés par une bande enherbée pour éviter tout ravinement ;
- **Les chaussées aménagées** pour faciliter les écoulements : utilisées en vignobles, elles collectent et évacuent les eaux, tout en permettant la circulation des engins agricoles. Leurs formes sont diverses: profil en V, trapézoïdal ou en contre pente. Ces chaussées accélèrent l'évacuation du ruissellement et peuvent de ce fait augmenter les risques d'inondation en aval.

### IV.7 Conclusion :

La cartographie des zones à l'érosion hydrique du sous bassin versant de l'oued Zeddine. A permis de distinguer quatre classes de vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique. Les zones à faible vulnérabilité couvrent 14.04 % du secteur d'étude, les zones à moyenne vulnérabilité 48.52 %, les zones à forte vulnérabilité 34.59 % et celles à très forte vulnérabilité couvrent 2.85 % du bassin versant. Ces résultats donnent une aperçue sur l'érosion dans le bassin versant et justifient le problème de l'envasement dans le barrage d'oued Mellouk donc on peut dire qu'il est nécessaire de faire un programme de protection contre l'érosion hydrique afin de protéger le barrage contre l'envasement.

# **Conclusion générale**

### Conclusion générale

La présente étude pose la problématique de l'érosion des sols dans le bassin versant de l'oued Zeddine et fournit un document de base qui constitue une base de données multi-sources de la région, 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 moyenne annuelle et le degré d'inclinaison des pentes ont permis d'avoir une idée claire sur la gestion du bassin versant de l'oued Zeddine et par conséquent produire un projet plus en harmonie avec la nécessité de protéger le barrage de Ouled Mellouk situé en aval, contre l'envasement et la désertification dans la région.

La cartographie de la zone à l'érosion hydrique a permis de distinguer quatre classes de vulnérabilité multifactorielle dans le bassin versant. Les zones à faible vulnérabilité couvrent 14.04 % du secteur d'étude, les zones à moyenne vulnérabilité 48.52 %, les zones à forte vulnérabilité 34.59 % et celles à très forte vulnérabilité couvrent 2.85 % du bassin versant de l'oued Zeddine.

La méthode mise en œuvre conduit à une meilleure compréhension de la distribution spatiale de l'érosion dans le bassin. Toutefois, ce travail constitue un document préliminaire décrivant l'alea qui manque de beaucoup de précision à cause de la disponibilité de certaines données dans la zone d'étude ainsi que les données disponibles ne sont pas toutes actualisées. Pour cela la base de données réalisée pour être modifiée ou mise à jour afin d'obtenir des résultats plus précis sur la distribution spatiale du phénomène d'érosion dans le bassin versant de l'oued Zeddine.

Des recherches poussées sur l'érodabilité des sols, leur infiltrabilité et les données de l'intensité de pluies apporteraient des informations complémentaires permettant d'affiner la carte de vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique. L'acquisition de connaissances sur l'intensité des pluies et sa répartition spatiale serait particulièrement intéressante.

L'inventaire des mesures de lutte contre l'érosion des sols réalisé dans les différentes régions, montre qu'une grande diversité de mesures, adaptées à chaque situation, existent pour lutter contre les conséquences négatives de ce phénomène. Les actions, souvent dues à des initiatives individuelles, doivent être ensuite relayées par des actions coordonnées à l'échelle des bassins versants ou des petites régions agricoles.

Des bassins de retenue ou d'infiltration, fossés, passages busés et le reboisement des zones nues sont les principaux moyens envisagés dans les zones à haut risque d'érosion hydrique.

## Références bibliographiques

Shabban, A., Khawalif, M. (1998). Ceoenvironmental assessment of riparian zones under extreme climatic events; a case study of representative rivers in Lebanon. Mediterranean rivers and riparian zones- processes and management symposium, Zaragoza, Spain, 21 September-2 October, 1998, 25. *Journal of Hydrological Engineering*, 3(1), 1-10.

Chevalier, J. J., Pouliot, J., Thomson, K., Boussema, M. R. (1995). Système d'aide à la planification pour la conservation des eaux et des sols (Tunisie). Système d'information géographique utilisant les données de télédétection. Act du colloque scientifique international, Hammamet. Tunisie, 1-2 Novembre 1994, 4-12

Celik, I., Aydine, M., Yazici, U. (1996). A review of the erosion control studies during the republic in Turkey. In Kapur, S., Akça, E., Eswaran, H., Kelling, G., Vita-Finzi, M., Mermut A6R, Ocal A-D, editor 1st international conference on land degradation, Adan. Turkey. 10-14 June 1996, 175-18

Chebbani, R., Djelil, K., Rosse, E. (1999). Etude des risques d'érosion dans le bassin versant Isser, Algérie. *Bulletin Réseau Erosion* 19 : 85-95.

Greco, J. (1966). L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie. MARA. Alger.

Dutil, P. (1984). L'érosion en grande culture, revue technique des agriculteurs dynamique, N°169, France.

Roose (1994). Introduction à la GCES. *Bulletin pédologique FAO*. 76, 420p

Wischmeier (1978). Predicting rainfall erosion losses, guide to conservation planning. *Agricultural Hand- Book*. N°537. USA.

Roose (1967). Dix années de mesures de l'érosion et du ruissellement au Sénégal. *Agronomie tropicale (France)*, volume 22, n°2, p 123-152

Roose, P. (1984). Runoff erosion and soil fertility restoration on the mossi plateau (central zone of upper- Volta). *Symp. Intern challenge in African Hydrology and water resource*. Harare Symposium I.A.N.S publ, 144, p 485-498.

Remini, B., Benkhaled, A. (2003). Influence des paramètres hydrométéorologiques sur l'estimation des apports solides dans un bassin versant de zone semi-aride. L'oued Ouahrane. *Colloque International Oasis, Eau et Population*. Biskra. 22-23 et 24 Septembre.

Remini, B., Benkhaled, A. (2003). Analysis of a sediment rating curve in Wahrane river basin (Algérie). *Revue des sciences de l'Eau* N°16/3. pp 333-356.

Remini, B., Benkhaled, A. (2003). Temporal variability of sediment concentration and hysteresis in the Wadi Wahrane basin. Algéria. Hydrological Science Journal. N° 48 (2). Pp 243-255.

Merdas, S., Mostephaoui, T., Sakaa, B., Hanafi, M. T., Benazzouz, M.T. (2013). Cartographie des risques d'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol à l'aide d'un système d'information géographique dans le bassin-versant d'el Hamel (Boussaâda) Algérie.

Ake, G.E., Kouadio, B.H., Adja, M.G., Ettien, J.B., Effebe, K.R., Biémi J. (2012). Cartographie de la vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique des sols de la région de Bonoua (Sud- Est de la Côte d'Ivoire).

Achite, M., Touaibia, B., et Ouillon, S. (2014). Erosion hydrique en Algérie du Nord : Ampleur, Conséquences et Perspectives. Production scientifique-Communications, 1.

BOUSSEMA. (1996). Système d'information pour la conservation et la gestion des ressources naturelles ; Colloque International sur le rôle des technologies de télécommunication et de l'information en matière de protection de l'environnement, Tunis, 1-2 Novembre 1996.

Bouchetata, A. (2001). Cartographie des risques d'érosion hydrique des sols par l'utilisation du SIG « cas du sous-bassin-versant de l'oued Fergoug ». Thèse de Magister, Centre universitaire de Mascara.

Nafo, I. I. (2000). Conservation des sols avec l'aide du SIG et de la télédétection. 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.

Mazour, M., Morsli, B., Mededjel, N. et Roose, E. (2004). Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et de l'érosion sur les versants semi-arides du nord-ouest de l'Algérie.

N'dri, B.E., N'go, Y.A., Kadio, H.N., Ouattara, A., Touré, B., Biémi J. (2008). Effect of soil slope and cover on runoff and rate soil loss from experimental plots in area of Attécoubé. European Journal of Scientific Research.

Roose, E (1977). *Érosion* et ruissellement en Afrique de l'Ouest : vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. Travaux et Documents, n° 78. Paris : Orstom éditions.

Roose, E (1996). Érosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne.