

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Ferhat Abbas - Sétif 1**



**Institut d'Architecture et des Sciences de la Terre**

**Département des sciences de la terre**

THESE PRESENTEE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTORAT  
TROISIME CYCLE –LMD-

**OPTION : Géo-Ressources**

THEME :

L'utilisation de l'image multi-bandes et du système d'information géographique pour  
l'estimation et la cartographie de la susceptibilité des sols à l'érosion hydrique en  
domaine semi-aride, cas d'étude : bassin versant Mellégue -NE Algérien

**Présentée par :**

M<sup>me</sup> MAHLEB Anissa

**Devant le jury :**

Président : Dr. Zighmi Karim .....Université de Sétif 1  
Directeur de thèse : Pr. Hadji Rihab .....Université de Sétif 1  
Co-directeur de la thèse : Dr. Zahri Farid .....Université de Sétif 1  
Examineur : Pr. Fehdi Chemsedine .....Université de Tébessa  
Examineur : Pr. Merdas Abdelghani .....Université de Sétif 1  
Examineur : Dr. Benmarce Kaddour .....Université de Sétif 1

*Année universitaire : 2021/2022*

## **REMERCIEMENTS**

- *Je tiens en premier lieu de remercier ALLAH qui m'aide et m'a donnée le courage et la patience durant ces 5 années de recherche.*
- *Je remercie mon directeur de thèse, professeur HADJI Riheb, pour son encadrement durant mon parcours et sa disponibilité, ainsi que pour la richesse et la qualité de son enseignement.*
- *Egalement Dr. ZAHRI Farid, pour sa collaboration et ses informations et conseils précieux.*
- *Je tiens à remercier particulièrement les membres de jury :  
Dr Zighmi Karim le président du jury, Docteur benmares kaddour de l'Université de Sétif 1, Professeur Fehdi de l'université de Tébessa et professeur Merdes Abdelgani de l'université de Sétif 2.*
- *Mes remerciements aussi à tous mes enseignants du département de géologie de l'université de Sétif 1, pour les précieux enseignements et conseils qu'ils m'ont donné tout au long de mon parcours d'étude.*
- *Je remercie également tout le personnel du laboratoire des travaux publics- Est (LTPE : Sétif-BBA), pour leur accueil chaleureux, et de m'avoir facilité le travail par tous les moyens mis à ma disposition tout au long de mon séjour.*
- *Je n'oublie pas dans mes remerciements tout le personnel de l'unité de recherche URGME et surtout Monsieur Merdes de m'avoir facilité la réalisation de mes analyses au sein de leur laboratoire*

- Un grand merci à Monsieur Ben Mohamed pour la correction orthographique, qui a permis de faciliter la lecture et la meilleure l'exploitation de la thèse.
- *Je compte aussi remercier ici tous mes collègues et surtout Boudjlel et Chibani pour leurs aides et leurs encouragements, qui m'ont permis de réaliser ce travail.*
- ***Pour tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin,***

***MERCI***

## *Dédicace*

*J'ai l'honneur de dédier ce travail :*

*A mes parents ;*

*A mes chères sœurs et chers frères ;*

*A mon Mari et sa famille ;*

*A toute la famille MAHLEB et*

*Rahmouni ;*

*A toutes mes amies, collègues et  
enseignants.*

**ANISSA** 

# Table des matières

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

## CHAPITRE I : GENERALITES SUR L'EROSION HYDRIQUE

1. Introduction .....	7
2. L'érosion hydrique .....	7
3 .l'Origine et le mécanisme .....	8
3.1. Le Détachement .....	8
3.2. Le transport .....	10
3.3. La sédimentation .....	11
4. Les formes d'érosion .....	11
4.1. L'érosion en nappe .....	11
4.2 .L'érosion linéaire .....	12
4.3. L'érosion par ravinement .....	13
5. les facteurs prédictifs de l'érosion hydrique .....	13
5.1- Les facteurs climatiques .....	13
5.1.1. Les précipitations .....	14
5.1.2. Le ruissellement .....	14
5.2. La régression du couvert végétal .....	14
5.3. Les activités humaines .....	15
5.4. La morphologie du terrain .....	15
5.5 Le sol .....	16

6. Les dégâts causés par l'érosion hydrique .....	17
6.1 Les dégâts en zones érodées .....	17
6.1.1 - Dégradation du bilan hydrique .....	17
6.1 .2 -Appauvrissement du sol .....	17
6.2 - Dégâts en zones dépôts .....	18
6.2 .1.Effet sur la production agricole.....	18
7. Les méthodes de quantification de l'érosion hydrique .....	19
7 1. Les mesures directes .....	19
7. 1. 1 Mesures topographiques .....	19
7. 1. 2. Simulation de pluie .....	20
7. 1. 3. Mesures par l'étude de la sédimentation dans les retenues .....	21
7. 1.4. Mesures par l'étude du transport solide .....	21
7.2. Les mesures indirectes .....	22
7.2.1 La modélisation .....	22
7.2.2La télédétection et le système d'information géographique .....	26
7.2.3. Utilisation des radio-isotopes : le césium-137.....	27
8.Conclusion .....	27

## **CHAPITRE II PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

1. Introduction .....	29
2. La situation géographique .....	29
3. Description général de la zone d'étude .....	31

4. Contexte climatique .....	36
5. Activités minier dans la région .....	38
6. Les études antérieures .....	38
7. Géologie régional .....	39
8. Lithostratigraphie.....	40
8.1Le Trias .....	42
8.2Le Jurassique .....	44
8.3. Le Crétacé.....	44
8.3.1 Le Crétacé inférieur.....	44
8.3.2Crétacé supérieur .....	45
8.4. Le Tertiaire .....	46
8.5. Le Quaternaire .....	46
9. Etude structurale de la zone .....	47
9.1. La subsidence .....	47
9.2. Le diapirisme.....	47
9.3 .Trias évaporitiques .....	49
9.4. Les plissements .....	49
9.5 La tectonique cassante .....	49
9.6 Les fossés d'effondrement .....	49
10. Etude minéralogique par la diffraction aux rayons X (DRX) .....	50
11. Spectrométrie par fluorescence des rayons X.....	52
13. Conclusion .....	55

**CHAPITRE III    HYDRO-CLIMATOLOGIE ET PARAMETRES DU  
BASSIN VERSANT**

1. Introduction .....	57
2. Les bassins versants de l'Algérie.....	57
3. Bassin Medjerda-Mellègue .....	60
3.1 Bassin d'Oued Meskiana .....	60
3.2. Bassin d'oued Chabro .....	60
4. Paramètres morpho métrique .....	62
4.1 Délimitation du bassin .....	62
4.2. Indice de compacité .....	62
4.3. Le relief.....	63
4.3. Altitudes caractéristiques des bassins .....	64
4.4. Rectangle équivalente.....	65
4.5. Indice de pente global (Ig) .....	65
4.6. dénivelée spécifique(Ds).....	68
5. les caractéristiques morphométriques.....	68
5.1. Densité de drainage .....	68
5.2. Temps de concentration .....	69
6. Etude Des Facteurs Climatiques .....	70
6.1. Précipitation .....	70
5.2. La Température .....	72
5.2.1. Etude des variations de la température .....	72
5.3 .Température moyenne .....	73
5.4. Le régime du vent .....	74
5.5 .L'humidité relative .....	75
5.6. L'indice d'aridité mensuel .....	76
5.7. Estimation de l'évapotranspiration .....	77
5.7.1. Estimation de l'ETP .....	77
-Méthode de Turk .....	78
- Méthode de Thornthwaite .....	78

5.7.2 Comparaison entre les formules de turc et Thornthwaite .....	78
5.8. Bilan Hydrique .....	79
5.9. Ruissellement de surface .....	80
5.10. L'infiltration .....	80
6. Conclusion .....	81

## **CHAPITRE IV**

### **ESTIMATION DES PARAMETRES ET CARTOGRAPHIE DE LA SUSCEPTIBILITE DU SOL A L'EROSION HYDRIQUE**

1. Introduction .....	83
2. Méthodologie .....	85
2.1. L'équation RUSLE .....	85
3. Estimation des paramètres .....	86
3.1 évaluation de l'érodabilité des sols (K) .....	86
3.2 Evaluation de l'érosivité des pluies R .....	89
3.3 Facteur de la couverture végétale et des pratiques culturales (C) .....	91
3.4 Facteur topographique (LS) .....	94
3.5 Pratique antiérosive (p) .....	97
4. L'estimation du taux d'érosion (A).....	100
5. Interprétation des résultats .....	102
6. Lutte contre l'érosion a utilisé dans les zones.....	102
6.1 Les méthodes mécaniques .....	103
7.1.1 Terrasses .....	103
7.1.2 Gradins en marche d'escalier .....	104
7.1.3. Banquettes .....	104
7.1.4 Les fossés .....	105

7.1.5 Cordons pierreux .....	106
7.1.6. Billonnage .....	107
7.2 Les méthodes biologiques .....	108
7.2.1 Reboisement .....	108
7.2.2 Le paillage .....	109
8. Conclusion .....	109

## **CHAPITRE V**

### **APPROCHE A L'AIDE DES METHODES STATISTIQUES (AHP) A L'ETUDE DE LA SUSCEPTIBILITE DES SOLS A L'EROSION HYDRIQUE DANS LE BASSIN VERSANT MELLEGUE NE ALGERIEN**

1. Introduction .....	112
2. Analytical Hierarchy Process (AHP) .....	112
2.1 Principes fondamentaux de la méthode AHP .....	113
2.2 Les calculs nécessaires pour trouver les valeurs des priorités .....	114
2.3. Avantages de la méthode AHP.....	114
2.4 Le calcul de la pondération .....	116
3. Méthodologie .....	118
3.1 Les précipitations moyennes annuelles.....	120
3.2. Texture du sol .....	121
3.3Densité de drainage .....	123
3.4 la pente .....	124
3.5 Occupation des sols .....	125

3.6 le relief .....	116
3.7 Fréquence de Lineament .....	128
4.La carte finale .....	129
5. comparaison entre la carte(R-USLE) et la carte (AHP).....	133
6. Conclusion .....	134
Conclusion général .....	136
références bibliographiques.....	156
Annexes.....	166
Résumé .....	196
Abstract.....	197
ملخص.....	198

## **LISTE DES FIGURES**

### **CHAPITRE I GENERALITES SUR L'EROSION HYDRIQUE**

Figure. I.1 : dessin schématique du processus de l'érosion hydrique.....	8
Figure I.2 : les étapes de l'érosion hydrique .....	9
Figure I.3 :l'effet splash .....	9
Figure I.4 : érosion par ruissellement .....	10
Figure I.5 : les formes de l'érosion .....	12
Figure .I. 7 : perte de sol et de la qualité du sol en raison de l'érosion.....	12
Figure. I.8 : dégâts causées par l'érosion.....	19
Figure I.9 mesure de la rugosimètre de sol .....	20
Figure I.10 : simulateur de pluie.....	21
Figure I.11 : les facteurs de l'érosion hydrique qui intervient dans le modèle R-USLE.....	22

### **CHAPITRE II PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

Figure II.1 : Situation géographique de la zone d'étude.....	30
Fig II.2 : réseau hydrographique, MNT, la pente de la zone d'étude.....	31
Figure II.3 Précipitations moyenne annuelles .....	33
Figure II.4 : Photos de la zone.....	34
Figure II.5 : carte hypsométrique de la zone d'étude.....	36
Fig II.6 Les différents bioclimats en Algérie (Stewart 1974).....	37
Figure II.7 Coupe Nord-Sud montrant les principales unités structurales de l'Algérie .....	40
Figure II.8 Carte lithologique de la zone d'étude.....	41

Figure .II.9 colonnes stratigraphique des monts de la zone d'étude.....	43
Figure II.10 Coupe géologique de la zone d'étude .....	48
Figure II.11. Image de l'appareil du DRX.....	50
Figure II.12 : diagramme de diffraction de l'échantillon 02.....	51
Figure II.13 : image de l'appareil FRX.....	52
Figure II.13 résultats de l'essai FRX des échantillons 01 et 02.....	54

### **CHAPITRE III**

#### **HYDRO-CLIMATOLOGIE ET PARAMETRES MORPHO- METRIQUES DU BASSIN VERSANT**

Figure III.1. répartition de la superficie des régions hydrographique.....	57
Figure III.2 : Limites des bassins Algérien.....	58
Figure III.3 les sous bassin du BV Mellégué .....	61
Figure III.4. Courbe hypsométrique du bassin chabro-meskiana.....	63
Figure III.5. classe des pentes dans le bassin versant Chabro-meskiana .....	67
Figure III.6 Carte des précipitations moyennes annuelles de la zone d'étude .....	71
Figure III.7. Température mensuelle .....	73
Figure III.8. Vitesse moyenne mensuelle du vent (m/s).....	74
Figure III.9. Humidité relative moyenne mensuelle (%)......	75
Figure III.10. Indice d'aridité mensuelle.....	76
Figure III.11. Courbes d'évapotranspiration mensuelles.....	79

### **CHAPITRE IV**

#### **ESTIMATION DES PARAMETRES ET CARTOGRAPHIE DE LA SUSCEPTIBILITE DU SOL A L'EROSION HYDRIQUE**

figure IV.1 Quelques aspect de l'érosion dans la zone d'étude.....	84
Fig. IV.2. L'organigramme utilisé pour l'évaluation de l'érosion des sols.....	86
Figure IV.3 histogramme des valeurs de l'érodabilité(K) .....	87
FigIV.4 carte du facteur K .....	88
Figure VI.5 histogramme des classes de l'érosivité (R) en fonction de surface.....	90
Figure IV.6 : carte du facteur de l'érosivité (R). .....	91
Fig.IV.7 NDVI de la zone d'étude.....	92
Figure IV.8 histogramme les classes du facteur C .....	93
Figure IV.9- carte du facteur (C) dans le bassin versant Mellégue .....	94
Figure IV.10 histogramme des classes du facteur pente LS .....	95
Fig.IV.11 .cartes du facteur pente (LS).....	96
Figure IV .12 histogramme des valeurs du facteur de pratique anti-érosives(P).....	98
Figure IV .13 carte de valeurs du facteur de pratique anti-érosives(P).....	98
Figure IV .14 histogramme de la répartition des valeurs du taux d'érosion .....	100
Figure IV .15 valeurs du taux d'érosion A .....	101
Figure IV.16. carte des pertes en sols (A) dans le bassin versant Mellégue .....	101
Figure IV.17 exemple d'une terrasse.....	103
Figure IV.18 Gradins en marche d'escalier .....	104
Figure IV.19. Banquettes .....	105
Figure IV.20.Fossé .....	106
Figure IV.21.Cordons pierreux .....	107
Figure IV.22(a) Billonnage.....	107
Figure IV.22(b) Billonnage.....	108
Figure IV.23 Reboisement.....	108
Figure IV.24 Reboisement Paillage.....	109

## **CHAPITRE V**

### **APPROCHE A L'AIDE DES METHODES STATISTIQUES (AHP) A L'ETUDE DE LA SUSCEPTIBILITE DES SOLS A L'EROSION HYDRIQUE DANS LE BASSIN VERSANT MELLEGUE NE ALGERIEN**

Figure. V.1 Organigramme de la méthode AHP.....	113
Figure V.2 : les étapes de l'application AHP.....	115
Figure V.3 : Méthodologie d'évaluation de l'érosion à l'aide de la méthode AHP.....	119
Figure.V.4 : cartes des précipitations.....	120
Figure V.5 : carte d'érodabilité des sols.....	122
Figure V.6 : carte de densité de drainage.....	123
Figure .V.7 classes de la pente.....	125
Figure V.8 carte d'occupation des sols.....	126
Figure V.9 : classes d'altitude.....	127
Figure V.10 : carte de fréquence de linéament .....	128
Figure V.11 Carte de susceptibilité des sols à l'érosion hydrique.....	132
Figure.V.13 : comparaison entre les cartes de R-USLE, et de la méthode AHP.....	133

## LISTE DES TABLEAUX

### CHAPITRE I GENERALITES SUR L'EROSION HYDRIQUE

Tableau I.1 : valeurs (p) (shin 1999).....	25
--	----

### CHAPITRE III HYDRO-CLIMATOLOGIE ET PARAMETRES MORPHO-METRIQUES DU BASSIN VERSANT

Tableau III.1 codes des bassins versants de l'Algérie et leurs nombres des sous bassins.....	59
Tableau III.2 Superficie des bassins versant d'oued Chabro-Meskiana. ....	62
Tableau III.3 Indice de compacité.....	62
Tableau .III.4: Répartition hypsométrique du bassin chabro-meskiana.....	64
Tableau III.4 : Altitudes caractéristiques(L-1).....	64
Tableau.III.5. Largeur et Longueur des sous bassin .....	65
Tableau III.6 : indice de pente des deux bassins.....	66
Tableau .III.7 : Classification du relief selon (Ig) .....	66
Tableau .III.8 : Classification du relief selon Ds.....	68
Tableau.III.8 : temps de concentration des deux bassins.....	69
Tableau III.10 : Récapitulation des paramètres des deux bassins .....	70
Tableau III.11. Coordonnés des stations météorologique.....	72
Tableau III.12 : comparaison entre ETP et ETR de la formule de turc et Thornthwaite.....	78

## **CHAPITRE IV ESTIMATION DES PARAMETRES ET CARTOGRAPHIE DE LA SUSCEPTIBILITE DU SOL A L'EROSION HYDRIQUE**

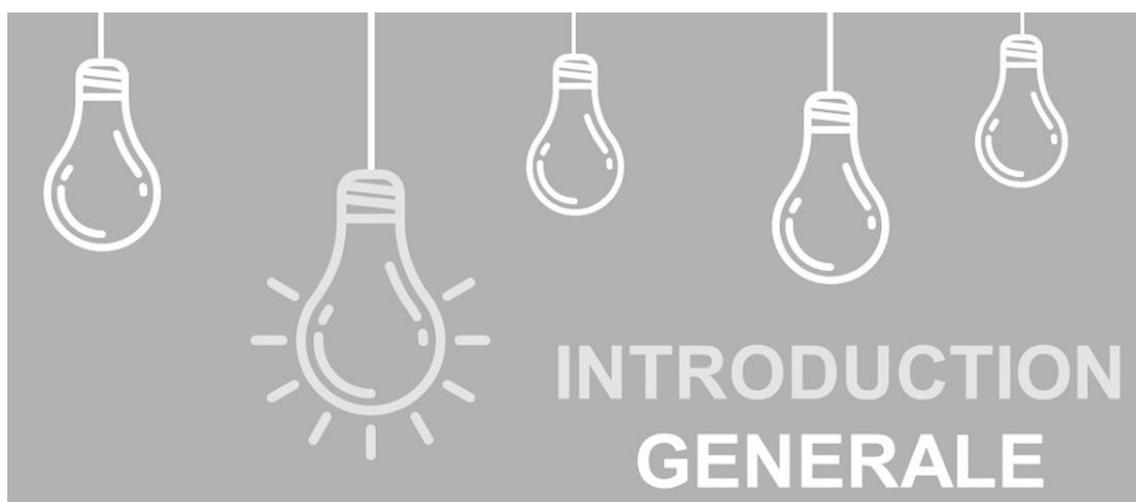
Tableau IV.1 : valeur de l'érodabilité en fonction de la surface .....	87
Tableau VI.2 : classe de l'érosivité (R) en fonction de surface .....	90
Tableau IV.3 : les classes du facteur C en fonction de surface (%).....	93
Tableau IV.4: les classes du facteur pente LS .....	95
Tableau IV.5 valeurs du facteur de pratique anti-érosives(P) .....	98
Tableau IV.6 : valeurs du facteur de pratique anti-érosives(P) .....	99
Tableau IV.7 valeurs du taux de l'érosion (A) .....	100

## **CHAPITRE V APPROCHE A L'AIDE DES METHODES STATISTIQUES (AHP) A L'ETUDE DE LA SUSCEPTIBILITE DES SOLS A L'EROSION HYDRIQUE DANS LE BASSIN VERSANT MELLEGUE NE ALGERIEN**

Tableau V.1.échelle de comparaison recommandé.....	114
tableau V.2 :les indices de cohérence aléatoire Satty.....	115
Tableau V.3 : exemple d'une matrice.....	118
Tableau .V.4 : Nature et impact des classes de pluie.....	121
Tableau.V.5 : classe d'érodabilité des sol.....	122
Tableau .V.6 : classes de densité de drainage.....	124
Tableau.V.7 : impacte et classes de la pente.....	124
Tableau .V. 8 : classification d'occupation des sols.....	126
Tableau .V. 9 : classe et impact de l'altitude.....	128
Tableau .V.10 : classes de fréquence de linéament.....	129

Tableau .V. 11 : Matrice de comparaison, d'après Marinoni (2004).....	130
Tableau.V.12 : Détermination du poids de chaque critère.....	131
Tableau V.13 : classe de susceptibilité des sols.....	132

# Introduction générale



- 'érosion hydrique constitue un problème majeur pour la dégradation des sols en zones steppiques, arides et semi arides (FAO. 1994). Si de la terre est arrachée lors du ruissellement, on parle d'érosion hydrique des sols. Par contre si on a un déplacement du sol généralement fertile de l'amont vers l'aval on parle alors de transport solide. Ce couple érosion hydrique /transport solide constitue un tueur silencieux responsable de la dégradation des terres en Algérie et dans le monde.



- 'érosion hydrique des sols est un phénomène naturel dû aux précipitations (Lienou et al 2003). Toutefois, de nombreuses activités anthropiques peuvent déclencher et/ou renforcer l'érosion hydrique des sols. Le facteur déclenchant principal de ce phénomène est l'eau de ruissellement et ceux de prédispositions sont le faciès et la morphologie du relief. Dans notre pays L'érosion hydrique affecte 28 % des terres de l'Algérie du Nord (Hadjiat, 1997), la région Ouest est la plus touchée avec 47 % de l'ensemble des terres ; suivie de la région Centre avec 27% puis la région Est avec 26%.



- 'érosion hydrique est définie comme l'élimination de la partie superficielle du sol qui est transportée plus en aval (Morgan 1986, Laflen et Roose, 1997). Avec un ensemble de processus dérive de l'interaction d'un ensemble des facteurs actifs, en particulier l'agressivité passive du climat ou des

précipitations, le type et la texture du sol, la couverture végétale et l'occupation du sol, la longueur et l'inclinaison de la pente et bien sûr les pratiques anti-érosives.



Le bassin versant Meskiana-Chabro est situé dans le Nord-Est Algérien et fait partie du plus grand bassin versant Mellègue qui abrite des zones plus ou moins vulnérables à l'érosion hydrique. De plus, la vulnérabilité du milieu, reflétant l'érosion et la migration des sédiments en suspension dus à la sécheresse et aux averses sur des sols qui sont généralement mal protégés, amplifie encore cette vulnérabilité.



Le principal objectif de la présente thèse vise à déterminer la place qu'occupent la géomatique et les approches d'analyse spatiale au sein des méthodes de l'estimation et de la cartographie des sites dégradés par l'érosion dans le bassin versant Mellègue.



Les objectifs spécifiques consistent à mettre en contexte l'érosion hydrique en Algérie Nord Orientale, à définir le phénomène, à établir une revue des méthodes spatiales d'étude existantes, à choisir, à adapter et à exploiter des méthodes d'étude régionale de l'érosion, ainsi qu'à évaluer les résultats obtenus d'un point de vue environnemental. Le dernier objectif spécifique consiste à émettre des recommandations concernant ces approches d'analyse spatiale basées sur les SIG et la télédétection et sur la gestion des terrains érosifs, de manière plus globale, en Algérie du Nord ainsi que dans la région MENA.

*Cinq principaux chapitres structurent notre travail :*

Le premier chapitre aborde l'état d'art et les notions fondamentales de l'érosion hydrique commencent par la définition, les étapes et les facteurs, les paramètres et les méthodes de quantification et on termine par les dégâts engendrés par ce mécanisme.

Dans le deuxième chapitre on a présenté notre zone d'étude du point de vue géomorphologique, géologique, lithostratigraphie, Géochimique, Minéralogique, structural et socio-économique.

Le troisième chapitre est basé sur l'étude hydro-climatique du bassin versant , l'identification des paramètres géométriques, morphométrique et le relief du bassin, (indice de compacité, indice de pente, précipitation, température, vitesse du vent, évapotranspiration réelle et potentielle jusqu'au bilan hydrique), avec quelques cartes concernant cette partie d'étude.

Dans le chapitre quatre intitulé : l'estimation des paramètres et cartographie de la susceptibilité du sol à l'érosion hydrique ; nous avons choisi comme méthode de quantification : l'équation RUSLE de Wischmeier et Smith (1978) pour déterminé les paramètres d'érosivité R, K, C, LS, et P et à l'aide du système d'information géographique(SIG), dans le même chapitre on a généré les cartes de ces paramètres pour atteindre l'objectif final :

La détermination des zones susceptible à l'érosion dans la zone d'étude ; avec des méthodes de lutte contre l'érosion propice pour les zones qui a un taux d'érosion élevé.

Dans le cinquième et le dernier chapitre nous avons utilisé un outil d'aide à la décision (la méthode AHP), c'est une méthode semi-quantitative ( *Saaty.T.L 1970* ), qui a pour but de quantifier et apporter une solution au problème de gérance du risque de l'érosion hydrique dans la zone d'étude et de confirmé les résultats obtenus dans le chapitre précédant .

Enfin nous mettons en valeur les plus importants aboutissements de notre travail dans une conclusion générale.

Les retombées de notre travail de recherche permettront de classer les zones étudiées et de définir des ordres de priorité en matière d'aménagement anti-érosif, ainsi que d'identifier les zones les plus érodées qui nécessitent une action immédiate.

L'utilisation de nouvelles technologies telle que la géomatique, couplées aux données de terrain et aux essais de laboratoire ont permis d'atteindre les objectifs spécifiques de notre thèse d'une manière à la fois pédagogique et académique.

# **Chapitre I**

# **Généralités sur l'érosion hydrique**

## 1. Introduction :

Dans cette partie informative, nous présenterons l'état d'art et les principes généraux du phénomène/processus de l'érosion hydrique, les bases pour en décrire le risque d'érosion hydrique/transport solide, les facteurs/mécanismes d'érosion des sols plus les dommages causés par ces mécanismes. Cela permettra de déterminer la place qu'occupent les approches d'analyse adoptée par notre thèse au sein des méthodes de l'estimation et de la cartographie des sites dégradés par l'érosion dans les zones semi-arides. Ainsi, le phénomène de l'érosion et les méthodes développées pour étudier son processus seront bien détaillés ; ce qui consiste à mettre en contexte l'érosion hydrique, à définir le processus, à établir une revue des méthodes spatiales d'étude existantes. Les concepts dévoilés dans ce chapitre comportent essentiellement l'émission des principes de base et à expliquer les approches d'analyse spatiale basées sur les SIG et la télédétection et sur la gestion des terrains érosifs.

## 2. définition de l'érosion hydrique :

L'érosion des sols se développe lorsque les eaux de pluie, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent sur la parcelle en emportant les particules de terre. Ce refus du sol d'absorber les eaux en excédent apparaît soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol, soit lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée par une nappe (Cros-Cayot, 1996). Une fois le ruissellement déclenché sur la parcelle, l'érosion peut prendre différentes formes qui se combinent dans le temps et dans l'espace et qui dépendent d'une multiplicité de facteurs interagissant entre eux, qui sont de ce fait complexes à modéliser (Lawani-A.-Mounirou, 2012). Les facteurs causaux du processus érosif doivent être pris en compte pour étudier les phénomènes érosifs (Wischmeier et Smith, 1978 ; Le Bissonnais, et al 1998). Les paramètres de l'érosion sont les différentes informations qui peuvent permettre de caractériser les facteurs de l'érosion. Des compréhensions sont donc essentielles pour déterminer chacun des facteurs allégués. Le plus souvent, ces choix résultent d'un arrangement entre la description qualitative des processus, et la combinaison quantification chiffrée des paramètres. De ce qu'on a avancé, on peut décrire l'érosion hydrique comme un mécanisme qui consiste en une interaction entre un ensemble de processus interdépendants qui produisent le détachement, le transport et le dépôt de ces particules de sol détaché, (Fig I. 1).

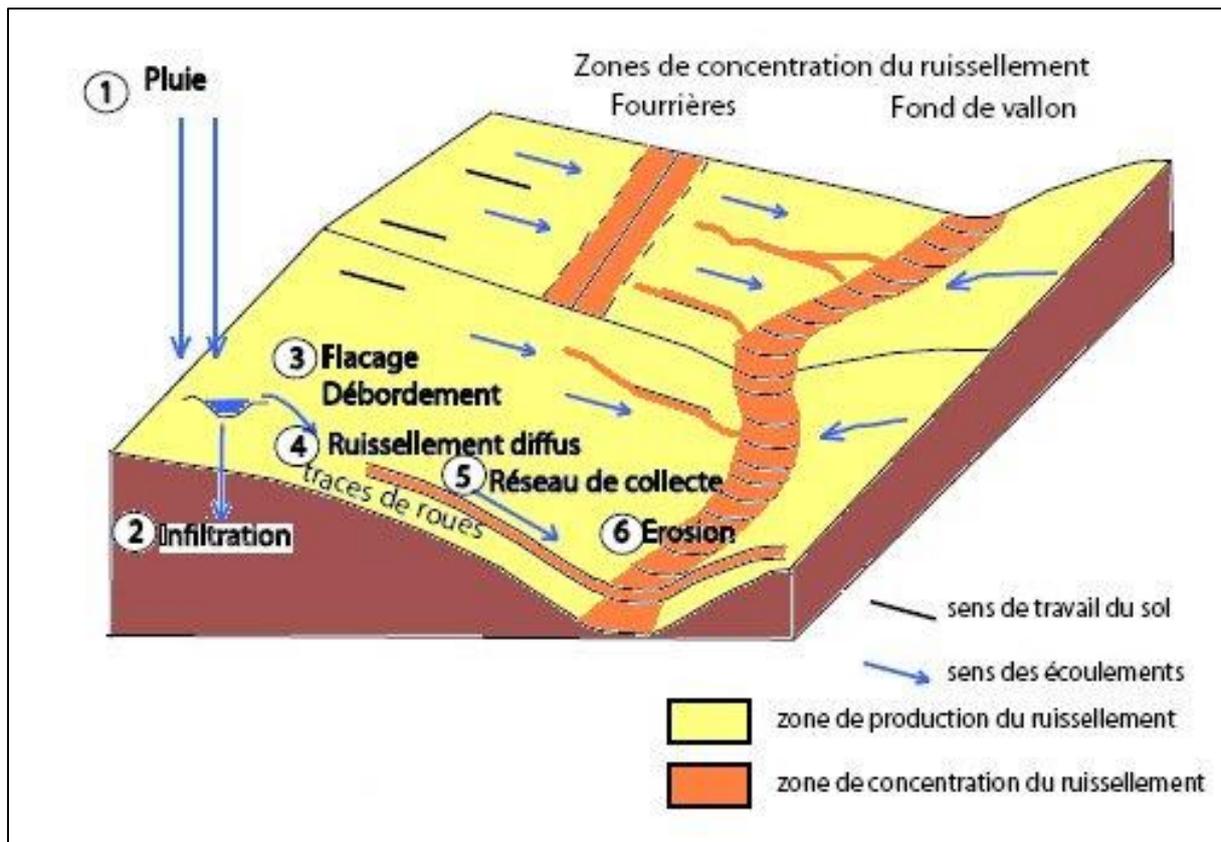


Figure I.1 : dessin schématique du processus de l'érosion hydrique

### 3 - Origine et mécanisme :

Les facteurs liés à l'eau tel que les précipitations et le ruissellement de surface sont les agents déclencheurs responsables du détachement et du transport des particules de sol des parties hautes/amont du relief, (Hanich et al, 2006). Une fois l'énergie de l'eau atténuée, un dépôt de cette partie détaché du sol se produit dans les terrains plus bas/aval du bassin.

#### 3.1. Le Détachement :

La première étape de l'érosion hydrique est le détachement qu'il se fait par les précipitations et le ruissellement superficiels des eaux de pluie.

##### 3.1.1 - Impact de gouttes de pluies sur le sol :

Le sol subit des impacts importants causés par les gouttes de pluie. Lorsque le sol est meuble/pulvérulent avec une porosité élevée, il est plus facile pour la première goutte d'eau de pénétrer dans le sol. La première étape est suivie du déplacement des particules et d'un tassement du sol, (Roose, 1973 et Poesen, 1988). Lorsque la couche de surface devient humide, trois processus se développent ensemble, (Fig. I. 2, Fig I.3) :

- ✓ la dégradation de la structure
- ✓ la formation d'une pellicule de battance
- ✓ l'érosion par splash ou érosion par rejaillissement.

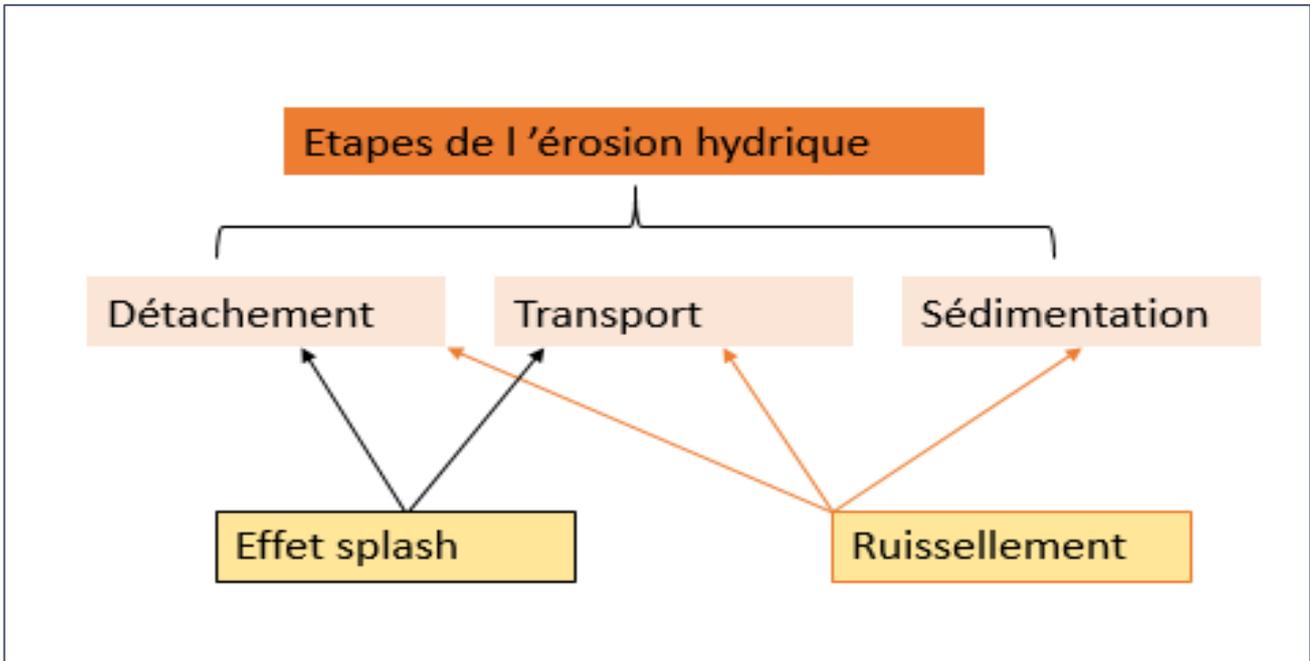


Figure I.2 : les principales étapes du phénomène de l'érosion hydrique

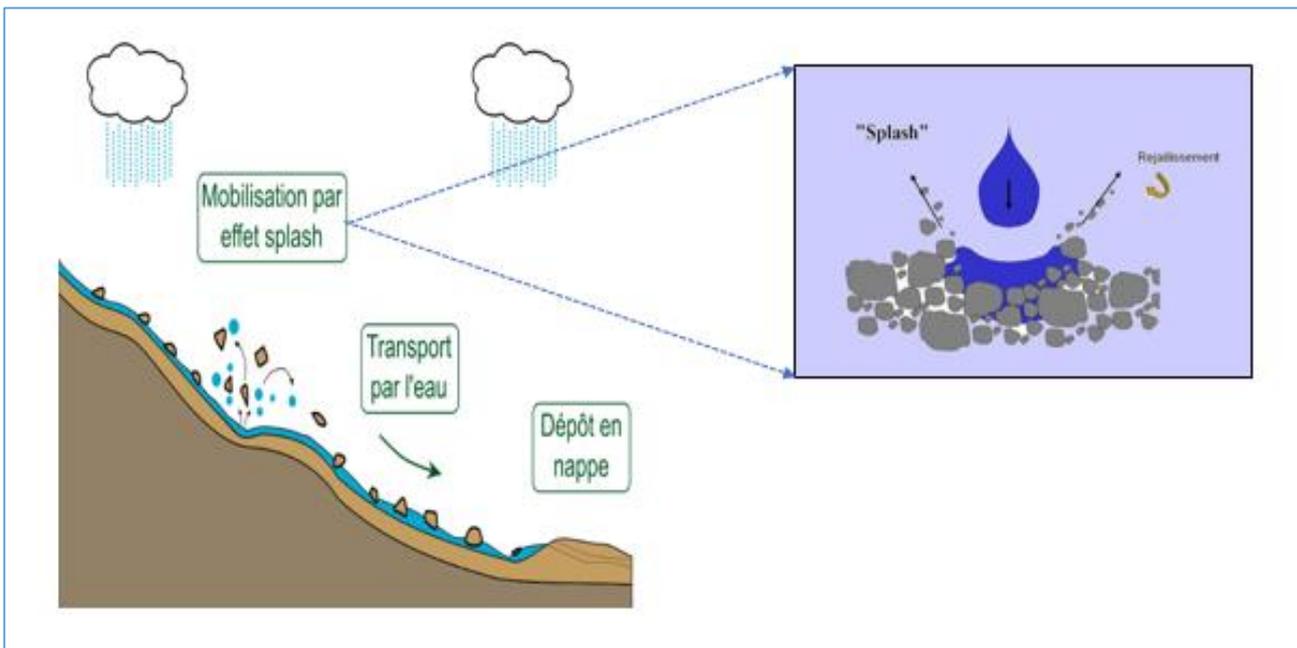


Figure I.3 : l'effet Splash

### 3.1.2. Ruissellement :

- Le rôle des agents hydrologiques tel que le ruissellement dans le processus de l'érosion hydrique est aussi important que le rôle des agents climatiques, à savoir les précipitations (Fig. I.4) (Hanich et al, 2006, Lawani-A.-Mounirou, 2012). En fonction de la nature du sol, de la pente et de la rugosité superficielle, l'un ou l'autre de ces effets est prédominant. Il est généralement admis que la vitesse de l'eau est le paramètre principal de l'érosion par ruissellement superficiel.

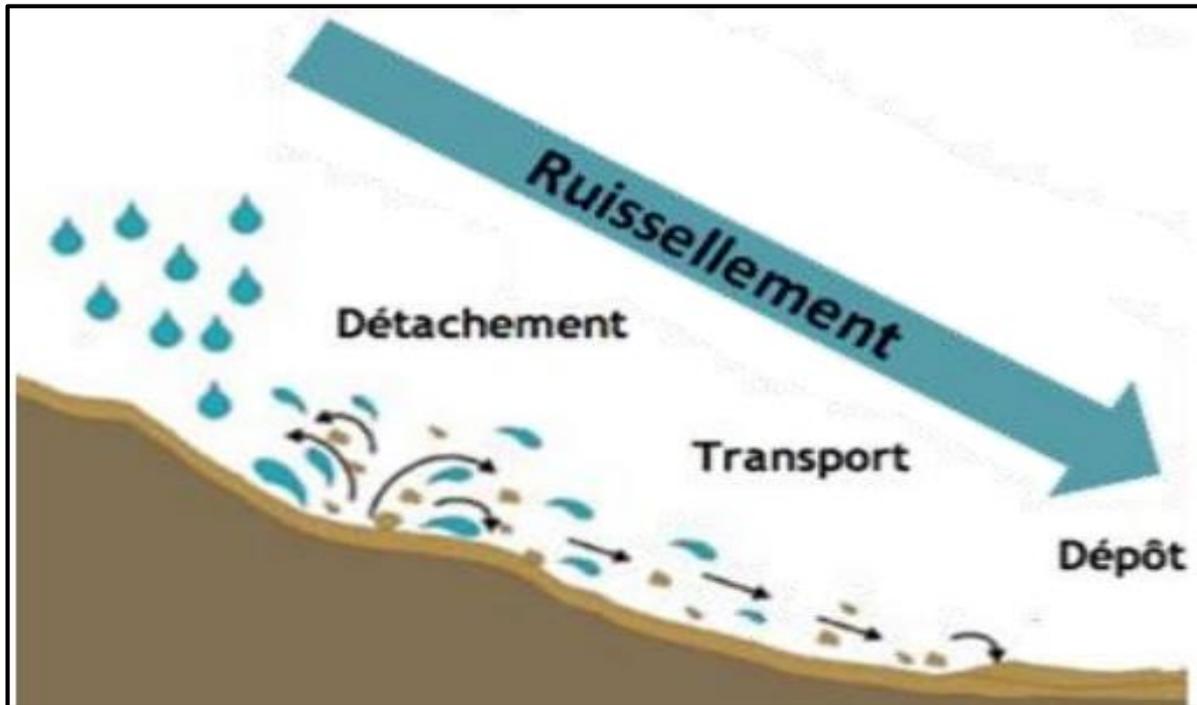


Figure I.4 : érosion par ruissellement

### 3.2. Le transport :

Le transport solide est principalement dû aux gouttes de pluie, (par rejaillissement= effet splash) et à l'eau de ruissellement. Par conséquent, ces eaux assurent le transport, (le transport par effet splash est généralement négligeable sauf sur pente forte), et par conséquent, le ruissellement est le responsable du déplacement des sols détachés. Ce qui réduisant la durée de vie des barrages (Demmak, 1982).

### 3.3. La sédimentation :

La sédimentation se produit une fois le facteur responsable de transport, (l'eau de ruissellement), perd de son énergie.

Les particules détachées du sol se déposent entre l'origine et l'aval en fonction de :

1. Leur taille
2. Leur densité
3. La capacité de transport des eaux de ruissellement ou du cours d'eau.

### 4. Les formes d'érosion :

Selon le ruissellement, on a deux grands types d'érosion hydrique :

- L'érosion concentrée : ou la vitesse du ruissellement est élevée, (rigoles, ravines)
- L'érosion diffuse : lorsque la lame d'eau ruisselée est mince avec une vitesse d'écoulement très faible.

#### 4.1. L'érosion en nappe :

L'érosion en nappe, (Fig.I.6), est associée à deux mécanismes :

- Le détachement des particules de sol sous l'influence des gouttes de pluie, (effet d'éclaboussures ou effets splash).
- Le ruissellement, lorsque l'intensité est supérieure au taux d'infiltration.

Cette forme est caractéristique des pics du bassin versant. L'érosion en nappe a le plus grand effet érosif au sommet d'une pente ou en aval d'un obstacle, (Roose, 1973 et Poesen, 1988).

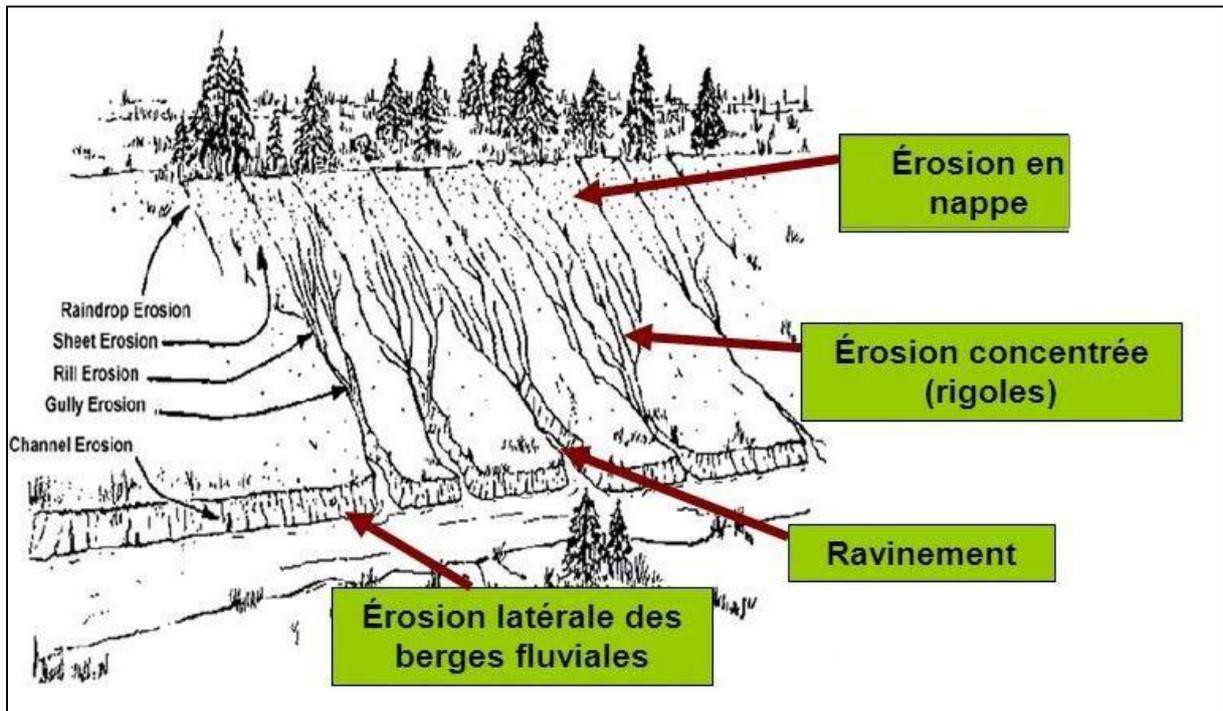


Figure .I. 6 : les formes de l'érosion hydrique

#### 4.2. L'érosion en rigoles :

Sur un bassin versant, l'érosion en rigole succède à l'érosion en nappe par concentration du ruissellement dans les creux. A ce stade, les rigoles ne convergent pas mais forment des ruisselets parallèles. Les micro-réseaux ou les rigoles sont des dépressions suffisamment petites pour être éliminées par le travail cultural.

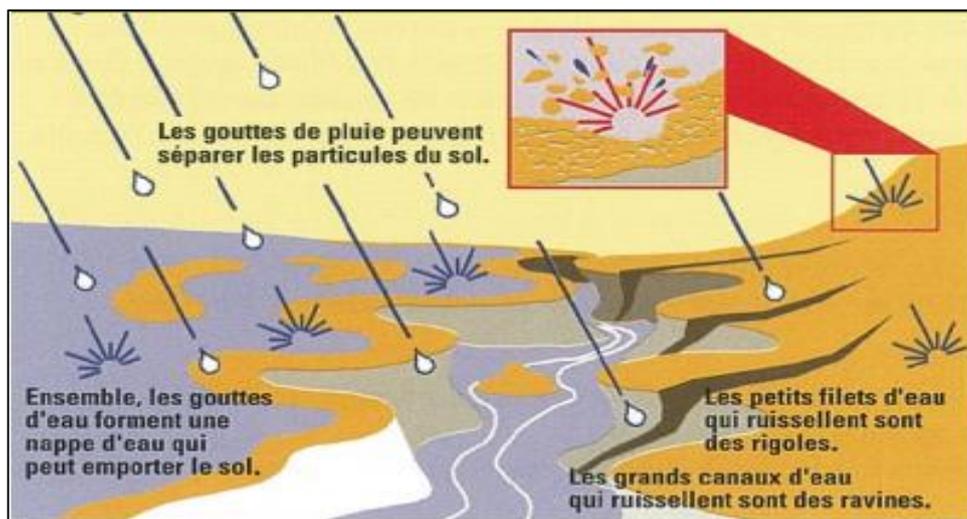


Figure I.7 : perte de sol et de la qualité du sol  
en raison de l'érosion

#### **4.3. L'érosion par ravinement :**

Le ravinement constitue une phase avancée du processus de l'érosion. Lorsque la profondeur de la rigole ne peut être nivelée avec de simples outils agricoles, elle devient une ravine. Ce dernier est une rigole profonde où le débit d'eau se concentre. Elle pourrait atteindre des tailles importantes, (Fig. I.6).

#### **4.4. L'érosion en masse :**

L'érosion de masse implique la partie du sol à l'intérieur de sa couverture du sol, selon des formes de déplacement non définies à grande échelle, comme les mouvements de masse, les glissements de terrain et les coulées de boue, (Neboit, 1991).

#### **4.5 L'érosion hydrographique :**

Cette forme d'érosion hydrique est due à la dissipation de l'énergie de l'eau dans le lit des cours d'eau et des rivières, Qui est capable, d'enlever une partie des berges lors des inondations.

Ce type d'érosion est intimement lié à la vitesse et au volume de l'eau, (le débit et la pente).

### **5. les facteurs prédictifs de l'érosion hydrique :**

Les facteurs responsables du phénomène de l'érosion hydrique contrôlent les paramètres, les données et les informations utilisées pour caractériser le processus étudié (Wischmeier et Smith, 1978 ; King et Le Bissonnais, 1992), tel que l'influence du climat, la pente, la végétation ...etc.

En des termes simples, l'érosion hydrique est le résultat de l'interaction des facteurs suivants :

#### **5.1. Les facteurs climatiques :**

Le climat est l'initiateur de l'énergie érosive, les précipitations et le ruissellement superficiel en pente et les fortes rafales de vent sont responsables du détachement et du transport des particules du sol, (Vezena et Bonn, 2006). L'influence de l'eau de pluie sur les processus d'érosion est liée à son rôle dans la séparation et de détachement des particules du sol, notamment dans la formation du ruissellement. Cette agressivité dépend principalement de l'intensité et du volume des précipitations. L'intensité des précipitations est le rapport de la hauteur d'eau à la durée (exprimée en mm/heure ou mm/minute).

### **5.1.1. Les précipitations :**

Les paramètres pluviométriques liés à l'érosion sont :

- L'intensité comme facteur principal de l'érosion. Plus l'intensité est grande, plus l'effet de battage du sol est prononcé
- La hauteur des précipitations est peu liée à l'importance de l'érosion.
- L'évaporation peut jouer sur le degré de dessiccation des fragments de surface et modifier la stabilité structurale et le profil hydrique des couches superficielles, et modifier ainsi l'infiltrabilité.

### **5.1.2. Le ruissellement :**

- L'eau de ruissellement exerce sur le sol une force de cisaillement qui détache les particules des sols puis les transporte et les dépose selon la vitesse du courant et les dimensions des particules, (Hanich et al, 2006).

. Dans le cas d'un ruissellement diffus, l'érosion se produit en nappes. L'érosion en rigoles se produit lorsque le ruissellement se concentre et acquiert suffisamment de force d'arrachement pour déplacer toutes les particules.

### **5.2. La régression du couvert végétal :**

L'absence du couvert végétal expose le sol à l'action directe des précipitations. Les arbres forestiers ou les plantes protègent le sol de l'érosion hydrique. Par conséquent, la couverture végétale est un facteur important de protection des sols contre l'érosion hydrique de différentes manières, telles que :

- ✓ L'interception des gouttes de pluie dissipe l'énergie cinétique, réduisant considérablement l'effet "splash".
- ✓ Les plantes ralentissent le ruissellement des eaux par la rugosité qu'elles donnent au sol.
- ✓ Son système racinaire maintient le sol en place et favorise la pénétration.
- ✓ La contribution de M.O à l'activité microbienne dans la zone racinaire améliore la structure du sol et sa cohésion, réduisant ainsi le risque d'érosion.

### 5.3. Les activités humaines :

L'homme est un facteur essentiel conditionnant l'intensité de l'érosion, (Wachal, 2007). Il influe de différentes manières.

- **Les techniques culturales** : Soit par l'occupation du sol ou bien l'état de la surface.
- **Le pâturage** : Les espaces pastoraux se rétrécissent à cause du surpâturage. En conséquence, la perte de la couverture végétale laisse de vastes zones du sol sans protection, par conséquent plus vulnérables à l'érosion hydrique provenant des eaux pluviales et de ruissellement.

- **L'exploitation minière** :

Les exploitations à ciel ouvert impliquent l'enlèvement des sols superficiels, des roches et des autres couches recouvrant le gisement ou les dépôts du minerai ou du combustible. Les opérations minières à grand échelle coupent les réseaux de drainage, ce que modifier le ruissellement et l'érosion des bassins versants.

- **L'urbanisation** :

Les taux d'érosion dans les zones urbanisées sont généralement plus élevés que dans les zones rurales (Becker et Mulhem 1975). La plupart des sédiments sont générés pendant l'étape de construction ; en particulier lors de l'enlèvement temporaire de la végétation et de la couverture du sol. Les travaux de construction peuvent augmenter l'érodabilité et réduire la stabilité des pentes. Le réseau de drainage sera rempli par les sédiments provenant des zones de développement urbain et le débit sera réduit.

### 5.4. La morphologie du terrain :

Les paramètres topographiques sont fondamentaux pour expliquer l'importance des phénomènes érosifs.

- ✓ **La déclivité de la pente** :

L'érosion augmente avec la pente, de plus la perméabilité du sol est un facteur décisif ; en effet si le sol est absolument imperméable, alors le ruissellement sera total.

- ✓ **La longueur de la pente** :

En principe, plus la pente est longue, plus l'accumulation du ruissellement est importante plus l'érosion est intense.

✓ *La forme de la pente :*

Une pente donnée tend à devenir de plus en plus concave au fur et à mesure que les produits détachés en haut s'accumulent en bas. Ce changement est parfois perceptible et provoque parfois une diminution du taux de l'érosion avec le temps. Par conséquent, à moins que l'eau ne soit pas dispersée, les ruptures de pente concaves favorisent le dépôt, tandis que les ruptures de pente convexes entraînent une vitesse d'écoulement accrue et une contrainte de cisaillement accrue sur le sol.

### 5.5. Le sol :

Les propriétés du sol telles que la texture, la minéralogie, la stabilité structurale et la matière organique contenue contribuent également à l'entraînement des particules du sol influant sur l'intensité de l'érosion. Le critère le plus important pour évaluer la résistance à l'érosion des sols est la stabilité structurale, c'est-à-dire la capacité du sol à résister à la dégradation par l'eau.

La stabilité structurale est affectée par plusieurs caractères de sol, principalement la texture, la minéralogie des argiles, la teneur en élément fin, la teneur en matière organique et l'état et l'histoire hydrique.

✓ *La composition granulométrique :*

La composition granulométrique a une influence principale sur l'érosion ou la susceptibilité à l'érosion, par exemple les sols limoneux apparaissent plus instables par rapport aux sols argileux (Kheyrahi et Monnier 1995).

✓ *La nature minéralogique des constituants :*

En raison des propriétés de gonflement des minéraux argileux, la stabilité des agrégats peut varier considérablement en fonction des propriétés de ces minéraux argileux.

✓ *La stabilité structurale des sols :*

La prédisposition d'un sol à l'incision est la cause principale de la perte de cohésion des grains du sol, ce qui entraîne à la détérioration de la stabilité structurale. Les résultats des mesures de stabilité structurale sont souvent corrélés avec des estimations à plus grande échelle de l'érodabilité des sols (Bryan, 1969 ; Barthès et Roose, 2002 ; De Noni et al. 2002). Par conséquent, la stabilité structurale peut être un indicateur pertinent de la sensibilité du sol à l'érosion. Si l'action de l'eau de pluie à la surface du sol perturbe les agrégats selon les mécanismes précédemment décrits, et si la texture et la composition physico-chimique du sol

s'y prêtent, la structure initiale du sol peut être complètement perturbée et le sol en surface passe d'un état meuble et poreux à un état compact. La couche de surface se sépare du reste du profil et forme une croûte de battance, ce qui réduit la perméabilité du sol et participe à la formation du ruissellement, (Schoeller 1986).

✓ *Les matières organiques :*

Elles favorisent l'agrégation entre les particules des sols, ce qui affecte positivement la stabilité structurale. Ils agissent principalement en modifiant la cohésion et la mouillabilité du sol. La matière organique agit sur les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol. Cet effet dépend non seulement de sa quantité, mais aussi de sa qualité.

✓ *L'état et l'histoire hydrique :*

La stabilité du sol augmente si le sol reste légèrement humide pendant quelques jours, et à l'inverse, il diminue à mesure qu'il approche de la saturation. Le débit d'infiltration qui régule le ruissellement dépend des conditions de surface et du système de porosité, et est affecté par l'état de compacité, la fissuration et l'activité biologique.

## **6. Les dégâts causés par l'érosion hydrique :**

L'érosion hydrique engendre deux grands groupes de dégâts : Les dégâts en zones érodées et les dégâts en zones de dépôts.

### **6.1. Les dégâts en zones érodées :**

#### **6.1.1. Dégradation du bilan hydrique :**

Il s'agit de l'effet le plus important. Une culture pluviale soumise à l'érosion voit son déficit hydrique s'accroître suite à :

La réduction de la pluie est efficace. En effet, une grande partie de l'eau de pluie est perdue et les plantes ne sont plus utilisées. Elle réduit le volume de sol exploitable pour les racines ainsi que la réserve utile du sol.

#### **6.1.2. Appauvrissement du sol :**

La teneur en humus et en éléments nutritifs du sol est réduite. La capacité de rétention d'eau du sol est aussi diminuée, ce qui entraîne la diminution de la stabilité structurale du sol. Cette pauvreté est liée avec le double effet de décapage des horizons supérieurs.

### 6.2 - Dégâts en zones dépôts :

- **Le transport solide et la sédimentation conduisent à :**

- ✓ L'envasement des canaux d'irrigation, des fossés de drainage et des réservoirs. ,
- ✓ la capacité du lit des rivières diminue,
- ✓ un risque d'inondation de terres voisines,
- ✓ les coûts de traitement de l'eau potable augmentent.

- **Effet sur la production agricole :**

L'érosion hydrique entraîne un décapage de la couche superficielle du sol comme nous avons vu dans les paragraphes précédents.

Ce qui assure deux conséquences :

- ✓ diminution du bilan hydrique :

La pluie est de moins en moins profitable pour les plantes par l'effet de battance qu'elle provoque.

- ✓ sol pauvre en éléments fertilisants :

La portion du sol emportée par l'érosion est généralement plus riche que l'ensemble du sol.

Le sol qui reste sur place se désagrège et devient hostile, voire inculte (absence de vie biologique, hétérogénéité de levée, diminution de production etc.)





Figure. I.8 : dégâts causés par l'érosion

### 7. Les méthodes de quantification de l'érosion hydrique :

Il existe plusieurs méthodes pour estimer et cartographier la susceptibilité des sols à l'érosion hydrique, qui varient selon un ensemble des paramètres tels que l'échelle de la zone d'étude, les objectifs et les moyens (Sabir Mohamed 1986).

La quantification peut être effectuée soit par :

- Mesures directes ;
- évaluations indirectes.

#### 7. 1. Les mesures directes :

7. 1. 1 *Mesures topographiques* : Basées sur le suivi de l'évolution de la topographie de surface

- ✓ Mesure par rugosimètre : Les changements de hauteur du sol sont mesurés par rapport à un niveau de référence.

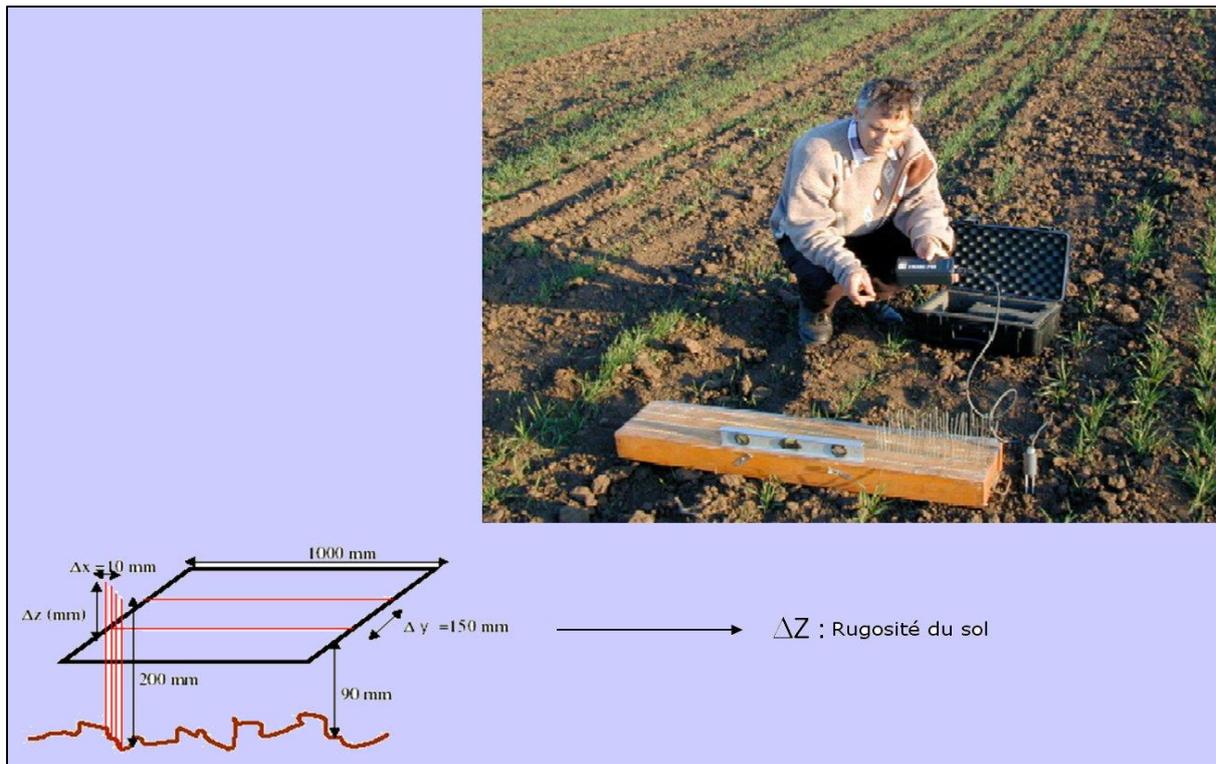


Figure I.9 mesure de la rugosimètre de sol

### 7.1.2. Simulation de pluie :

Le but est de déterminer certaines propriétés hydrodynamiques du sol à petite échelle et sous diverses conditions pluviométriques et pédologiques.

Les avantages de cette méthode :

C'est un appareil mobile ,capable de produire de manière aléatoire des précipitations d'intensité, d'énergie et de hauteur similaires à celles des précipitations naturelles .Il peut simuler des averses de fréquences rares qui font le plus de dégâts et raccourcit le temps d'observation sur place.



Figure I.10 : simulateur de pluie

### ***7.1.3. Mesures par l'étude de la sédimentation dans les retenues :***

L'estimation dépend de deux paramètres : la densité et le volume des sédiments. La densité des sédiments varie avec le temps et l'emplacement dans la retenue. Elle dépend de la granulométrie, la composition minéralogique, l'épaisseur du sédiment, le niveau d'eau et l'âge du sédiment.

### ***7.1.4. Mesures par l'étude du transport solide***

- ✓ ***Transport en solution*** : sa mesure est facile puisque les concentrations en éléments dissoutes sont généralement homogènes dans une section.
- ✓ ***Transport en suspension*** : Peut être évalué sur le terrain ou en laboratoire
- ✓ ***Transport de fond*** : peut être estimé par plusieurs méthodes comme l'installation des pièges à sédiments au fond de la zone active du lit, le creusement de fosses au fond du lit, ou encore par marquage isotopique des sédiments.

## 7.2. Les mesures indirectes :

### 7.2.1. La modélisation :

L'érosion hydrique semble être le résultat d'une interaction complexe de changements temporels et spatiaux. Pour évaluer la susceptibilité ou élaborer des plans d'aménagement pour la conservation des sols, l'utilisation de la modélisation peut servir d'outil d'aide à la décision. Cependant, on rappellera que le but de la modélisation est d'une part de tester notre compréhension des processus de dégradation des sols dus à l'érosion et d'autre part de prédire les risques futurs dans des conditions variables.

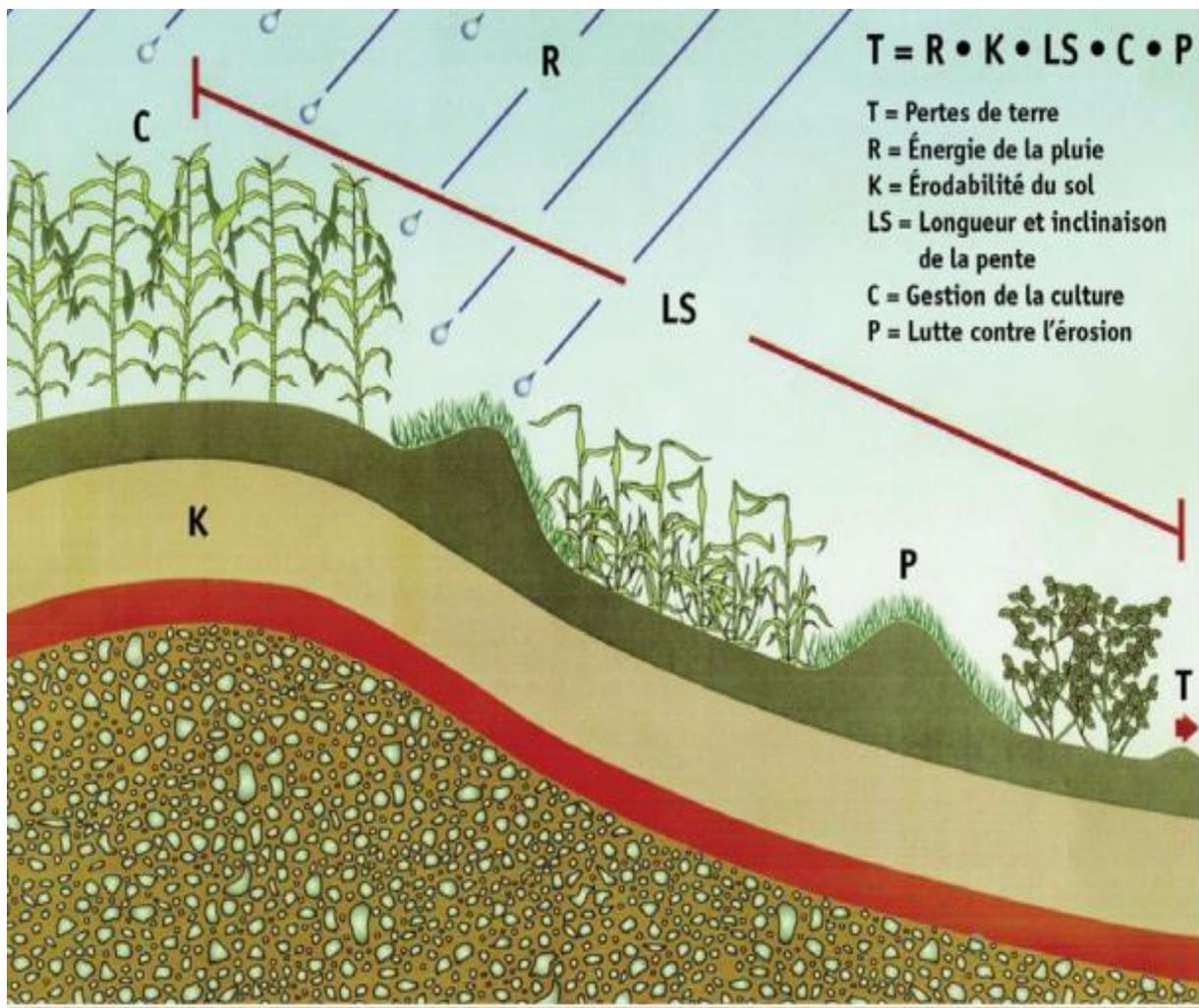


Figure I.11 : les facteurs de l'érosion hydrique qui intervient dans le modèle R-USLE

- ✓ *Les modèles empiriques* : cas de l'équation universelle (USLE), L'universal Soil Loss Equation

- ✓ **Principes**

Depuis 1932 et sous la direction du service de la conservation du sol et du ministère de l'agriculture des États-Unis, de nombreuses expériences ont été menées par divers auteurs. En 1959, Wischmeier a finalement dérivé « l'équation générale de perte de sol » (USLE) due à l'érosion pluviale, (pluies et ruissellement), puis en 1978, il a proposé une équation générale révisée de perte de sol, (RUSLE). Depuis ça, l'équation a été utilisée dans l'agriculture aux États-Unis. Le principe est de comparer l'érosion d'un site quelconque à celle d'une zone de 22 m de long à une pente de 9 % sur jachère nue, c'est-à-dire labourée régulièrement pour qu'il n'y ait pas de végétation et que le sol ne forme pas de croûte.

Ce modèle a été construit par traitement statistique d'un grand nombre de mesures sur des parcelles d'essai sur plus de 20 ans, exprimant la perte de sol comme le produit de différents facteurs selon la formule :

$$A = K * R * L * S * C * P$$

**A** est exprimé dans les mêmes unités que **K**, c'est la **perte de sol** due à l'érosion.

**K** (soil erodability factor) c'est le facteur sol, il caractérise son **érodabilité**, il s'établit par rapport à une parcelle standard, évaluée en tenant compte de nombreux caractères du sol :

- la texture,
- la teneur en matière organique,
- la structure
- la perméabilité du sol
- la teneur en fin

Pour le calculer, on utilise l'équation suivante :

$$K = ((2.1 \times 10^{-4} \times (12 - Mo) \times M^{1.14}) + 3.25 \times (S-2) + 2.5 \times (P-3)) / 100$$

On a :

**K** : érodabilité de sol, (t.ha.h/ha.MJ.mm)

**Mo** : teneur en matière organique en %,

**M** : terme textural,

Ou  $M = (\text{limon} + \text{sable fin}) \% \times (100 - \text{argile} \%)$ ,

**S** : code structural du sol variant entre 1 et 4, (1 = une structure grenue très fine et 4 = une Structure massive ou en bloc),

**P** : code de perméabilité qui est varié entre 1 et 6, (1 = les sols à drainage rapide et 6 = les sols à drainage très lent),

- **R** (rainfall factor), c'est le facteur pluie ou **indice d'érosivité** qui est calculé par l'équation suivante, (Rango & Arnoldus-1987) :

$$\log R = 1,74 \cdot \log \sum \left( \frac{P_i^2}{P} \right) + 1,29$$

**R** : facteur d'érosivité des pluies exprimé, (MJ.mm/ha.h.an)

**P** : les précipitations annuelles en mm

**P<sub>i</sub>** : les précipitations mensuelles

**LS** (Facteur topographique), c'est un facteur sans dimension, Représentant :

- L'inclinaison (S en %)
- La longueur de pente (L en m) ;

Il a été calculé à partir de traitements sous Arc gis du mnt de la zone d'étude en utilisant la formule suivante :

$$LS = 1.6 * \text{pow}([\text{flowacc}] * \text{resolution} / 22.1, 0.6) * \text{pow}(\sin([\text{slope}] * 0.01745) / 0.09, 1.3)$$

**C** (Facteur de la couverture), C'est un Facteur sans dimension qui représente l'influence de la couverture végétale sur l'érosion, il est estimé par L'NDVI (l'indice de végétation normalisé), dérivé de l'imagerie satellitaire.

La relation entre le NDVI et le facteur C a été déterminé par l'équation suivante :

$$C = \exp(-(\alpha \text{ ndvi} / (\beta - \text{ndvi}))) \quad (\text{zhou et al. 2008 ; kouli et al. 2009}).$$

$\alpha, \beta$  : Paramètres déterminant la forme de la courbe de NDVI-C

On a aussi De Jong (1994) qui a déterminé la fonction suivante pour estimer le facteur C à partir de NDVI (De Jong et al. 1998) :

$$C = 0.431 - 0.805 * \text{NDVI}$$

**P** (pratiques anti-érosives) : C'est un facteur sans dimension, il intègre les techniques culturales anti-érosives ; (les cultures en bandes alternées, en courbes de niveau, les reboisements en banquettes, les terrasses, le buttage et le billonage).

Les valeurs de  $p$  sont variées entre 0 et 1 (shin, 1999), ( 0 montre un milieu de résistance très bon à l'érosion hydrique d'origine humaine et la valeur 1 représente l'absence total des pratiques anti-érosive).

Tableau I.1 : valeurs ( $p$ ) (shin 1999)

Pente (%)	P
0.0 – 7.0	0.55
7.0 – 11.3	0.60
11.3 – 17.6	0.80
– 26.8	0.90
> 26.8	1.00

✓ **Critique de l'USLE :**

Selon Auzet (1987), ce modèle présente de nombreuses faiblesses :

- Incapacité à estimer les pertes de sol à court terme, (saison des pluies saisonnières ou ponctuelles) ;
- elle considère les facteurs érosifs comme indépendants, alors qu'il y'a de nombreuses interactions entre eux ;
- Il ne convient qu'à l'érosion en nappe, car la source d'énergie est l'eau de pluie. Cela ne fonctionne jamais avec l'érosion linéaire ou l'érosion de masse.

Un bref examen des différents paramètres USLE montre qu'il est difficile de prédire de manière fiable le risque d'érosion sans mesures sur le terrain.

✓ **MUSLE :**

C'est une version modifiée de l'équation USLE. Le modèle remplace le facteur (R) de précipitation par les facteurs de débit de point instantané et de ruissellement

La perte moyenne du sol due aux inondations est un multiple de la fonction du volume de crue (V en m<sup>3</sup>), du débit de pointe de crue, (Qp en m<sup>3</sup>/s), de l'érosion du sol (K), de la pente indicatrice (S), de la longueur de la pente, (L), de la végétation couverture, (C) et pratiques Culturelles (P).

$$A \text{ (MUSLE)} = 11.8(Q \times q_p)^{0.56} \times K \times LS \times C \times P$$

- A** : taux de l'érosion (ton/he/ans) ;  
**Q** : débit (m<sup>3</sup>/s) ;  
**Q<sub>p</sub>** : débit de pointe de crue (m<sup>3</sup>/s) ;  
**K** : érodabilité du sol ;  
**LS** : longueur et inclinaison de la pente ;  
**C** : couverture végétale ;  
**P** : pratiques Culturelles.

✓ **RUSLE :**

Le modèle d'équation universelle révisée de la perte de sol (RUSLE) n'est qu'une des nombreuses modifications apportées à l'USLE, en particulier pour les scénarios d'érosion plus complexes d'érosion en rigoles et entre rigoles dans la planification de la conservation de l'utilisation des terres. Ce modèle s'écrit de la même manière que l'USLE :

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

### 7.2.2. La télédétection et le système d'information géographique :

Aujourd'hui, les technologies de cartographie numérique sont de plus en plus utilisées, allant des traitements d'images satellitaires jusqu'aux systèmes d'information géographique (SIG) en se fondant sur l'équation USLE. D'une part, ils peuvent quantifier les pertes de sol annuelles et, d'autre part, identifier et cartographier les surfaces de sol qui nécessitent une intervention prioritaire pour préserver le patrimoine des sols afin de minimiser les apports solides dans les barrages, (Hyeon Sik Kim, 2006).

✓ ***L'utilisation de l'imagerie satellitaire :***

L'importance des études à grandes échelle, (plusieurs kilomètres) et les problématiques environnementales comme l'érosion hydrique ont stimulé l'utilisation de la télédétection dans les recherches des ressources naturelles et de l'environnement.

Le risque d'érosion peut être cartographié à grande échelle, (parcelle, petit bassin versant élémentaire), mais aussi sur des surfaces jusqu'à plusieurs milliers de Km<sup>2</sup>, à l'aide de

Modèles spatiaux, basés sur la connaissance expérimentale de l'état de surface et de son comportement au ruissellement et à l'érosion,( Sabir ,1986).

✓ *L'intérêt du système d'information géographique (SIG) :*

L'estimation et la lutte contre l'érosion hydrique nécessite aujourd'hui l'utilisation de méthodes et de moyens efficaces de gestion de l'information géographique. C'est ainsi que le SIG est utilisé pour fournir une cartographie de l'étendue spatiale des phénomènes d'érosion.

Dans ce dernier, les paramètres des modèles d'érosion RUSLE peuvent être intégrés, permettant une modélisation spatiale de l'érosion des sols et de la production de sédiments.

**7.2.3. Utilisation des radio-isotopes : le césium-137 :**

Le  $^{137}\text{Cs}$  s'adsorbe très fortement sur les particules de sol et constitue ainsi un traceur de leur mouvement. En comparant les quantités de  $^{137}\text{Cs}$  contenues dans les sols supposés stables par rapport aux sols érodés ou accumulés, et en utilisant des modèles empiriques, il est possible d'estimer la quantité de particules érodées ou accumulées au cours des 40 dernières années.

Par rapport à la surveillance ou aux expérimentations de terrain, l'apport principal de cette technique est que, dans le cas du  $^{137}\text{Cs}$ , l'érosion est estimée non pas à un instant donné, mais sur une période de temps sur les 40 dernières années. Compte tenu de son intérêt et de sa précision, cette méthode est de plus en plus utilisée. Sachez également que cela coûte très cher

**8. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons discuté des principaux concepts de l'érosion hydrique, des facteurs qui conduisent à des dommages par ce mécanisme, et des méthodes d'estimation et de cartographie de la susceptibilité des sols à l'érosion hydrique. L'utilisation d'une ou plusieurs autres méthodes dépend des objectifs scientifiques, des échelles spatiales et temporelles, des moyens techniques et financiers. Les différentes approches étudiées, chacune avec ses domaines d'application et ses limites, apparaissent complémentaires. L'un d'entre eux et/ou leurs couplages doivent être choisis en fonction de la problématique et des objectifs de recherche.

**CHAPITRE II**  
**PRESENTATION DE LA ZONE**  
**D'ETUDE**

### 1. Introduction :

L'érosion hydrique est un problème très complexe dans les bassins versants du NE Algérien a cause de leur fragilité, sensibilité du milieu (climat semi-aride, formation tendre généralement, pente très importante...ect).

Ce chapitre sert à identifier la zone d'étude du point de vue géographique, géologique, socio-économique, morphologique et structurel, plus une étude minéralogique, et chimique à l'aide des essais de laboratoire (DRX, FRX). Ces éléments considérés comme les facteurs déterminant pour apprécier la vulnérabilité au risque associé à l'aléa étudié, et donc un risque spécifique verso phénomène.

### 2. La situation géographique :

La zone d'étude est à l'extrême Nord-Est non loin de la frontière Algéro-tunisiennes. Elle se situent entre les coordonnées suivants :

Longitude : 7°11' 48" E et 08° 20 ' 12"E

Latitude : 35° 09' 35" N et 35° 48' 06N

Le bassin versant Mellégue a une superficie d'environ 7841 km<sup>2</sup>, subdivisé en cinq sous-bassins versants (Meskiana, Chabro, Mellegue Amont au centre, Mellegue aval, Medjerda au Nord). Il est délimité par le côtier constantinois Est au Nord, par le bassin Seybouse, des hauts plateaux Constantinois à l'Ouest et par le bassin du Chot Melrhir au Sud, à l'Est, la zone est limitée par la frontière Tunisienne (Mebarki, 2005).

De point de vue administratif la zone d'étude est limitée par la wilaya de Souk Ahras au Nord, au Sud Par la wilaya d'El Oued, à l'Est on a les frontières Algéro- Tunisienne et par les wilayas d'Oum El Bouaghi et Khenchela à l'Ouest.

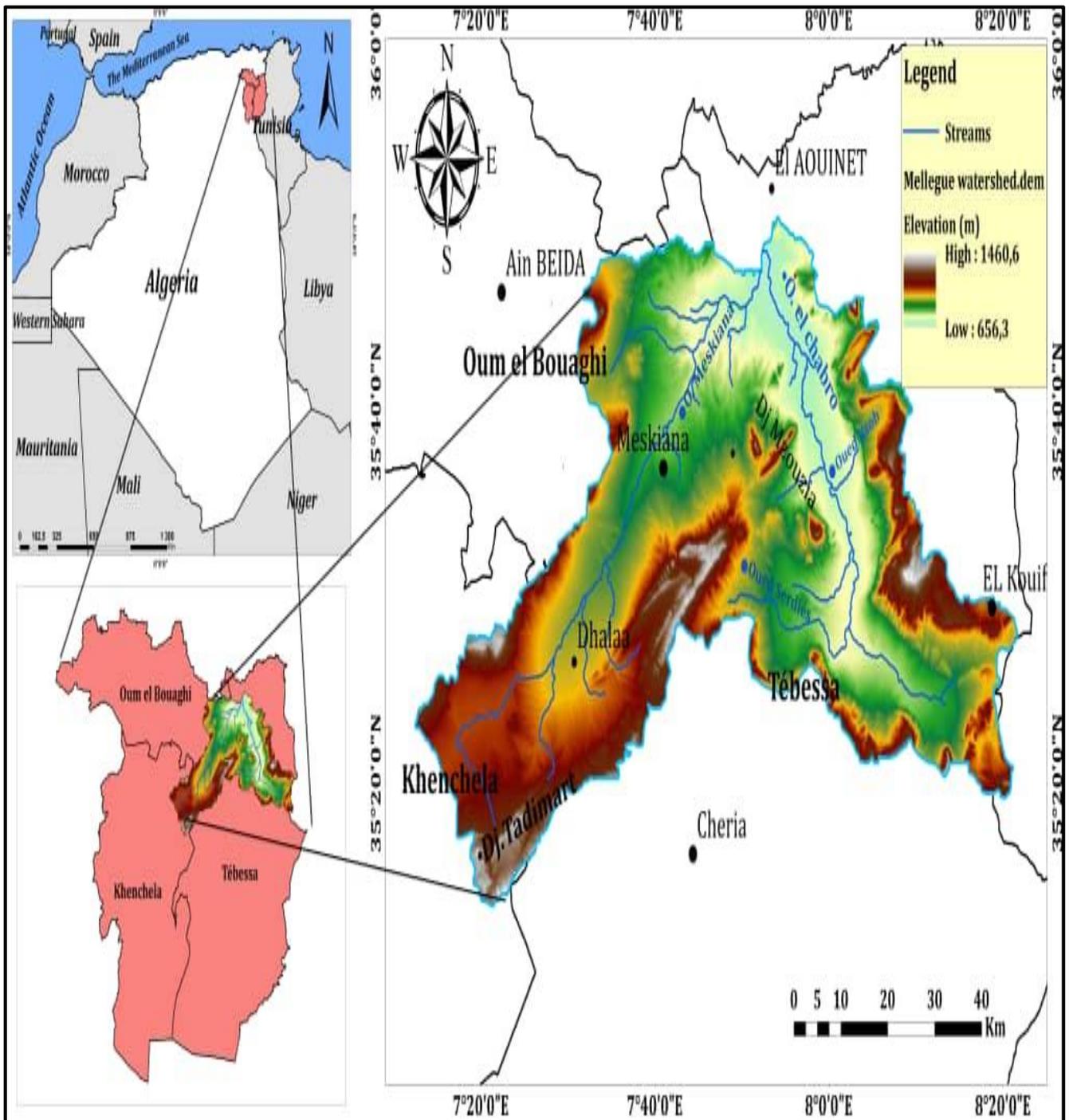


Figure II.1 : Situation géographique de la zone d'étude.

## 2. Description générale de la zone d'étude :

L'étude de cette partie commence par une description hydrographique, on note que l'Oued Mellègue est issu de la confluence de deux oueds :

- L'Oued Mellègue Amont (SW-NE),
- l'Oued Mellègue Aval issu de la confluence de l'Oued Kseub, Oued Horiher, Oued El Baiad, Oued El Harcha, la jonction de l'Oued Meskiana et de l'Oued Chabro. La (Fig II.2) a donné naissance à l'Oued Mellègue en amont, (Fehdi et al. 2008)

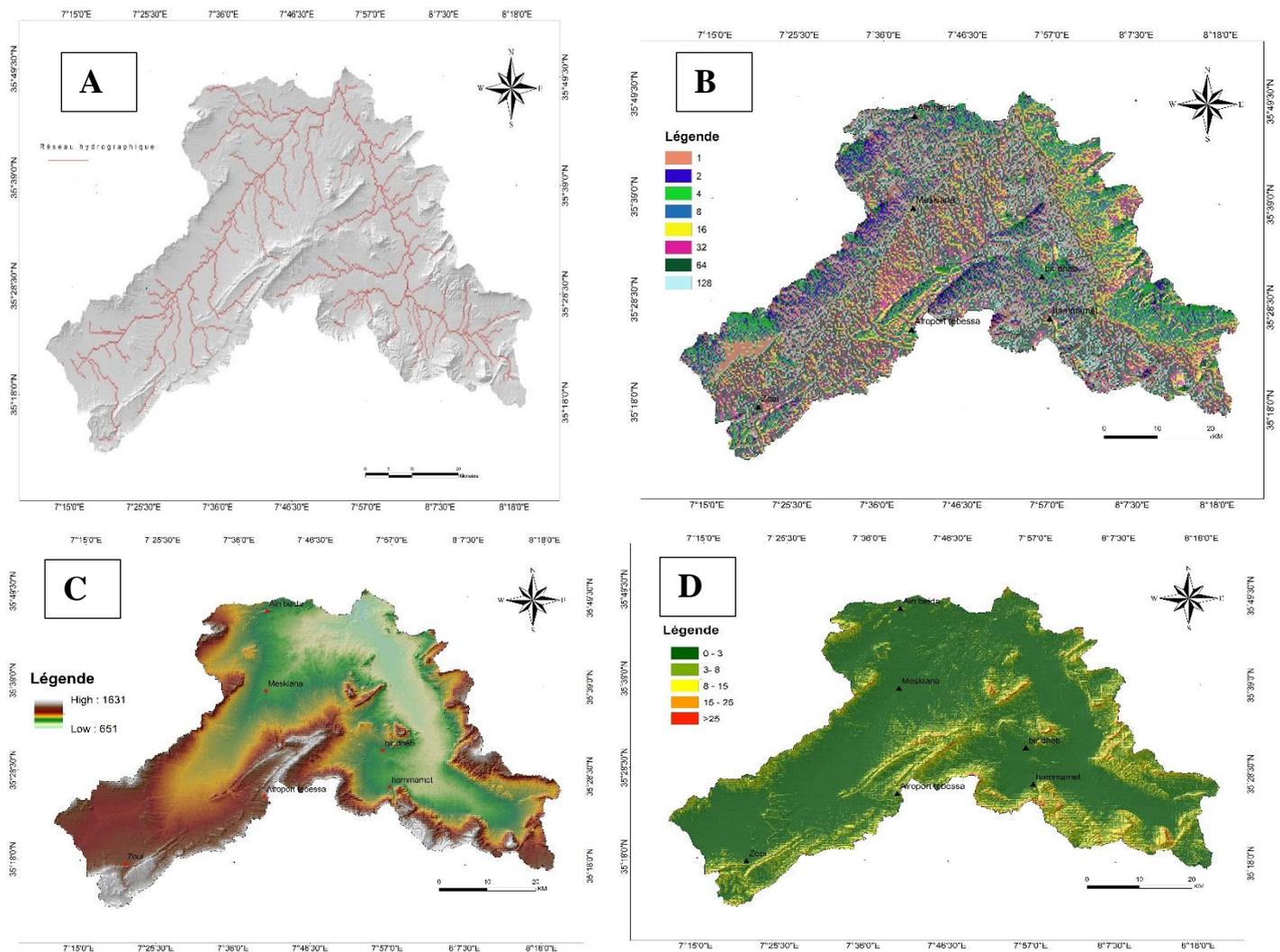


Fig II.2 : (A) réseau hydrographique, (B) direction du flux, (C) MNT, (D) la pente de la zone d'étude

La géologie du bassin versant Mellègue a été étudiée en se basant sur les cartes géologiques de : Betier *et al.* (1951), qui ont réalisé la carte géologique de l'Algérie au 1/500.000.00, Vila (1977) qui a réalisé la carte de Dalâa, la carte de F'Kirina, la carte d'Ain-Beida au 1/50000, Kuscer *et al.* (1985), qui ont réalisé la carte de Meskiana au 1/50000 et Dozet (1985), qui a réalisé la carte d'El-Aouinet au 1/50000. La zone Nord-Est qui fait partie de l'esquisse d'El-Hammamet cartographiée par Kowalski (2002), et plus récemment la carte 205 de Youkous les bains réalisés par Tamani et Hadji en 2019. Et plus largement la partie orientale de l'Atlas saharien a été traitée par Dubourdiou (1956), Thierberoz et Madre (1976), Chikhi (1982), et Belhacène-Nedjari (1984).

La plupart des massifs de l'Atlas saharien s'élèvent au sud d'une zone subsidente, (la zone des Sellaoua) et constituent la zone néritique décrite par Rouvier et al (1985). Les principaux massifs faisant partie des Monts de Mellègue sont ceux de :

L'Ouenza, Mesloula, Essouabaa, Boujaber, et l'Hameimet ...etc.

Le climat est continental avec des étés chauds et secs et des hivers froids et humides. La température moyenne annuelle oscille d'un minimum absolu de  $-5^{\circ}\text{C}$  à un maximum de  $45^{\circ}\text{C}$ . Les précipitations moyennes de l'année varient de 300 à 450 mm, et sont enregistrées surtout en hiver et en printemps.

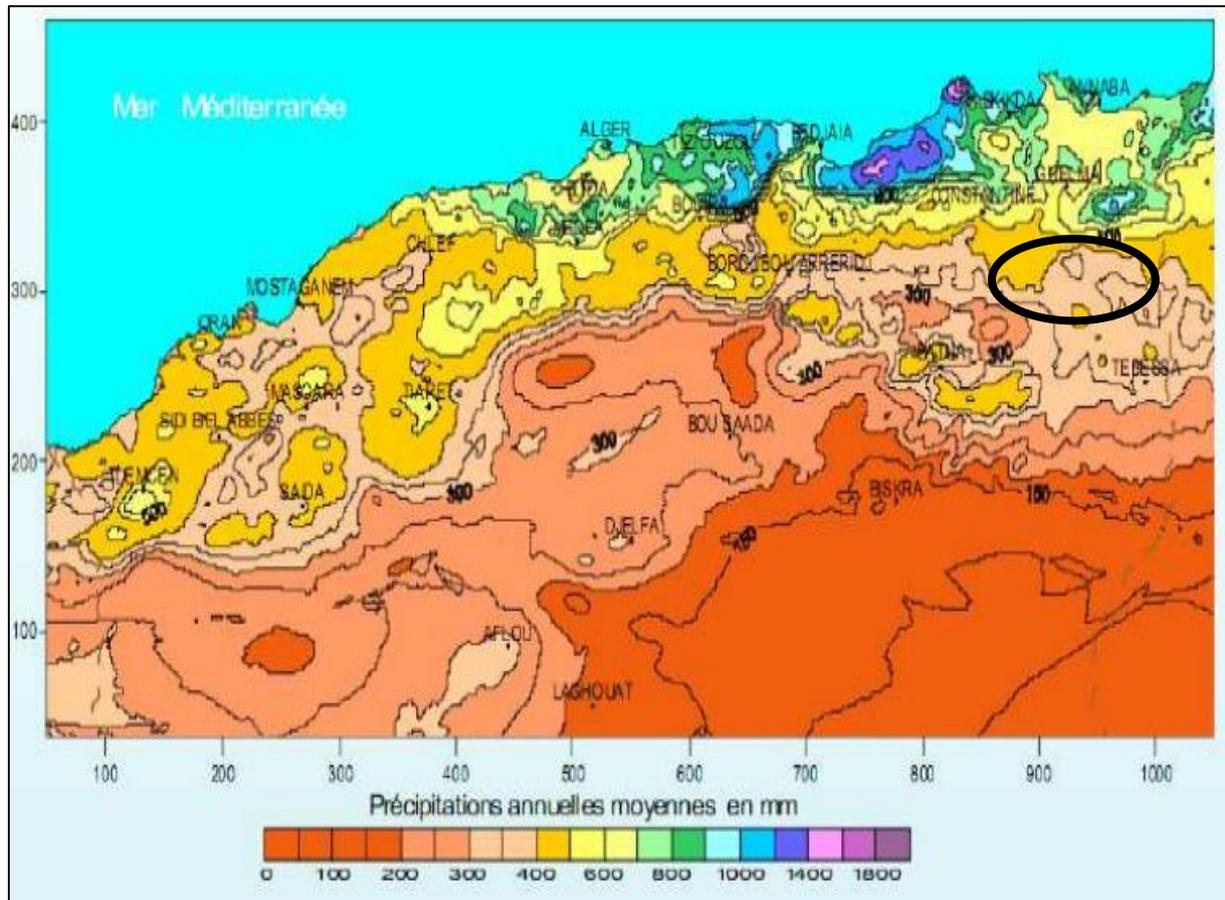


Figure II.3 Précipitations moyenne annuelle, (Mebarki & Laborde, 2012)

La topographie de la zone est caractérisée par de nombreuses dépressions, les chotts, deviennent des lacs salés après la saison pluviométrique. La végétation est très pauvre et clairsemée (d'herbe, l'alfa...etc). Il y a des pinèdes isolées ainsi que les plantations de figuiers, cactus fructifères, palmiers isolés, chêne-liège et genévriers sur les pentes de montagnes aux environs des agglomérations.

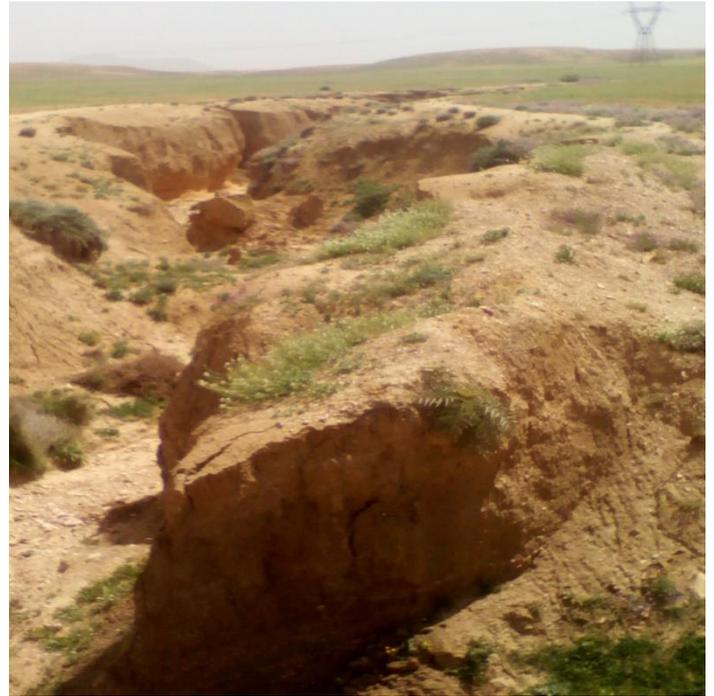


Figure II.4 : Photos de la zone d'étude

Le règne animal est également stérile et nous rencontrons rarement des sangliers, des lièvres, des renards et des chacals. Les serpents, les scorpions et les rongeurs sont plus courants.

La région est traversée par un chemin de fer à voie unique dans une direction principale vers Annaba. En dehors des grandes voies routières nationales reliant les grandes localités, un réseau assez développé de pistes assure la liaison entre les petites agglomérations et les fermes. Elles restent difficilement utilisables en périodes de pluie.

La population est concentrée dans les grandes villes. L'activité primordiale est l'agriculture et le commerce.

L'orographie du bassin présente trois ensembles :

- Les zones de plaine : qu'est la partie principale, elle s'étend au Nord et à l'Est des piémonts entre (600-1000m) d'altitude.
- Les zones de piémonts : qui correspondent à des zones de transition entre les montagnes et les plaines à des altitudes moyennes qui varient entre (1000-1400m). Composés par un ensemble des glacis d'ablation couverts sous formes de lanières résiduels, le plus souvent scellés par une croûte calcaire
- Les zones de montagnes : Le secteur montagneux, (plus de 1400m) orienté sensiblement vers le NE-SO comprend les unités suivantes : Mont de Zoui, Mont d'Ouenza Dj Doukhane, Dj Dyr, Dj Metloug, Dj Ragouba, Dj Boubakouch...etc. La continuité spatiale de ces reliefs agit comme une barrière entre le milieu semi-aride au nord et l'influence franchement saharienne au sud.

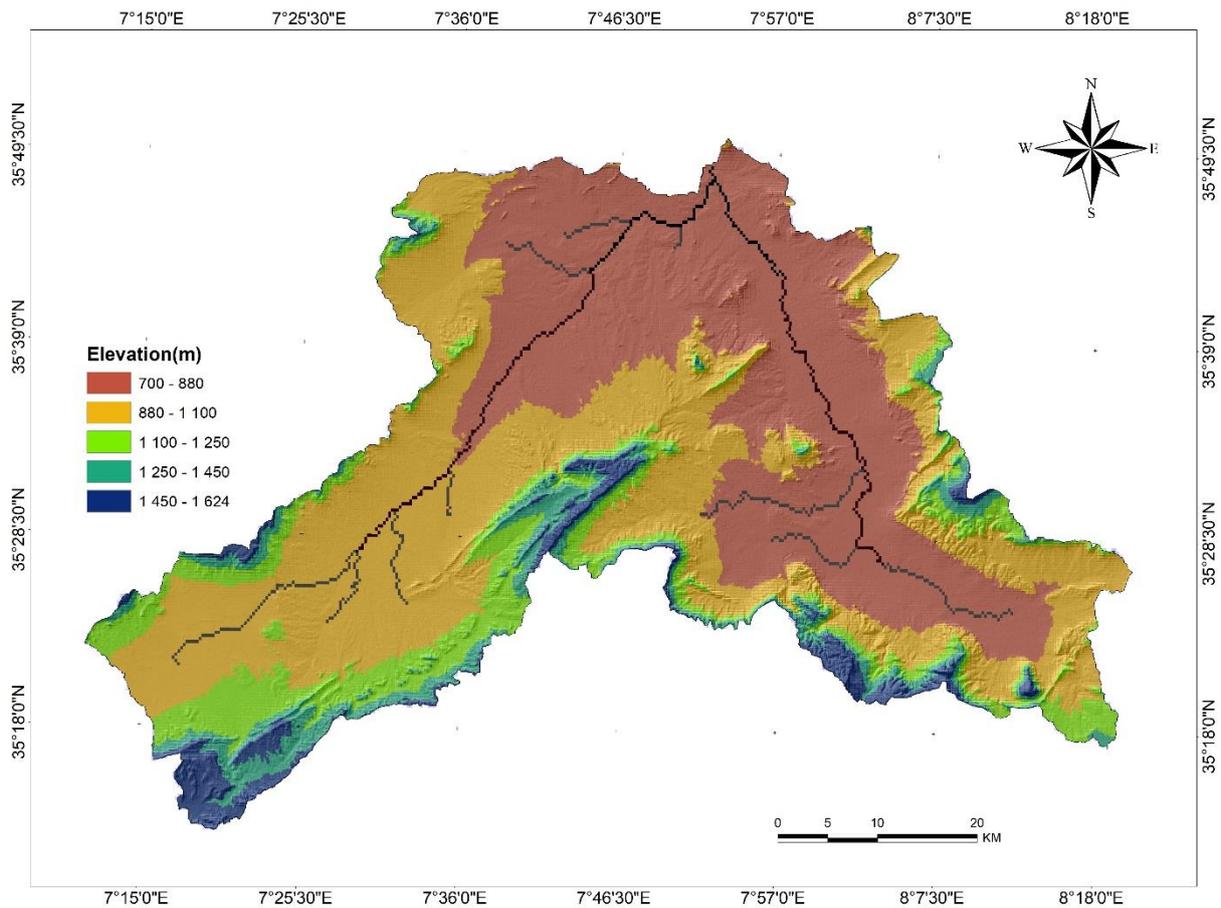


Figure II.5 : carte hypsométrique de la zone d'étude

#### 4. Contexte climatique :

L'Algérie est caractérisée par un climat tropical tempéré caractérisé par une sécheresse estivale prolongée, (3 à 4 mois dans les zones côtières, 5 à 6 mois dans les zones de plateaux, et plus de 6 mois dans les zones de plateaux de l'Atlas saharien). Cette caractéristique est principalement due à l'influence de trois paramètres combinés : le niveau de la mer, la topographie et l'altitude

L'ensemble des facteurs climatiques peut expliquer quantitativement l'intensité et la diversité dans le temps et dans l'espace des composantes du régime hydrologique, ainsi que leur interaction avec les conditions physico-géographiques de l'écoulement.

On distingue :

- ✓ Climat humide : c'est la zone côtière associées au bassin des Côtiers Constantinois en particulier l'Ouest (de Bejaia jusqu'à Skikda) et la wilaya de Tarf .
- ✓ Climat Subhumide : Ce climat caractéristique de la chaîne intérieure de l'Atlas Tellien, et les plaines de Gerbez et Annaba et les piémonts de Ain-Berda.
- ✓ Climat Semi-aride : Ou appartient notre zone d'étude, Cet étage bioclimatique couvre les hauts-plateaux surtout les hautes plaines de Chelghoum-Laid, Ain-Beida, El-Madher, Chemora , Bir-El Ater et Oum-El-Bouaghi .
- ✓ Climat Aride : qui caractérise les Hauts Plateaux Constantinois (plaines de Batna, les hautes plaines de Sétif et celles de Khenchela), le Sud du sous bassin 1003 du Kebir-Rhumel et .une partie de la Medjerda, (les hautes plaines de Sedrata –Taoura)

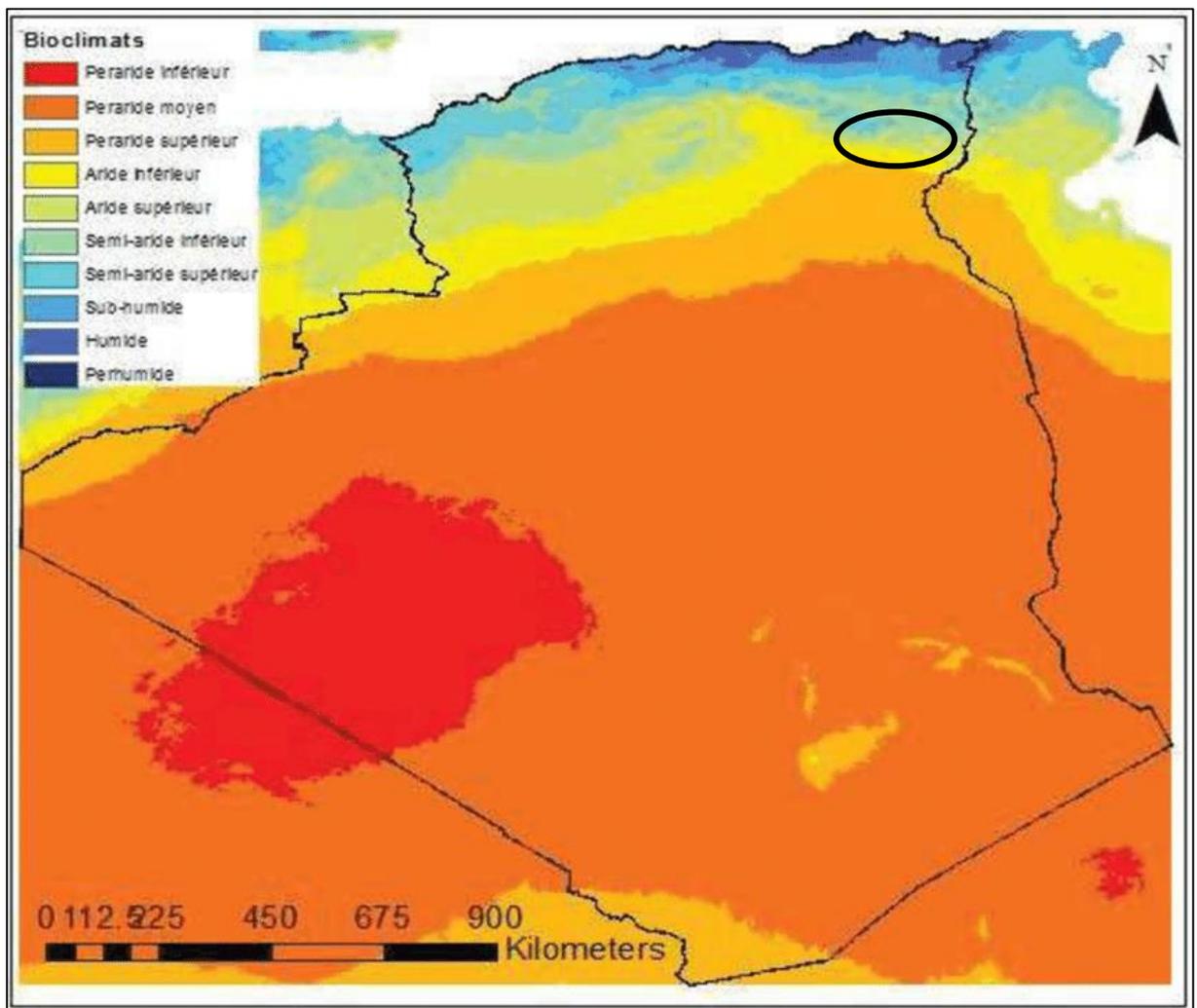


Fig II.6 Les différents bioclimats en Algérie, (Stewart 1974)

### 5. Activités minières dans la région :

Les activités minières dans la région sont riches et variées, on peut citer brièvement quelque mines tel que : la mine de fer de Boukhadra, celle de l'Ouenza, et la mine de Djebel Onk dans le bassin phosphatier de Bir El-ater, etc.

### 6. Les études antérieures :

Au cours des dernières décennies, de nombreux travaux ont été menés dans la zone d'étude, on peut citer l'étude de

- Vila (1980) sur la chaîne alpine de l'Est Algérien et des confins Algéro-tunisiens.
- Les travaux de Dubourdieu et Durozoy 1950, Dubourdieu (1956), Keihen (1960), Voute 1967, Popov (1968), Blès (1968), et Wildi (1983). Du levé géologique au 1/50000 effectué par la firme yougoslave Rudis de 1967 à 1970 pour le compte du service de la carte géologique de l'Algérie.
- Des levés géologiques à l'échelle 1/50000 effectués par le groupe de recherche et les équipes systématiques de l'Office National de la Recherche Géologique et Minière (ORGM) depuis 1967 (Vidrine 1972 ; Trochlin 1974).
- En 1972, Vidrine a élaboré une synthèse concernant la géologie des gisements de minéraux utiles métallifères au Nord de l'Algérie intitulée : "Géologie et régularité des gisements des métaux non ferreux de l'Algérie du Nord", qu'il accompagne d'une carte de répartition des matières métallifères utiles au 1/500000.
- De 1971 à 1974, dans le cadre des recherches systématiques, un levé aéromagnétique-spectrométrique a été exécuté par la firme américaine Aero-service Ltd pour le compte de l'ORGM (ex SONAREM), couvrant l'ensemble du territoire national à l'exception des zones survolées par la même firme pendant les années 1969-1970 pour le compte de SONATRACH.
- Une importante étude sismique a été entreprise par la SONATRACH durant les années 1974-1983 du Chott-El-Taya à la frontière tunisienne en vue de rechercher des structures pétrolières, malheureusement, très peu de données de ce travail nous sont disponibles.
- depuis 1989, le levé gravimétrique réalisé dans le cadre de doctorat, (a, zerdazi, 1990) est venu compléter la couverture gravimétrique dans cette région ;
- Mébarki 2005, Les bassins hydrologiques de l'Algérie orientale : ressources en eau, aménagement et environnement ;

- Belloula moufida en 2007 a étudié la modélisation des écoulements et perspectives de prévention contre les risques d'inondation dans quelques bassins de la Medjerda (confins algéro-tunisiens) ,
- Belloula moufida aussi en 2016 « Evaluation de l'aptitude aux écoulements et risque d'érosion dans le haut cours de la Medjerda par Modélisation » ;
- Fehdi.2008 : dans sa thèse de doctorat sous le thème « Apport hydrogéochimique et isotopique dans la caractérisation des mécanismes d'acquisition de la salinité des eaux souterraines du complexe aquifère morsott- el aouinet, (NE Algérien) » ;
- Gouaidia .2008 : Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico –chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de meskiana Nord-Est Algérien ;
- Abdeddaim hakima 2018 : contribution à l'étude de l'influence de la structure du réseau hydrographique sur le risque hydrologique « cas des bassins de l'est de l'Algérie ».

### 7. Géologie régional :

Les Monts de Mellégue font partie de l'Atlas saharien, continu en Tunisie par l'Atlas tunisien. Il est composé de trois faisceaux de plis, du Sud-Ouest vers le Nord-Est : les Monts des Ksours, le Djebel Amour, les Monts de Ouled Nail, les Aurès. (Dubourdiou, 1956).

La région frontalière algérienne a fait l'objet de plusieurs études par de nombreux auteurs. (Dubourdiou, 1956; Thibièroz et Madre, 1976; Rouvier et al., 1985; Othmanine, 1987;Perthuisot et al., 1988; Aoudjehane et al., 1992; Bouzenoune, 1993; Bouzenoune et al., 1995; Kowalski et Hamimed, 2000, hadji et al 2014).

L'Algérie est divisée en quatre zones majeures du Nord au Sud :

- le Tell ou l'Atlas tellien qui est constitué d'un ensemble de reliefs escarpés avec des plaines littorales duquel les plus riches d'Algérie sont le Chelif à l'ouest, la Mitidja au centre et à l'Est le Seybouse.

-puis on a les Hauts Plateaux qui sont considérés comme une zone steppique localisée entre les deux atlas : l'Atlas Tellien (au nord) et l'Atlas Saharien (au sud).

-l'Atlas saharien, c'est une longue succession de reliefs orientés NE-SO, s'étendant de la frontière marocaine à la frontière tunisienne.

- et finalement le Sahara algérien, qui enferme le primordial des ressources en hydrocarbures de l'Algérie.

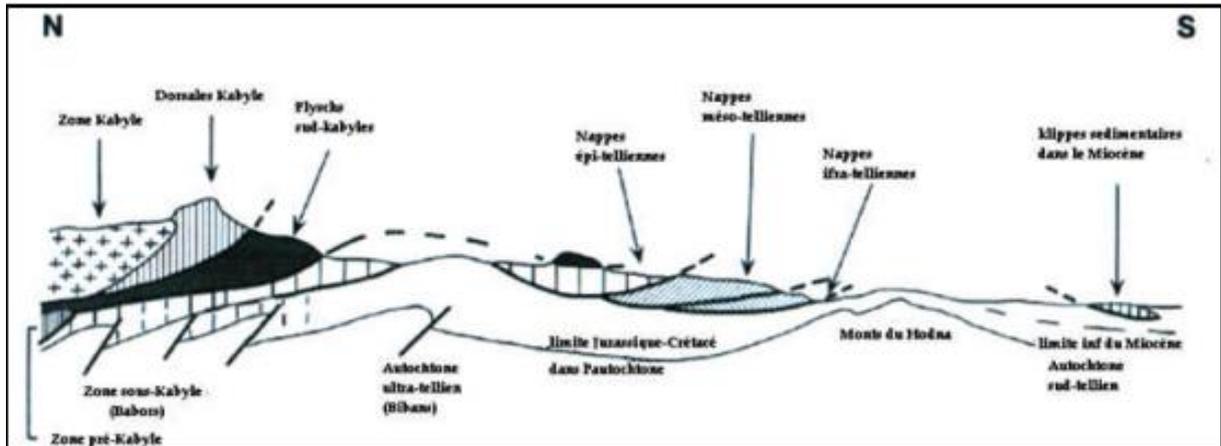


Figure II.7 Coupe Nord-Sud montrant les principales unités structurales de l'Algérie, (Durand – DELGA, 1969)

## 8. Lithostratigraphie

Le caractère lithologique de faciès sédimentaires de la zone d'étude et la subdivision stratigraphique ont été établis sur la base des travaux de plusieurs géologues, parmi lesquels (Dubourdiou ; 1956, Chikhi ; 1980 et Vila ; 1994) (Fig II.8). Il s'agit principalement de formations de dépôts mésozoïques - cénozoïques allant du Trias jusqu'au Quaternaire.

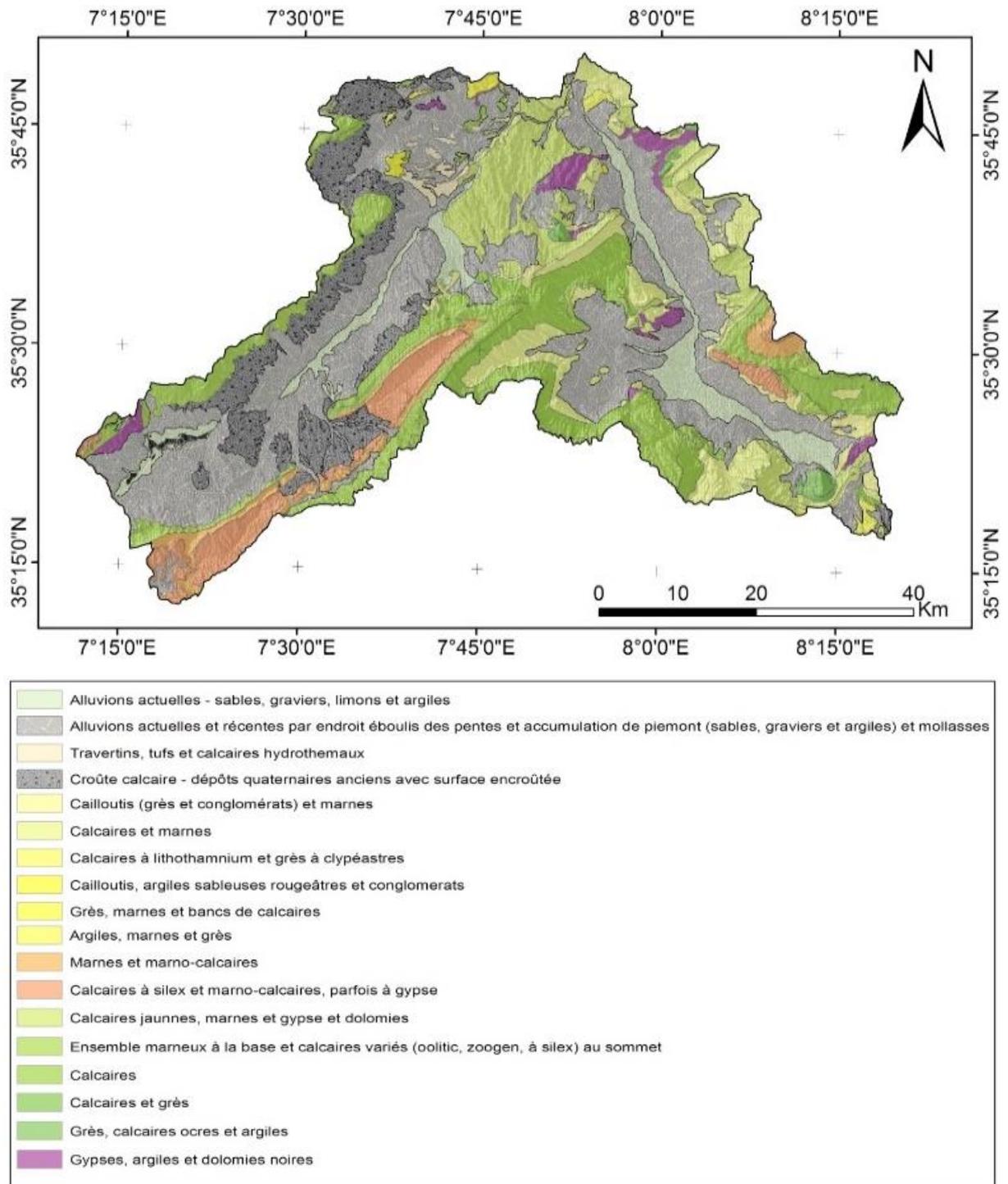


Figure II.8 Carte lithologique de la zone d'étude

### 8.1 Le Trias :

Les formations d'âge triasique sont les plus anciennes dans la zone des diapirs des monts du Mellègue, (Dubourdiou 1956), affleurant du Trias dans la région qui ont fait l'objet d'un intérêt particulier en raison de leur importance pour l'exploration pétrolière et minière.

Les affleurements triasiques occupent fréquemment le centre des anticlinaux des Monts Mellègue, ((Perthusiot et Rouvier, 1992 ; Aoudjehane et al, 1992-1994) avec des récifs au sommet de l'Aptien et de l'Albien ,(Masse et chikhi Aouimer, 1982).

Ces massifs diapiriques ont des corps de taille variable, en forme d'une bande orientée NE-SW sur environ 80 km de long. Les affleurements les plus importants sont ceux de l'Ouenza, de Boukhadra, de Mesloula, de Boujaber, de Hameimet Nord et de Hameimet Sud et bien d'autres massifs.

On peut considérer Les affleurements de Boujaber, Hameimet Nord et Hameimet Sud, Boukhadra, d'Ouenza, Mesloula comme les plus importants.

Le Trias est composé par des formations marneuses bariolées à gypse, de calcaires dolomitiques et de dolomies, des grés et de fractions de roches vertes ,(formations typiques du Trias en Algérie) ,(Dubourdiou, 1956). Il est caractérisé par l'existence de cristaux de quartz Bipyramidal et de grains de pyrite.

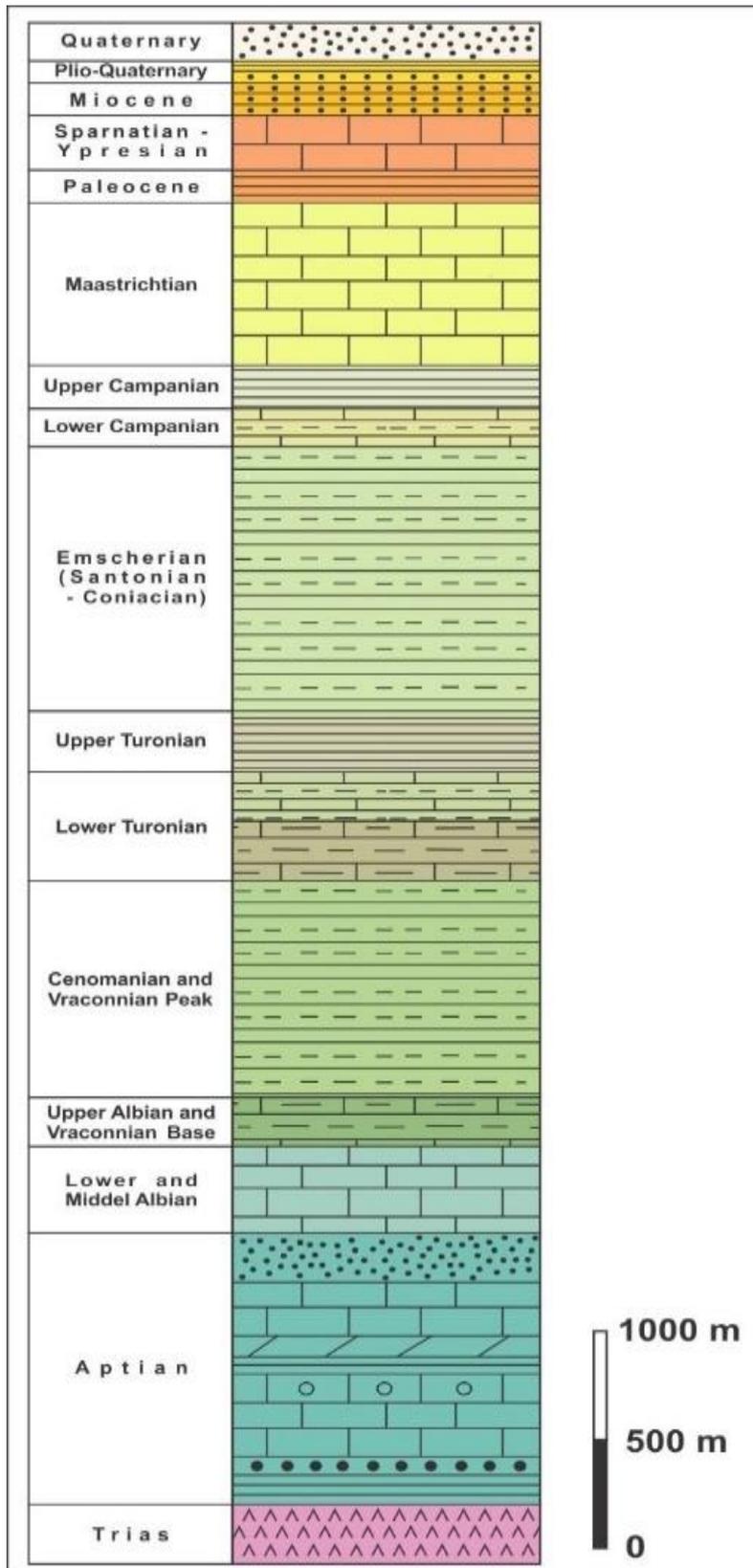


Figure .II.9 colonne stratigraphique de la zone d'étude.

## 8.2 Le Jurassique :

Les dépôts jurassiques sont presque absents dans la zone en question, (Dubourdiou, 1956 ; Chavenine et al, 1987 et 1988), mais ils ont été traversés par les sondages pétroliers en dehors de la zone diapirique, (Beghoul, 1974).

## 8.3. Le Crétacé

### 8.3.1 Le Crétacé inférieur

On a les étages suivants :

- ***Barrémien***

Le barrémien affleure sur le flanc SW de l'anticlinal de Mesloul, des marnes grises ou jaunes argileuses à ammonites sont les formations principales du barrémien au sommet, de minces passées de calcaires noduleux gris clair à patine ocre intercalent ces marnes (Dubourdiou, 1956). Le Barrémien est gréseux à passées de marnes, de conglomérats de calcaires et à Mesloul (Dubourdiou, 1956 ; Masse et Thieuloy, 1979 ; Masse et Chikhi Aouimer, 1982). Ces formations ont une épaisseur inférieure à 250 m.

- ***Aptien***

A grande échelle, l'Aptien est important dans la région du diapir des Monts Mellegue en raison de la nature des sédiments et de leur développement massif, (300 à 600 m d'épaisseur). Il est formé de roches carbonatées néritiques déposées dans des eaux chaudes peu profondes. Une étude stratigraphique de la zone montre la séquence suivante :

- ✓ ***Aptien marneux***

C'est les formations les plus anciennes de l'Aptien, (Masse et Thieuloy, 1979), d'âge aptien inférieur à moyen, il est distingué par la dominance de marnes verdâtres, forment des pseudo-bancs, alternent avec des grès à ciment sparitique et à oxydation partielle ou des calcaires gréseux, sur plusieurs kilomètres. L'ensemble est recouvert par des bancs de calcaires avec une épaisseur moyenne de 30 m.

- ✓ ***Aptien calcaire***

l'Aptien calcaire contient le plus souvent des Rudistes, Miliolles, des Polypiers, des Orbitolines ou des bioclastes, (Chikhi-Aouimeur, 1980).

- ***Albien :***

En général, la formation de l'Albien débute par un Albien carbonaté qualifié de "récif" dans la partie inférieure et de marnes dans les parties médiane à supérieure.

L'Albien des Monts de Mellégue présente une faune benthique dans les parties peu profondes.

La couverture de l'Albo-Aptien a été pénétrée (à l'Albien supérieur) par le Trias, entraînant une structure redressée et complexe, (plis évasés, plis en champignon....), (Bouzenoune, 1993 ; Othmanine, 1987. Nedjari-Belhocène et Nedjari, 1984).

- ***Vraconien :***

Il est généralement composé de marnes, entrecoupées par des 'argilo-calcaire et d'argilites de 500 à 600 m d'épaisseur, (Dubourdiou, 1956....), transgressif sur l'Aptien à Hameimat, (Othmanine, 1987) et sur le Trias à l'Ouenza, (Thibiéroz et Madre, 1976). Le Vraconien forme une barrière immédiate et un contrôle primaire de la minéralisation polymétallique dans notre zone d'étude grâce à sa sédimentation marno-argileuse.

### **8.3.2 Crétacé supérieur :**

- ***Cénomaniens :***

Aux Monts de Mellégue, une série de marnes argileuses verdâtres se déposent dans Cénomaniens inférieurs. Ces marnes sont intercalées par des calcaires peu développées avec une faune au Cénomaniens moyen. Puis Au cénomaniens supérieur, la sédimentation est carbonatée.

. L'épaisseur totale de la formation cénomaniens est estimée entre 750 et 1100 mètres.

- ***Turonien :***

Il se caractérise par des changements rapides dans les sédiments, passant au calcaire dense, produisant des reliefs accusés ; il forme les flancs des grains synclinaux et anticlinaux. Ses affleurements stratigraphiques sont en dehors de la zone diapir, éloignés 9 km du centre minier d'Ouenza .

Ce sont des calcaires noirs à gris foncé, parfois séparés par des marnes grises. Son épaisseur totale est d' environ 300 mètres.

- ***Coniacien-Santonien :***

Ce sont des marnes grises avec des calcaires à la base d'épaisseur d'environ 500m.

- **Campanien :**

La partie inférieure présente des marnes grise claires à patine « jaune-vert », de 150m d'épaisseur. Dans ses couches moyennes et supérieures, il est représenté par des bancs calcaires gris clair à blanc.

- **Maéstrichtien :**

Il est signé par des calcaires blancs lités, avec 60 mètres d'épaisseur environ, surmonté par une grande quantité de marnes argileuses noires à grises (150 m), qui admettent quelques intercalaires calcaires à sa base, (Dubourdiou, 1956). La sédimentation durant le Campanien supérieur et au Maestrichtien montrent toujours la continuité des mêmes conditions de sédimentation dans les milieux peu profonds et les eaux chaudes, (Chevenine et al. 1987 et 1988), dominés par des calcaires crayeux, très récifaux.

#### 8.4. *Le Tertiaire :*

Il a une marne à sa base similaire au Maestrichtien supérieur, avec des couches de phosphate intercalées vers les niveaux supérieurs.

- **Eocène**

Se caractérise par des calcaires à silex et à nummulites avec une épaisseur d'environ 200m, près des monts de Mellégue.

- **Miocène**

Connu par une puissante accumulation de marnes et de grès ,(1000m) dépose transgressivement sur les formations d'âge Albien-Sénonien et même sur le Trias

A la base, les formations d'âge miocènes renferment des conglomérats à des éléments de calcaires variés à silex, des éléments empruntés au Trias, des galets ferrugineux

La sédimentation à la fin du Miocène indique le début d'une phase de régression, (Dubourdiou, 1956 ; Kowalski et Hamimed, 2000).

#### 8.5. *Le Quaternaire :*

Les dépôts quaternaires sont répartis dans les parties inférieures des reliefs et couvrent de vastes étendues, (plaines, vallées). Ils sont constitués de croûtes calcaires, éboulis, limons, de poudingues et cailloutis. Le quaternaire a une épaisseur d'environ 10 à 30mètres, il est d'origine continentale, (Dubourdiou, 1956).

## 9. Etude structurale de la zone :

Dans la zone d'étude il existe deux directions structurales dans la zone frontalière Algéro-tunisienne, (Fehdi 2008), la première NW-SE à WNW-ESE caractérisée par les fossés d'effondrement et la deuxième NE-SW caractérisée par l'extrusion triasique, où il y a une continuité des grands ensembles tectoniques, de part et d'autre de la zone frontalière, (Rouvier et al, 1990).

Cette zone est caractérisée par des diapirs, des affaissements, des failles, des plis, et des tranchées d'affaissement.

### 9.1. La subsidence

Une subsidence continue et rapide au Crétacé, conduit à des poussées horizontales individualisées dans le sillon Tunisien, puis un bombement sous-marin donne ainsi des hauts fonds (NE-SW), ce qui permet la formation des amas récifaux par la suite.

### 9.2. Le diapirisme

Dans la partie de l'Atlas Saharien, les affleurements de Trias apparaissent dans plusieurs endroits sur une étendue de 80 km. De direction NE-SW, ce diapirisme est régi par deux facteurs importants, (Perthuisot, 1988).

- ***Le fluage***

L'écoulement fluide évaporitiques est plus important lorsque la température est élevée, pour le sel gemme, il est réalisé à environ de 300°C et à des températures plus faibles pour les sulfates hydratés ou les sels potassiques.

- ***L'ascension***

L'ascension est assurée par la différence de densité. C'est une migration verticale des matériaux plastiques en raison de la densité du matériel plastique qui est inférieure à la densité globale de la couverture, ce qu'on appelle «halocinèse».

Dans la région du Mellègue les chlorures sont signalés dans le salifère principal du NE saharien, (Busson et Cornet, 1989...2022), plus particulièrement dans le diapir de l'Ouenza. (dans la partie Nord-Est de l'Ouenza), (Dubourdieu, 1964 et Madre, 1969), au cœur du Djebel Mesloula et dans le Sud-Ouest de Boukhadra.

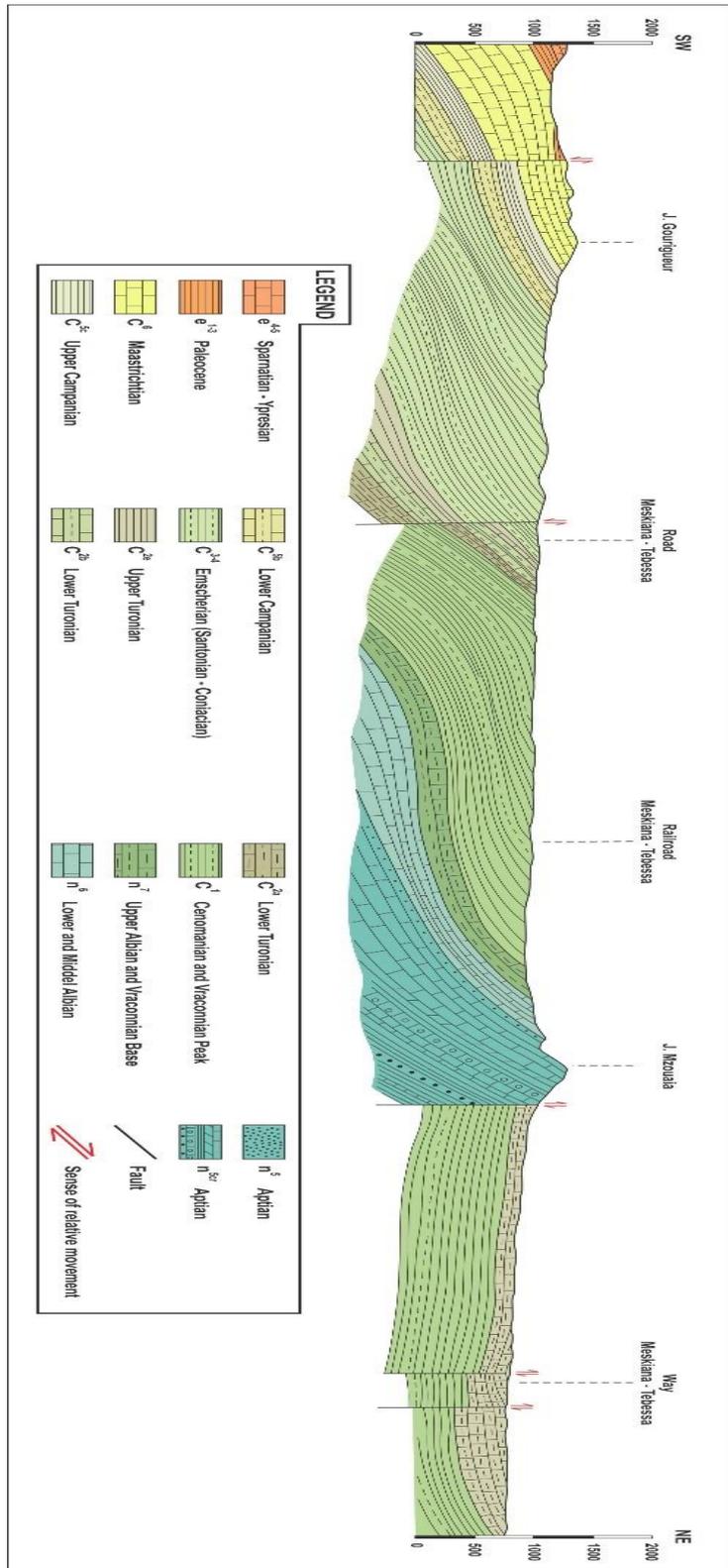


Figure II.10 Coupe géologique de la zone d'étude

### 9.3 Trias évaporitique :

- Le domaine du Trias allochtone : remarqué surtout aux environs de Tifech, de Sédrata, et de Souk-Ahras où on trouve des recouvrements pelliculaires sur des vastes surfaces, observés sur le terrain, ce sont des charriages sur des séries miocènes et même Serravallien-Tortonien.
- Le domaine sous-marin à « glaciers de sel » : On a deux horizons carbonatés d'âge albiens datés par des microfaunes, trouvé près du gisement de fer du Djebel Ouenza,

### 9.4. Les plissements :

Le phénomène le plus marquant de cette période est un système des plissements d'orientation SW-NE, formant une série d'anticlinaux et de synclinaux, (Ain ghenia, Ouled Kseub, Haoud S'ghir) et résulte d'une compression au Néogène.

Les charnières de ces anticlinaux étaient souvent percées par le diapir triasique, L'Eocène inférieur est en discordance sur le Crétacé.

Selon Dubourdiou, (1956), la phase principale des plissements est comprise entre L'Eocène supérieur et le Miocène.

### 9.5 La tectonique cassante :

On a deux systèmes de failles dans la zone :

- l'un est dit "failles majeures", qui sont des failles principales, subparallèle aux axes des anticlinaux qui résulte du plissement, avec une direction : NE (30°-60°) et NW (280°-320°).
- le second est constitué de failles de deuxième ordre sub-perpendiculaires aux failles principales, caractérisé par des rejets sérieux et des pendages de 60° de direction Est-Ouest, (Où on trouve parfois la concentration des métaux.)

### 9.6 Les fossés d'effondrement :

Dans l'Atlas saharien, le phénomène le plus marquant, sont les fossés d'effondrement, orientés NW-SE et E-W, bordant l'accident majeur, formé par les sédiments du Plio-Quaternaire. Pour certains (Castany, 1951 et 1954; Durozoy, 1950; David 1956; Kazi Tani, 1986; Dubourdiou 1956; Othmanine, 1987), il est le résultat d'une activité tectonique extensive post-Miocène, (Fossé de Morsott, Ouled Boughanem, Tébessa et) .

Pour d'autres, ( Bismuth 1973 ;), d'une distension d'âge crétacée a contribué au premier l'effondrement du graben, dont le principal est produit au Miocène, (Aquitonien-Tortonien).

### 10. Etude minéralogique par la diffraction aux rayons X (DRX) :

La diffraction des rayons X (DRX) est une technique analytique qui permet d'étudier les différentes phases des matériaux et des matériaux cristallins.

Alors que l'analyse élémentaire peut identifier et quantifier les éléments chimiques constitutifs d'un matériau. La diffraction des rayons X (DRX) donne accès à une mine d'informations contenues dans l'arrangement des éléments au sein d'un matériau. Ainsi, l'analyse qualitative par diffraction des rayons X (DRX) permet d'identifier les composés cristallins présents dans le matériau et leurs formes cristallines.

L'analyse a été effectuée dans le laboratoire de physique des matériaux de l'université de Mohamed Boudiaf (Msila). Placez l'échantillon séché directement dans le porte-échantillon ;

Les résultats de mesure obtenus sont présentés sous la forme d'un diagramme de diffraction (voir annexes 01).



Figure II.11. Image de l'appareil du DRX

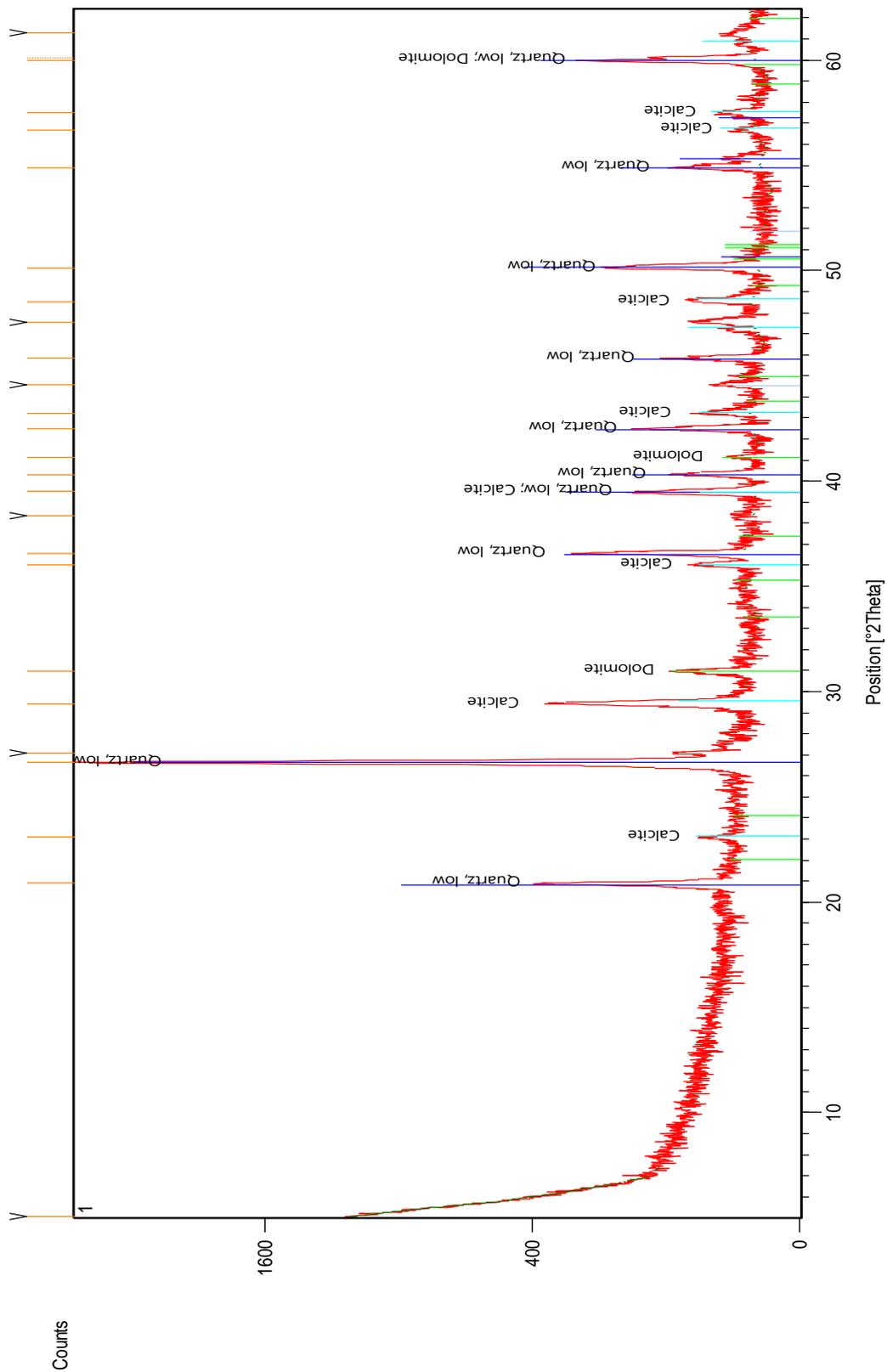


Figure II.12 : diagramme de diffraction de l'échantillon 02

### 11. Caractérisation chimique ou Spectrométrie par fluorescence des rayons X (FRX/ XRF) :

La fluorescence X (XRF) est une technique analytique qui peut être utilisée pour déterminer la composition chimique d'une variété de types d'échantillons, y compris les solides, les liquides, les boues et les poudres libres. Spectroscopie d'émission atomique, similaire à la spectroscopie d'émission optique (OES)), spectroscopie d'émission de plasma (ICP) et analyse d'activation de neutrons (spectroscopie gamma). Ces méthodes mesurent la longueur d'onde et l'intensité de la "lumière" (dans ce cas, les rayons X) émise par les atomes chargés dans un échantillon. En fluorescence X, l'irradiation d'un faisceau de rayons X primaire à partir d'un tube à rayons X entraîne l'émission de rayons X fluorescents avec des caractéristiques énergétiques discrètes des éléments présents dans l'échantillon.

Les essais XRF ont été effectués dans le laboratoire de l'unité de recherche des Matériaux émergents –Sétif 02.

#### *Principe de l'essai :*

L'échantillon à analyser est exposé à un faisceau de rayons X. Sous l'action de ces rayons X, les atomes qui composent l'échantillon passent de leur état fondamental à un état excité. Les états excités sont instables, et les atomes ont alors tendance à revenir à l'état fondamental en libérant de l'énergie, notamment sous forme de photons X. Chaque atome a sa propre structure électronique et émet des photons de sa propre énergie et longueur d'onde. Le phénomène de fluorescence X est l'émission secondaire de rayons X et est caractéristique des atomes qui composent l'échantillon. L'analyse de cette radiographie secondaire permet de connaître la nature des éléments chimiques présents dans l'échantillon et leurs concentrations massiques.



Figure II.12 : image de l'appareil FRX

2020/ 9/29 10:58

SQX Calculation Result							
Sample : Ech 1		Application : F-U_Solid_N_057			Sample type : Oxide Powder	Date analyzed : 2020/ 9/29 10:41	
Sample film corr. :					Balance :		
File : Ech 1_Aboud_1					Matching library :		
					Impurity corr. :		
No.	Component	Result	Unit	Det. limit	El. line	Intensity	w/o normal
1	Na2O	0.317	mass%	0.01897	Na-KA	0.2728	0.2522
2	MgO	2.51	mass%	0.01833	Mg-KA	5.4314	1.9940
3	Al2O3	12.2	mass%	0.01398	Al-KA	89.5677	9.7155
4	SiO2	44.5	mass%	0.02222	Si-KA	265.3114	35.3962
5	P2O5	0.299	mass%	0.00306	P-KA	2.8751	0.2380
6	SO3	0.656	mass%	0.00383	S-KA	5.1133	0.5221
7	Cl	0.0585	mass%	0.00484	Cl-KA	0.3507	0.0466
8	K2O	1.84	mass%	0.00565	K-KA	11.8648	1.4621
9	CaO	31.4	mass%	0.01479	Ca-KA	183.0190	24.9586
10	TiO2	0.663	mass%	0.02415	Ti-KA	0.8121	0.5277
11	Cr2O3	0.0212	mass%	0.00734	Cr-KA	0.0915	0.0169
12	MnO	0.0609	mass%	0.00692	Mn-KA	0.4802	0.0484
13	Fe2O3	5.33	mass%	0.00808	Fe-KA	61.9550	4.2424
14	NiO	0.0129	mass%	0.00373	Ni-KA	0.3128	0.0103
15	ZnO	0.0119	mass%	0.00321	Zn-KA	0.5207	0.0095
16	Br	0.0052	mass%	0.00199	Br-KA	0.6763	0.0042
17	Rb2O	0.0111	mass%	0.00212	Rb-KA	1.7519	0.0088
18	SrO	0.100	mass%	0.00217	Sr-KA	16.2708	0.0799
19	Y2O3	0.0030	mass%	0.00226	Y-KA	1.1263	0.0024
20	ZrO2	0.0299	mass%	0.01195	Zr-KB1	1.3774	0.0238
21	Nb2O5	0.0023	mass%	0.00243	Nb-KA	0.7473	0.0018

URME

SQX Calculation Result							
Sample : Ech 2		Date analyzed : 2020/ 9/29 10:32					
Application : F-U_Solid_N_056		Sample type : Oxide Powder		Balance :			
		Sample film corr. :		Matching library :			
		File : Ech 2_Aboud_1		Impurity corr. :			
No.	Component	Result	Unit	Det. limit	EL line	Intensity	w/o normal
1	Na2O	0.159	mass%	0.01954	Na-KA	0.1387	0.1336
2	MgO	1.69	mass%	0.01818	Mg-KA	3.7144	1.4187
3	Al2O3	13.2	mass%	0.01458	Al-KA	99.8238	11.0645
4	SiO2	34.0	mass%	0.01989	Si-KA	211.2486	28.5089
5	P2O5	0.176	mass%	0.00248	P-KA	1.9118	0.1478
6	SO3	0.255	mass%	0.00351	S-KA	2.2560	0.2147
7	K2O	1.09	mass%	0.00448	K-KA	8.0866	0.9162
8	CaO	41.7	mass%	0.01728	Ca-KA	270.1028	35.0294
9	TiO2	0.894	mass%	0.02859	Ti-KA	1.0336	0.7513
10	MnO	0.0489	mass%	0.00768	Mn-KA	0.3609	0.0411
11	Fe2O3	6.61	mass%	0.01059	Fe-KA	71.8246	5.5604
12	NiO	0.0108	mass%	0.00433	Ni-KA	0.2422	0.0091
13	ZnO	0.0110	mass%	0.00338	Zn-KA	0.4446	0.0093
14	Rb2O	0.0042	mass%	0.00245	Rb-KA	0.5848	0.0035
15	SrO	0.190	mass%	0.00244	Sr-KA	28.1556	0.1596
16	ZrO2	0.0195	mass%	0.01297	Zr-KB1	0.8169	0.0164

Figure II.13 résultats de l'essai FRX des échantillons 01 et 02

## 12. commentaire des résultats minéralogiques et chimiques :

Les essais de diffractométrie des rayons (DRX), Spectrométrie par fluorescence des rayons X(FRX), ont été utilisés pour déterminer les proportions des composants chimiques et minéralogiques des échantillons prélevés.

Les résultats obtenus dans les deux essais montre que les substances analysés, ont presque des caractéristiques semblables ou légèrement différant dans la majorité des échantillons prélevés. Pour le DRX on a le quartz, la calcite et des dolomies les minéraux argileux les plus répandu. La même chose dans l'essais FRX le pourcentage des ( $\text{SiO}_2$ , CAO,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) est le plus élevés dans tous les échantillons, donc selon ces essais, les formations de la zone d'étude sont principalement des calcaires, marnes, limons et des argiles.

## 13. Conclusion :

L'étude géologique du bassin versant Mellègue nous a permis de connaitre que La région fait partie de l'Atlas Saharien, elle se localise dans la partie orientale des hautes plaines constantinoises. La lithostratigraphie a commencé par le trias évaporitiques, On note l'absence du jurassique selon Dubourdiou, 1956 ; Chavenine et al, 1987 et 1988. Le crétacé est composé principalement par des roches marno-calcaires.

L'étude structurale montre qu'il existe deux directions structurales dans la zone frontalière Algéro-tunisienne. La première NW-SE à WNW-ESE caractérisée par les fossés d'effondrement et la deuxième NE-SW caractérisée par l'extrusion triasique.

Les essais minéralogique et chimique des échantillons montre la présence des : quartz, calcite et des dolomies avec les minéraux argileux.

Le climat et les paramètres morphométrique de la zone vont être expliqués en détail dans le chapitre trois.

**Chapitre III**

**Hydro-climatologie et Paramètres du**

**bassin versant**

### 1. Introduction :

La zone d'étude est située dans la partie Nord-Est du territoire algérien, entre la mer Méditerranée et le début de la région saharienne, ce qui lui confère un régime climatique aride et semi-aride.

Les propriétés physiques de la zone est très utile, car elles permettent d'expliquer l'influence et l'évolution du processus de l'érosion sur les versants, le rôle de l'écoulement dans l'aggravation de l'érosion hydrique et du transport solide, et par conséquent l'abaissement de la composition des sols des terrains agricoles.

### 2. Les bassins versants de l'Algérie :

L'Algérie compte 17 grands bassins versants et 226 sous-bassins selon l'ANRH . (Tableau III.1)

Cette étude concerne le bassin versant Mellégue et plus précisément le bassin chabro-meskiana qui est situé au NE Algérien, approximativement entre (5° et 9°E) de longitude, (35° et 37°N) de latitude. Ce bassin hydrologique est délimité par le côtier constantinois Est au Nord, par le bassin Seybouse, des hauts plateaux Constantinois à l'Ouest et par le bassin du Chot Melhrir au Sud, à l'Est, la zone est limitée par la frontière Tunisienne.

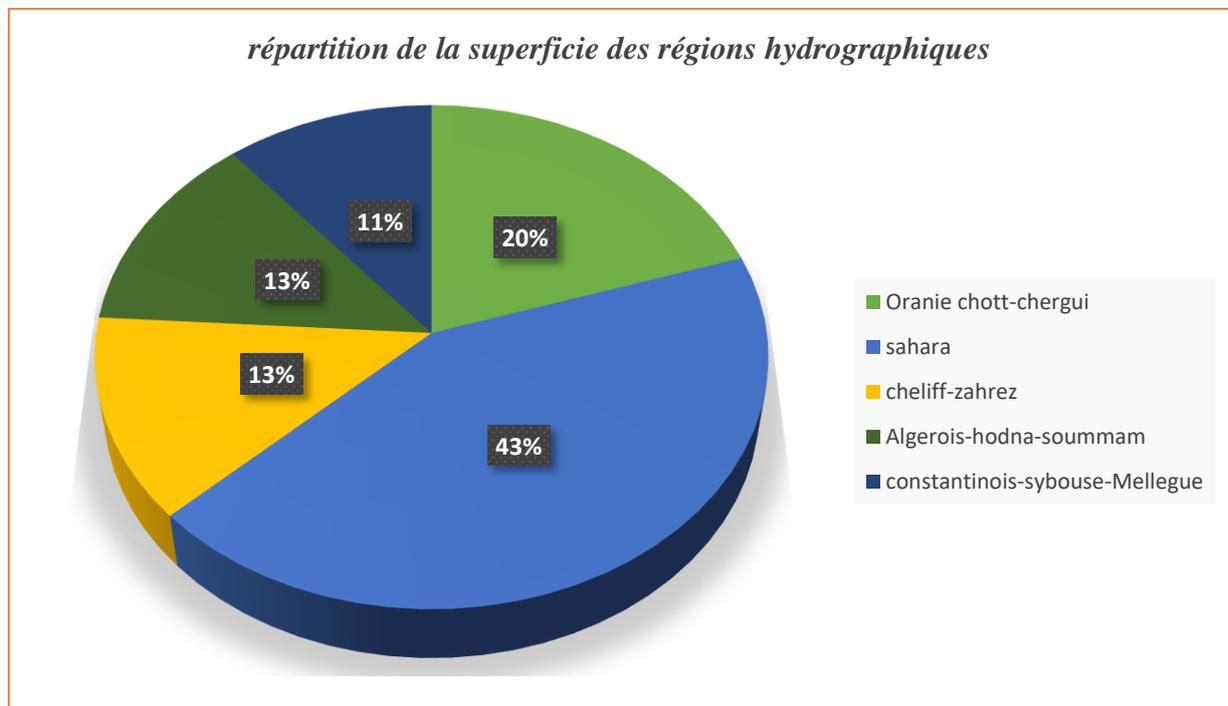


Figure III.1. répartition de la superficie des régions hydrographiques.

Le bassin versant Mellégué appartient à l'unité hydrographique du Constantinois-Seybousse-Mellégué, Limitée au Nord par la mer Méditerranée, à l'Est par la frontière tunisienne, à l'Ouest par la région hydrographique de l'Algérois-Hodna-Soummam, et au Sud par le bassin hydrographique du Sahara.

Sa superficie générale est de 44348 km<sup>2</sup>, contient 5 grands bassins versants :

- \*Le bassin versant du Kébir-Rhumel ,(8111 km<sup>2</sup>).
- \*Le bassin versant de la Seybousse ,(6471 km<sup>2</sup>).
- \*Le bassin versant des Côtiers Constantinois, (11509 km<sup>2</sup>)
- \*Le bassin versant des Hauts Plateaux Constantinois ,(9615 km<sup>2</sup>).
- \*Le bassin versant de la Medjerda-Mellègué, (7841 km<sup>2</sup>).

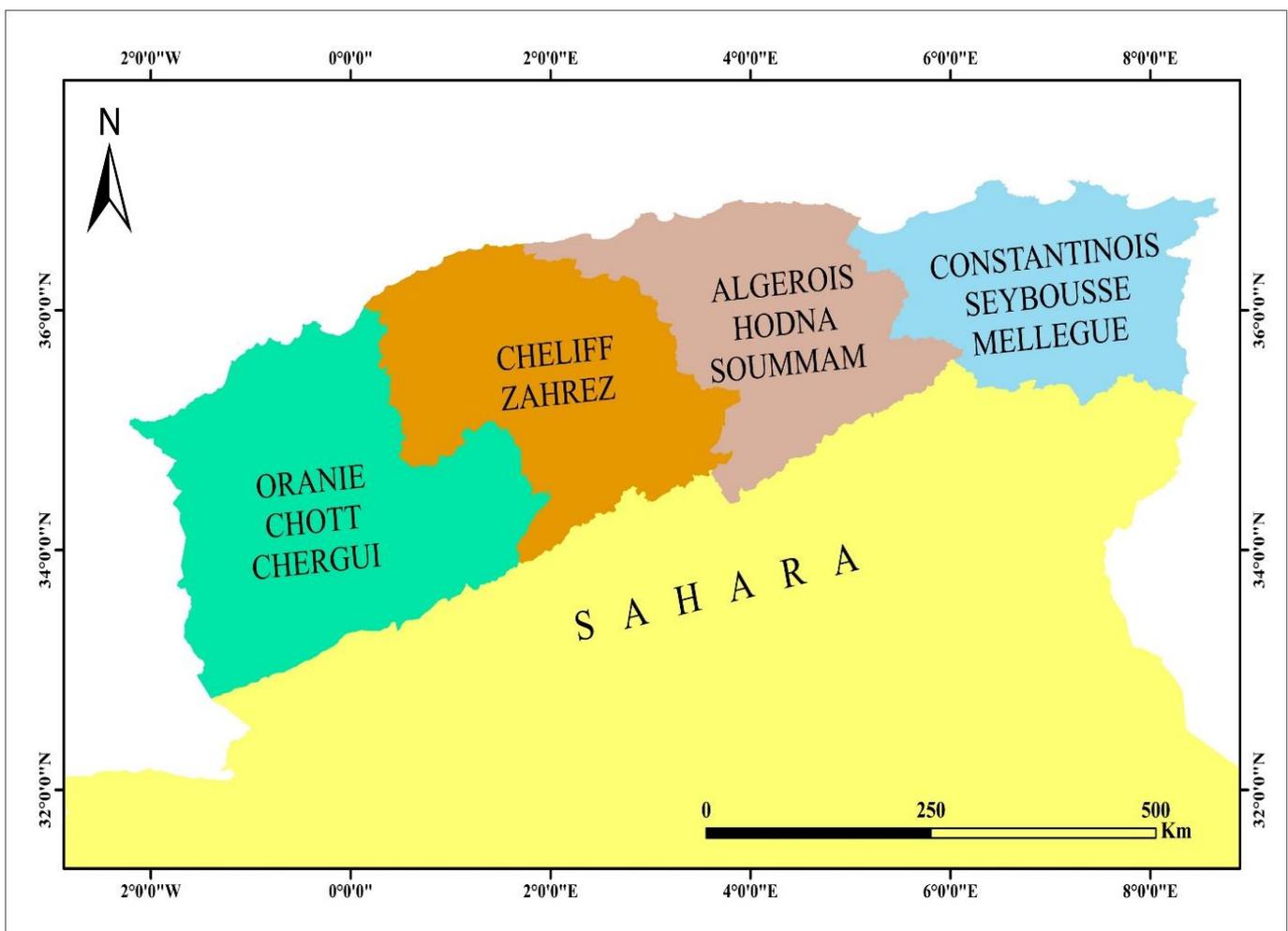


Figure III.2 : Limites des bassins Algérien(ANRH.modifier).

**Tableau III.1** codes des bassins versants de l'Algérie et nombre des sous-bassins. (ANRH)

<b>Code BV</b>	<b>Nom BV</b>	<b>Nombre SBV</b>
BV 01	BASSIN DU CHELIFF	36
BV 02	BASSIN DES COTIERS ALGEROIS	20
BV 03	BASSIN DES COTIERS CONSTANTINOIS	18
BV 04	BASSIN COTIERS ORANAIS	06
BV 05	BASSIN DU CHOTT HODNA	24
BV 06	BASSIN DU CHOT MELRHIR	30
BV 07	BASSIN DES HAUTS PLATEAUX CONSTANTINOIS	07
BV 08	BASSIN DU CHOTT ECH CHERGUI	18
BV 09	BASSIN DE L'ISSER	05
BV 10	BASSIN DU KEBIR RHUMEL	07
BV 11	BASSIN DE LA MACTA	16
BV 12	BASSIN DE LA MEDJERDA	05
BV13	BASSIN DU SAHARA	04
BV 14	BASSIN DE LA SEYBOUSE	06
BV 15	BASSIN DE LA SOUMMAM	10
BV 16	BASSIN DE LA TAFNA	08
BV 17	BASSIN DU ZAHREZ	0

### **3. le Bassin Medjerda-Mellègue :**

Localisé aux confins Algéro-Tunisiens, avec une surface de 7841 km<sup>2</sup>, (partie Algérienne), subdivisé en cinq (5) sous bassins versants (fig. III.3) :

- Meskiana au Sud-ouest (1854 km<sup>2</sup>).
- Chabro au Sud Est (1571.12km<sup>2</sup>)
- Mellegue Amont au Centre de la Medjerda (1513 km<sup>2</sup>).
- Mellegue Aval à l'extrême Est Algérien (1393 km<sup>2</sup>).
- Medjerda au Nord (1519 km<sup>2</sup>)

Il comprend quatre oueds principaux, «Meskiana -Chabro-Medjerda et Mellègue ».

Notre travail s'est focalisé sur les deux sous-bassins de d'Oued meskiana et d'Oued Chabro.

#### **3.1 .Le Bassin d'Oued Meskiana :**

Localisé dans le Sud-Ouest du bassin versant Mellègue, avec une surface de 1854km<sup>2</sup>, il est limité par le bassin d'Oued Mellègue Amont (Terraguelt, El Aouinet, Oued Kebarit ...etc.) au Nord, et par le bassin d'Oued Chabro (Morsott, Bir d' Heb...etc.) à l'Est par le bassin des Hauts plateaux constantinois à l'Ouest et par le bassin du Sahara au Sud.

#### **3.2. Le Bassin d'oued Chabro :**

Situé au Sud-Est du bassin versant Mellègue, avec une surface de 1571.12km<sup>2</sup>.Le bassin de Chabro est limité au Nord par le bassin d'Oued Mellègue Aval et à l'Est par la Tunisie, à l'ouest par le bassin d'Oued Meskiana et au Sud par le bassin du Sahara.

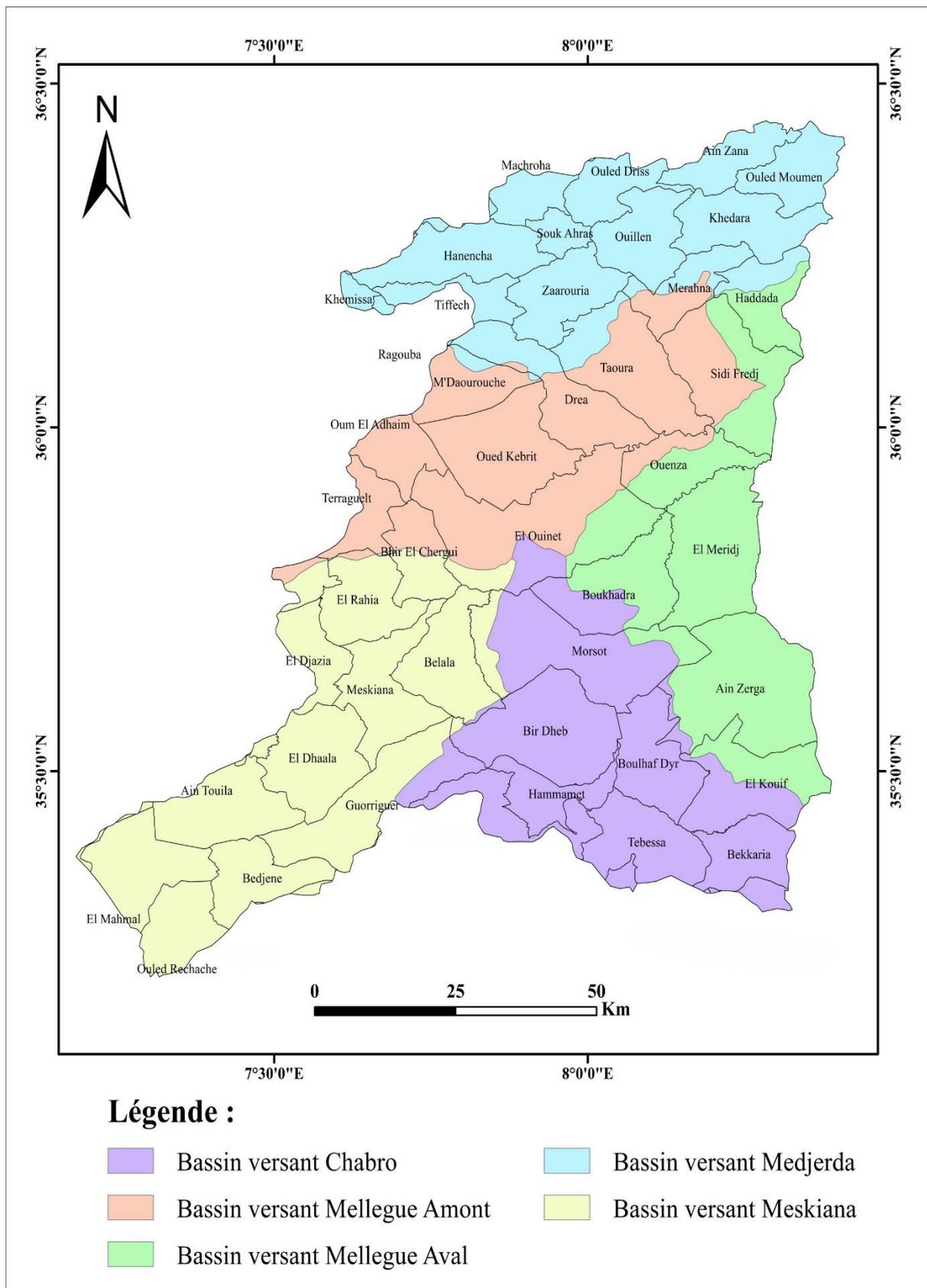


Figure III.3 les sous-bassins du BV Mellégué (ABH modifier )

#### 4. les Paramètres du bassin versant :

##### 4.1 Délimitation du bassin, (superficie et périmètre) :

La séparation d'un bassin versant à un autre se fait par les lignes de partage des eaux.

Tableau III.2 Superficie des bassins versants d'oued Chabro-Meskiana. :

Bassin	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Périmètre(Km)
<i>Oued Meskiana</i>	1854	248.24
<i>Oued Chabro</i>	1571	246.11

##### 4.2. Indice de compacité

L'indice de compacité de GRAVELIUS est le rapport du périmètre d'un bassin sur un cercle de même surface. Il est admis par les hydrologues pour définir la forme d'un bassin versant.

Le coefficient  $K_c$  est égal à :

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

A : la surface du bassin ( km<sup>2</sup> ),

P : son périmètre (km),

Tableau III.3 Indice de compacité.

Bassin	A (km <sup>2</sup> )	P (km)	Indice de compacité
<i>Oued Meskiana</i>	1854	248	1,613
<i>Oued chabro</i>	1571	246	1,737

D'après les résultats présentés (Tableau III.3), on remarque que le bassin de *Meskiana* et de *Chabro* ont des indices de compacité semblables (1,61 – 1,74), traduisant une forme très étirée.

##### 4.3 Le relief :

L'impact du relief sur le ruissèlement se conçoit aisément, à cause des paramètres hydrométéorologiques nombreux, qui varient avec l'altitude comme les précipitations et la température plus la morphologie du bassin. En outre, la pente influe directement sur la vitesse d'écoulement. On a

**4.3.1 La courbe hypsométrique :** Qui représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de sa hauteur.

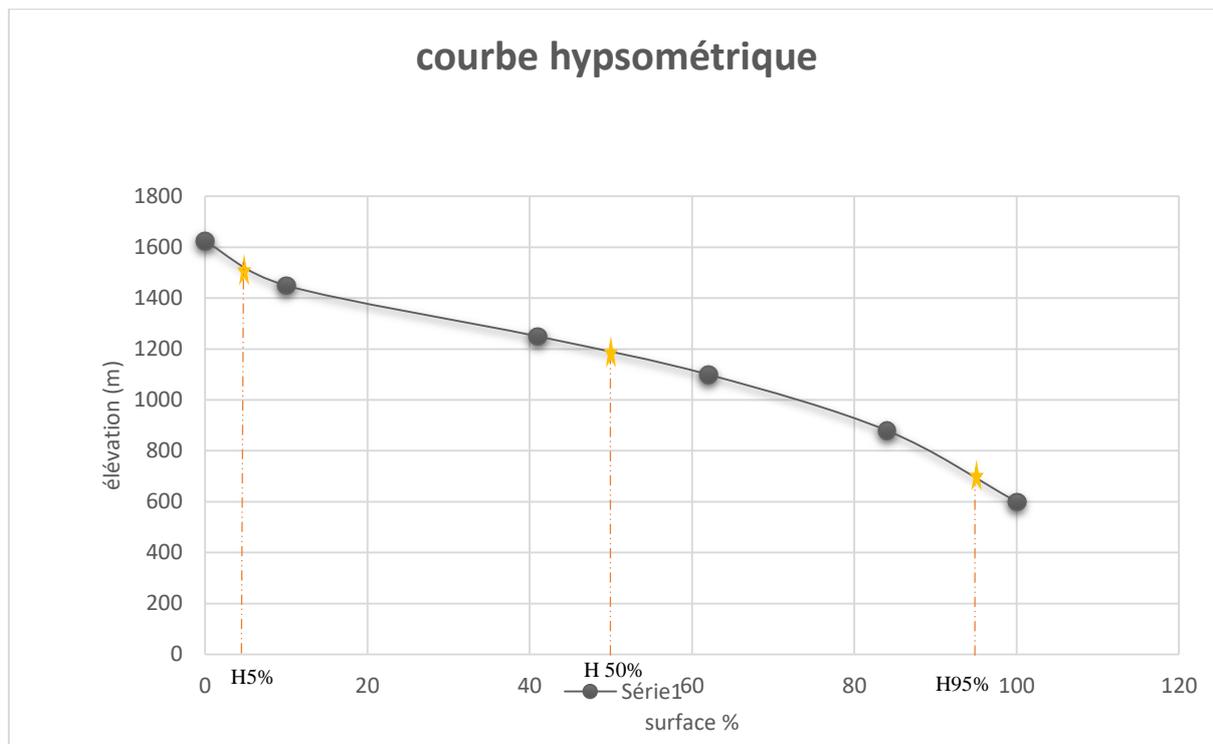


Figure III.4. Courbe hypsométrique du bassin chabro-meskiana

Tableau .III.4: Répartition hypsométrique du bassin chabro-meskiana

Tranches d'altitudes (m)	Altitude moyenne	Ai (Km <sup>2</sup> )	Ai cumulées (Km <sup>2</sup> )	Ai %	% Ai cumulés	Dénivelé(D) (m)
>600	1618.5	179.87	179.87	11.48	11.48	37
1600-1500	1550	247.88	427.75	15.82	27.30	100
1500-1400	1450	234.4	662.15	14.95	42.25	100
1400-1300	1350	189.72	851.87	12.11	54.36	100
1300-1200	1250	178.94	1030.81	11.42	65.78	100
1200-1100	1150	149.61	1180.42	9.55	75.33	100
1100-1000	1050	127.24	1307.66	8.12	83.45	100
1000-900	950	97.8	1405.46	6.24	89.69	100
900-800	850	79.3	1484.76	5.06	94.75	100
800-700	750	53.89	1538.65	3.44	98.19	100
<700	669	28.32	1567	1.81	99.99	62

#### 4.4. Altitudes caractéristiques des bassins élémentaires de Mellégue (meskiana-Chabro) :

Présentés par l'altitude maximale (H max), altitude moyenne (H moy) et l'altitude Minimal (H min).

Tableum.III.4 Altitudes caractéristiques des bassins élémentaires de Mellégue (meskiana-Chabro) en mètre :

<i>bassin</i>	<i>H max</i>	<i>H min</i>	<i>H moy</i>	<i>H5%</i>	<i>H50%</i>	<i>H95%</i>	<i>D(H5%-H95%)</i>
<i>Meskiana</i>	1550	635	1180	1600	1225	825	775
<i>chabro</i>	1624	638	1285	1525	1400	850	675

#### 4.5. Rectangle équivalente :

Pour évaluer la forme et les dimensions du bassin versant, on va comparez-le à un rectangle de même surface (A), de même périmètre (P) et de même indice (Kc). Ce rectangle est appelé rectangle équivalent et est caractérisé par : sa longueur (L) .sa largeur (l), qui peuvent être calculées comme suit :

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.12} \left( 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2} \right)$$

$$l = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.12} \left( 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2} \right)$$

L : longueur (KM) ;

l : largeur (KM) ;

Kc : indice de compacité de Gravelus ;

A : superficie du bassin versant (KM<sup>2</sup>).

Tableau.III.5. Largeur et longueur des sous-bassins

Bassin	Surface (km <sup>2</sup> )	Périmètre (km)	Longueur (km)	Largeur (km)
<i>Oued Meskiana</i>	1854	248	106	17
<i>Oued Chabro</i>	1571	246	92	16

#### 4.6. Indice de pente global (Ig) :

On prend les points ou la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de (A Sur la courbe hypsométrique). On obtient les altitudes (H5%) et (H95%) entre lesquelles se marque 90% de la surface totale du bassin et la dénivelée. (Tableau III.4).

$$I_g = D/L$$

$$D = H5\% - H95\%$$

D : dénivelée(m),

L : longueur équivalente(Km).

Tableau III.6 : indice de pente des deux bassins

Sous bassin	L(Km)	D(m)	Ig (m/Km)
Chabro	92	675	7.33
meskiana	106	775	7.31

Selon la classification adoptée par l'ORSTOM (France), on a classé le relief selon Ig comme suit :

- Pour le bassin meskiana :  $Ig = 7.31$  selon la classification par l'ORSTOM est relief assez faible.
- Pour le bassin chabro :  $Ig = 7.33$  c'est un relief assez faible aussi.

Tableau .III.7 : Classification du relief selon (Ig) par : l'ORSTOM

Relief très faible	$Ig < 2 \text{ m/km}$
Relief faible	$2 < Ig < 5$
Relief assez faible	$5 < Ig < 10$
Relief modéré	$10 < Ig < 20$
Relief assez fort	$20 < Ig < 50$
Relief fort	$50 < Ig < 100$
Relief très fort	$Ig > 100$

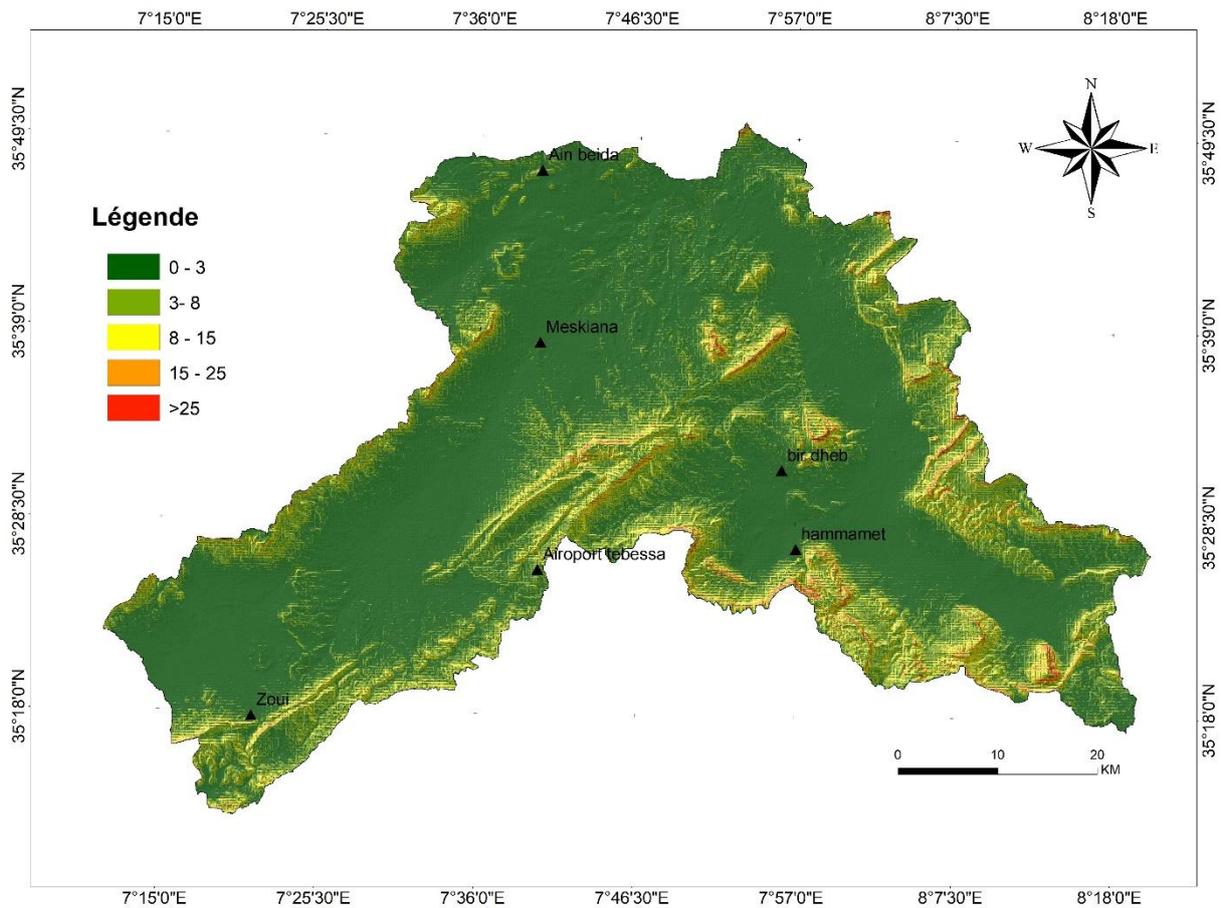


Figure III.5. Classe des pentes dans le bassin versant Chabro-meskiana

D'après la carte des pentes des deux bassins, on distingue quatre classes :

Classe 1 : ( $<3^\circ$ ) Les pentes comprises entre 0% et 3 %, présentent la partie la plus grande. Elle occupe 53.4% de la surface total du bassin, (**Chabro et Meskiana**),

Classe 2 : ( $3-8^\circ$ ) C'est la classe des pentes moyennement faible, qui couvre 27.5% de la surface des deux bassins,

Classe 3 ( $8-15^\circ$ ): Les pentes comprises entre  $8^\circ$  et  $15^\circ$  , elles occupent 12% de la surface globale et concernent les zones où l'absence du couvert végétal favorise l'accélération du ruissellement,

Classe 4 : ( $15-25^\circ$ ) C'est la classe de moyenne a fortes pentes, elles occupent 5.4% de la surface totale,

Classe 5 ( $>25^\circ$ ) c'est la classe de très forte pente qui représente seulement 1.6% de la surface total du bassin qui se trouve surtout dans les sommets.

#### 4.7. Dénivelée spécifique (Ds) :

- Elle apparaît comme une correction de la dénivelée (D) par l'application d'un Coefficient qui dépend de la forme du bassin, qui est exprimé en (m).

Elle est obtenue à partir relation suivante :

$$Ds = Ig\sqrt{A}$$

Ds : dénivelée spécifique.

Ig : indice de pente global

A : surface du bassin

Ds meskiana=314m

Ds chabro=291m

La dénivelée spécifique des deux bassins montre que le relief assez fort d'après le tableau nm

Tableau .III.8 : Classification du relief selon Ds

Ds < 10 m	Relief très faible
10 < Ds < 25 m	Relief faible
25 < Ds < 50 m	Relief assez faible
50 < Ds < 100 m	Relief modéré
100 < Ds < 250 m	Relief assez fort
250 < Ds < 500 m	Relief fort
Ds > 500	Relief très fort

#### 5- Les caractéristiques morphométriques :

##### 5.1. Densité de drainage :

Elle est définie comme le rapport de la longueur total (Lx), en km à la superficie totale du bassin (A) en km<sup>2</sup> soit

$$Dd = \frac{\sum Lx}{A}$$

Dd : densité de drainage (Km/Km<sup>2</sup>),

Lx : La longueur totale cumulée des thalwegs du bassin de l'ordre x en ( km),

A : La surface du bassin en km<sup>2</sup>.

Dd chabro : 1.62 (Km/Km<sup>2</sup>),

Dd meskiana : 1.13 (Km/Km<sup>2</sup>).

La densité de drainage dans le bassin versant *Meskiana – Chabro*, est grande, elle varie entre (1.13 et 1.62 ) km/km<sup>2</sup>. Dans les zone ou le couvert végétal est plus ou moins dégradé, la pente est modérée , tous ces facteurs aident à l'accélération de l'écoulement et de l'érosion.

### 5.2- Temps de concentration (Tc) :

C'est le temps nécessaire pour une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée pour parvenir à l'exutoire, il calculer par la formule suivante :

$$T_c = 4(A + 1.5L)^{1/2} / 0.8(H_{moy} - H_{min})^{1/2}$$

Tc : le temps de concentration(h), A : la surface du bassin (km)

Tableau.III.8 : temps de concentration des deux bassins

Bassin	A(Km <sup>2</sup> )	L(Km)	Hmoy	Hmin	Tc
chabro	1571	23.6	1285	638	11.3(h)
Meskiana	1654	53.8	1180	635	13.7(h)

L : la longueur du talweg principal (km)

H moy : l'altitude moyenne(m)

Tc : temps de concentration (heure)

A : surface du bassin, (Km<sup>2</sup>)

H min : altitude minimal(m)

Tableau III.10 : Récapitulation des paramètres des bassins versants chabro-meskiana

Paramètres	symbole	unités	meskiana	Chabro
Surface	A	Km <sup>2</sup>	1854	1571
Périmètre	P	Km	248.24	246.11
Coefficient de Gravelus	Kc	/	1.61	1.73
Longueur du rectangle équivalent	L	Km	106	92.5
Largeur du rectangle équivalent	l	Km	17.6	16.9
Altitude maximal	H max	m	1550	1624
Altitude moyenne	H moy	m	1180	1285
Altitude minimal	H min	m	635	638
Dénivelée	D	m	775	675
Indice de pente global	Ig	m/Km	7.31	7.33
Dénivelée spécifique	Ds	m	314	291
Densité de drainage	Dd	Km/Km	1.13	1.62
Temps de concentration	Tc	heures	13.79	11.30

## 6. Etude des facteurs climatiques :

### 6.1. Précipitation :

La zone d'étude est située là où les précipitations moyennes annuelles sont comprises entre 376mm et 485 mm. On remarque que la partie de meskiana est (caractérisée par des précipitations élevées (>440mm), par rapport à la partie Est de l'oued Chabro (Fig III.5).

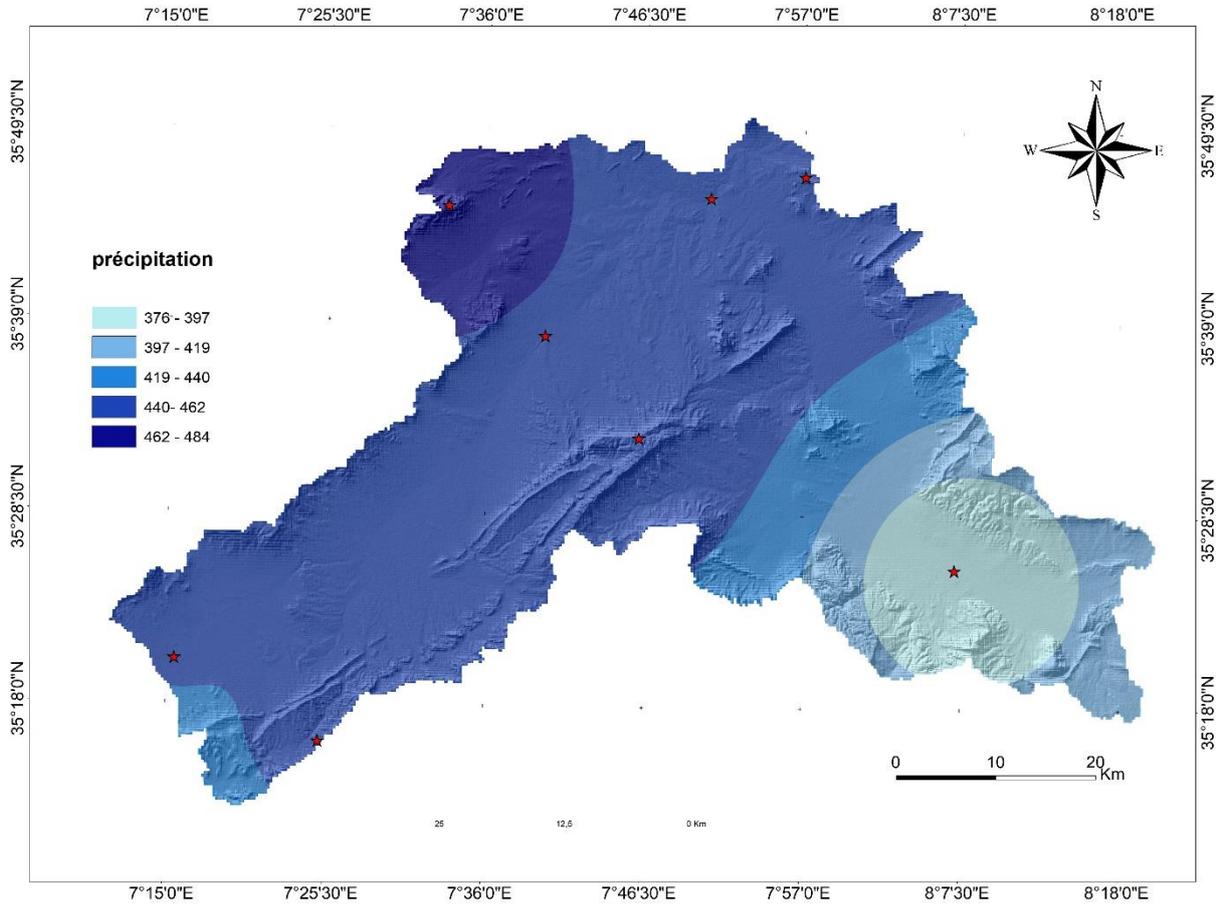


Figure III.6 Carte des précipitations moyennes annuelles de la zone d'étude

Tableau III.11. Coordonnées des stations météorologiques, Worldclim (FAO) (2000-2020) :

point	x	y	Précipitation mm)	Erosivité (R)
1	419978,37	3920793,2	376,25	54 ,78
2	395674,84	395841,04	454,99	72,16
3	405153,02	3960562,11	456,2	73,27
4	379038,92	3944570,32	462,3	73,23
5	369423,94	3957768,37	484,05	75,7
6	388412,03	3934208,92	452,5	72,08
7	356161,62	3903760,46	442,6	71,99
8	341811,63	3912229,02	441,15	71,9
9	326622,71	3922425,89	458,45	74,25
10	322797,32	3894392,87	388,55	66,22
11	407957,68	3977574,46	452,65	71,97
12	416316,43	3887501,58	400,1	68,74

## 6.2. La Température :

La température est un élément primordial du climat. Sa variation influe sur tous les facteurs météorologiques, soit les précipitations, l'évaporation, la vitesse du vent et aussi sur l'insolation.

### 6.2.1. Etude des variations de la température (station Tébessa 1980-2020) :

- *Courbe des minimas (m) (Fig III.7) :*

la valeur des minimas est entre  $-3,45^{\circ}$  à  $13,44^{\circ}$ , avec une valeur minimale ( $-3.45$ ) au mois de *Janvier*.

- *b) Courbe des maximas (M) (Fig III.7) :*

la valeur maximale en mois de *Juillet*, ( $39,91^{\circ}$ ).

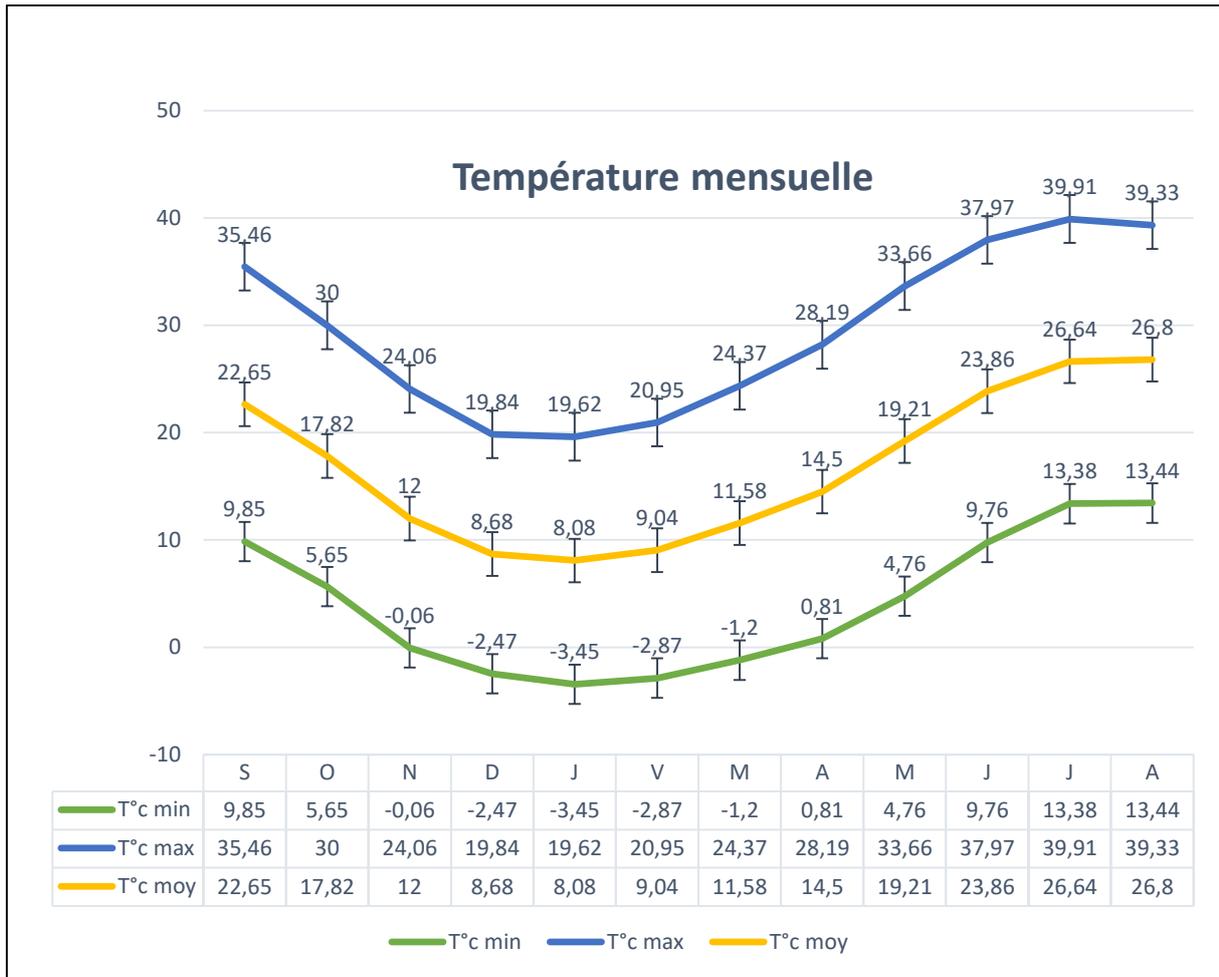


Figure III.7. Température mensuelle, (la station de Tébessa)

• **Température moyenne :**

Les températures sont toujours inférieures à 11c°. Durant les mois de *décembre jusqu'* au mois de *Mars*, on perçoit que le mois de *Juillet* est le plus chaud et le mois de *Janvier* est le plus froid, donc l'année est divisée en deux saisons thermiques :

- ✓ une saison chaude commence le mois du *Mai jusqu'à Octobre*, où la température moyenne (19c°-26c°) est supérieure à la température moyenne annuelle (15c°).
- ✓ une saison froide (*Novembre – Avril*), avec une valeur minimale au mois de *janvier* (3,45c°).

### 6.3. Le régime du vent :

Dans notre zone d'étude les vents les plus dominants sont ceux qui proviennent de la direction W- NW pendant les mois de *Novembre* à *Avril*, et du *Sud* généralement pendant le mois de *Mai* à *Juillet*.

Les vents sont *fréquents* pendant les périodes hivernales, avec une vitesse moyenne maximale d'environ 6/10 m/s.

Durant la saison estivale, les vents chauds et secs engendrent une diminution simultanée de l'humidité atmosphérique et un accroissement de la température, ce qui engendre une augmentation de l'évapotranspiration. (Fig III.7).

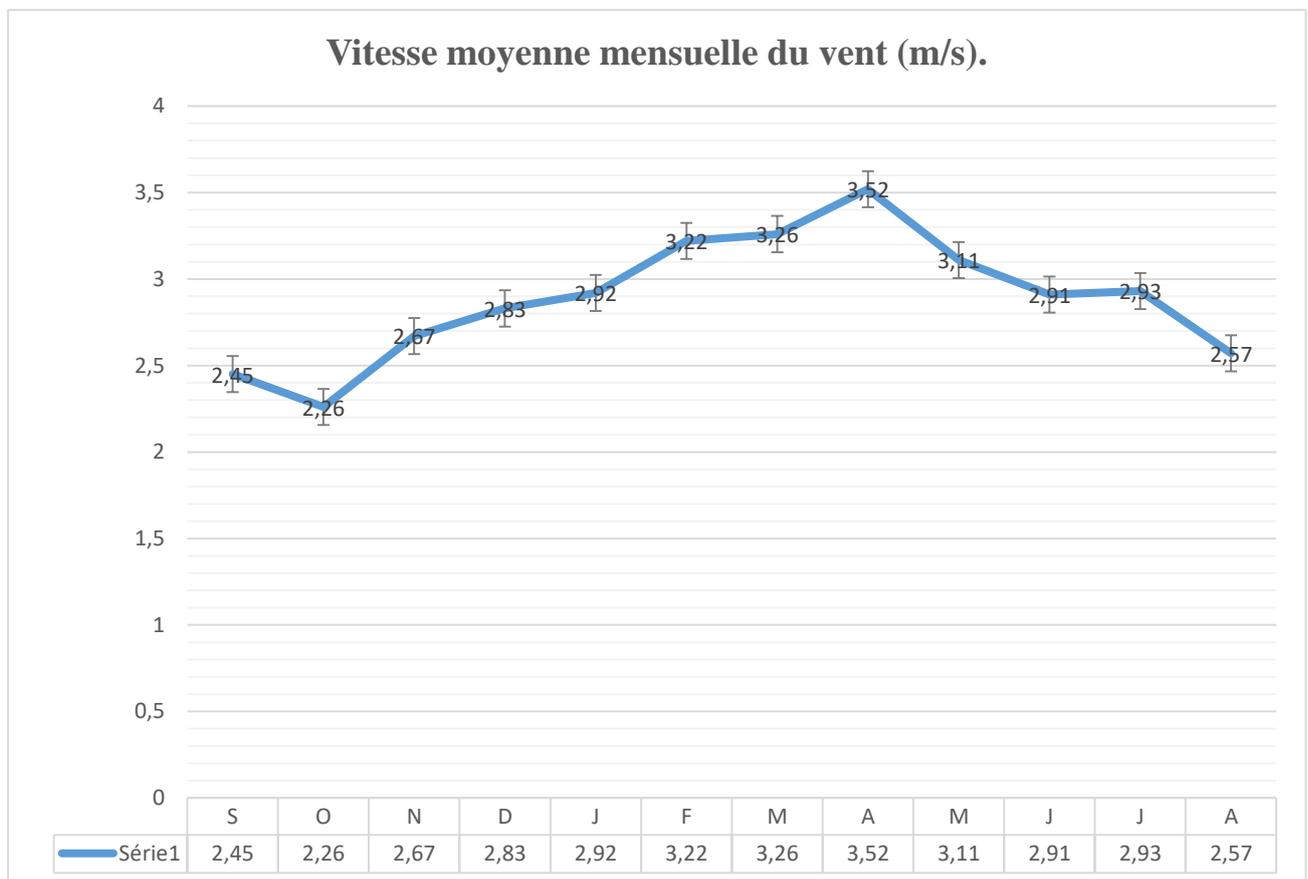


Figure III.8. Vitesse moyenne mensuelle du vent (m/s)

#### 6.4 .L'humidité relative :

L'humidité relative est définie comme : le rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau de l'air humide avec la pression de saturation d'une même température.

Sa valeur dépasse les 50% pendant 8 mois, avec une valeur maximale (73,1%) en saison hivernale et une valeur inférieure à (50%) durant la saison estivale (avec un minimum en Juillet, 40,33%). (Fig III.8).

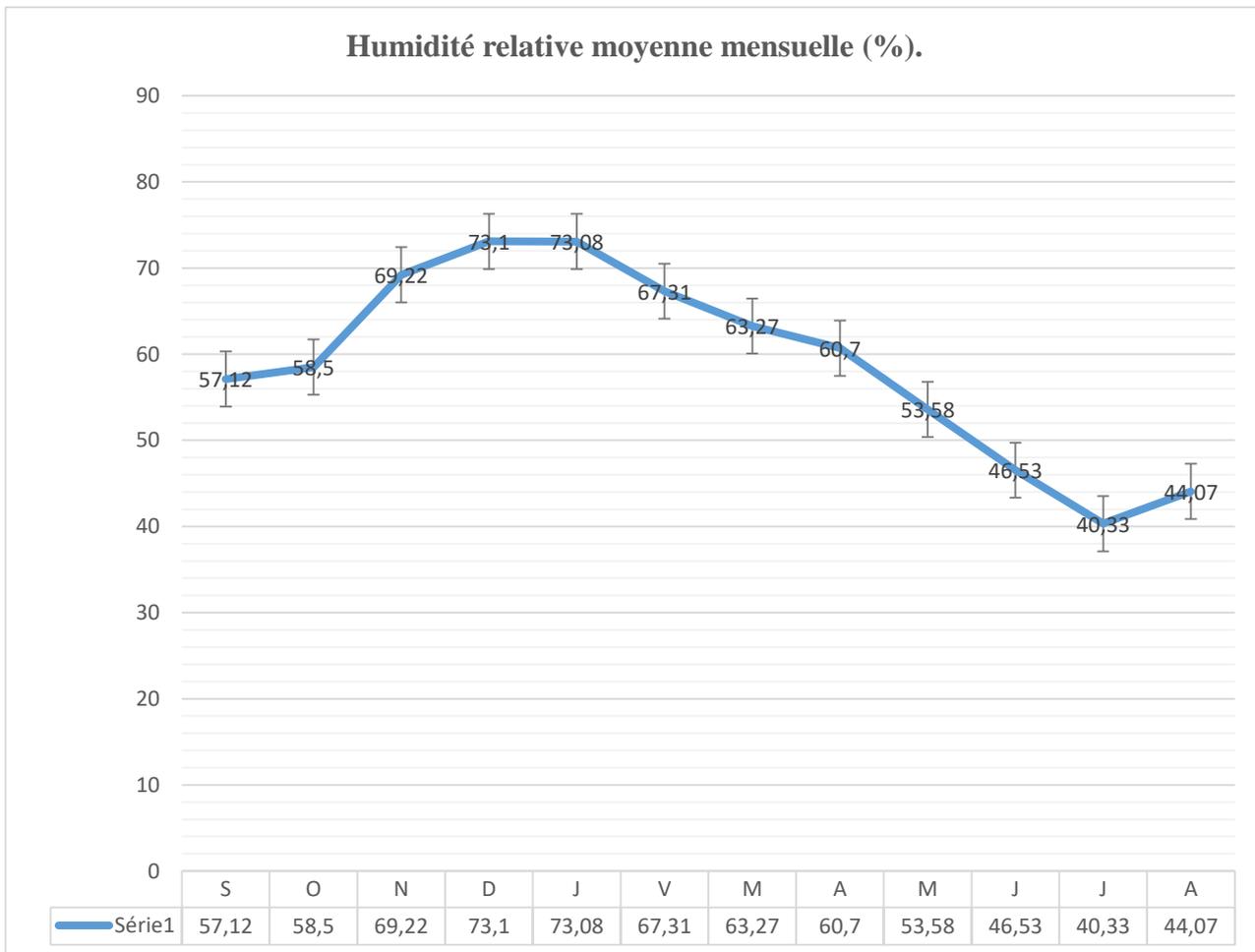


Figure III.9. Humidité relative moyenne mensuelle (%)

### 6.5. L'indice d'aridité mensuel :

Pour suivre l'évolution des conditions climatiques d'une manière très précise durant toute l'année, **Martonne** a proposé l'indice mensuel (I) calculé par la relation suivante :

$$I = 12P/T + 10$$

$P$  : précipitations mensuelles moyennes en (mm).

$T$  : températures mensuelles moyennes en (°C).



Figure III.10. Indice d'aridité mensuelle.(S/A)

Selon la classification de *Martonne*, on estime que :

- durant le mois de *Juillet*, le climat est : **hyperaride**.
- Au mois d'*Août*, le climat est : **désertique**.
- Au cours des mois de (*Janvier, Février, Avril, Mai, Septembre, Octobre, Novembre, Décembre, Juin*), le climat considéré comme **semi-aride**.
- au mois de *Mars* : on a un climat **tempéré**.

### 6.6. Estimation de l'évapotranspiration :

L'évaporation se définit comme le processus de transformation de l'eau en vapeur. Le processus d'évaporation avec la transpiration est connu par le nom « **évapotranspiration** ».

Ce processus est considéré comme l'une des composantes radicales du cycle Hydrologique. (Belloula 2014)

Ce dernier est un phénomène complexe rassemblant à la fois à deux processus, la transpiration de l'eau renfermée dans le sol et la transpiration correspondant à l'emploi de l'eau atmosphérique plus l'eau du sol par les végétaux.

- ✓ On distingue :
  - Une évapotranspiration potentielle (*ETP*).
  - Une évapotranspiration réelle (*ETR*).

#### 6.6.1. Estimation de l'ETP :

L'estimation de l'évapotranspiration potentielle(ETP) est une opération un peu compliquée.

Plusieurs chercheurs ont traité des travaux concernant les questions ; leurs méthodes diffèrent les unes des autres, (belloula 2016) selon des paramètres introduits dans l'estimation. On va essayer d'utiliser la méthode qui nous paraît la mieux adoptée.

- **Méthode de Turk :**

Basée sur des compartiments hypsométriques, enracinées sur 258 bassins à l'échelle mondiale.

*Turk* a prouvé la relation suivante pour estimer l'ETR :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Avec :

$P$  : précipitations moyennes annuelles, (mm).

$L$  : pouvoir évaporant ( $L=300+25T+0,05T^2$ ).

$T$  : températures moyennes annuelles, (c°.)

• **Méthode de Thornthwaite :**

La méthode de *Thornthwaite* a été basée sur plusieurs expériences. On remarque que cette méthode est propice selon les zones climatiques.

L'*ETP* est calculé en fonction de la température, (il faut considérer que les surfaces sont convenablement étendues et le temps assez long.

$$ETP = 1,6 \left( 10 \frac{t}{I} \right)^a$$

*ETP* : évapotranspiration potentielle (*ETP*), mensuelle (cm) pour 1 mois et une durée d'ensoleillement égale à 12 heures.

$t$  : température moyenne mensuelle (c°) du mois considéré.

$I$  : indice thermique annuel qui est égal à la somme des 12 indices mensuels.

$i$  : indice thermique mensuel (de l'abaque).

$a$  : indice compté à partir de la formule suivante :

$$a = \frac{1,6}{100} I + 0,5$$

**6.6.2. Comparaison entre les formules de turc et Thornthwaite :**

Les valeurs de l'évapotranspiration réelle (ETR) et potentielle (ETP) trouvées par les deux méthodes de turc et de Thornthwaite, sont présentées dans le (Tableau III.8).

Tableau III.12 : comparaison entre ETP et ETR de la formule de turc et Thornthwaite

Méthode	P%	ETP	ETR
Turk	96,05	1199,84	371,64
Thornthwaite	86,28	773,04	333,86

Les valeurs les plus grandes l'ETP et l'ETR sont données par la méthode de *Turk*. D'après les résultats obtenus, on estime que la méthode de *Thornthwaite* donne des valeurs plus proches de la réalité, ce qui va nous conduire à calculer le bilan hydrique par les résultats donnés par *Thornthwaite*.

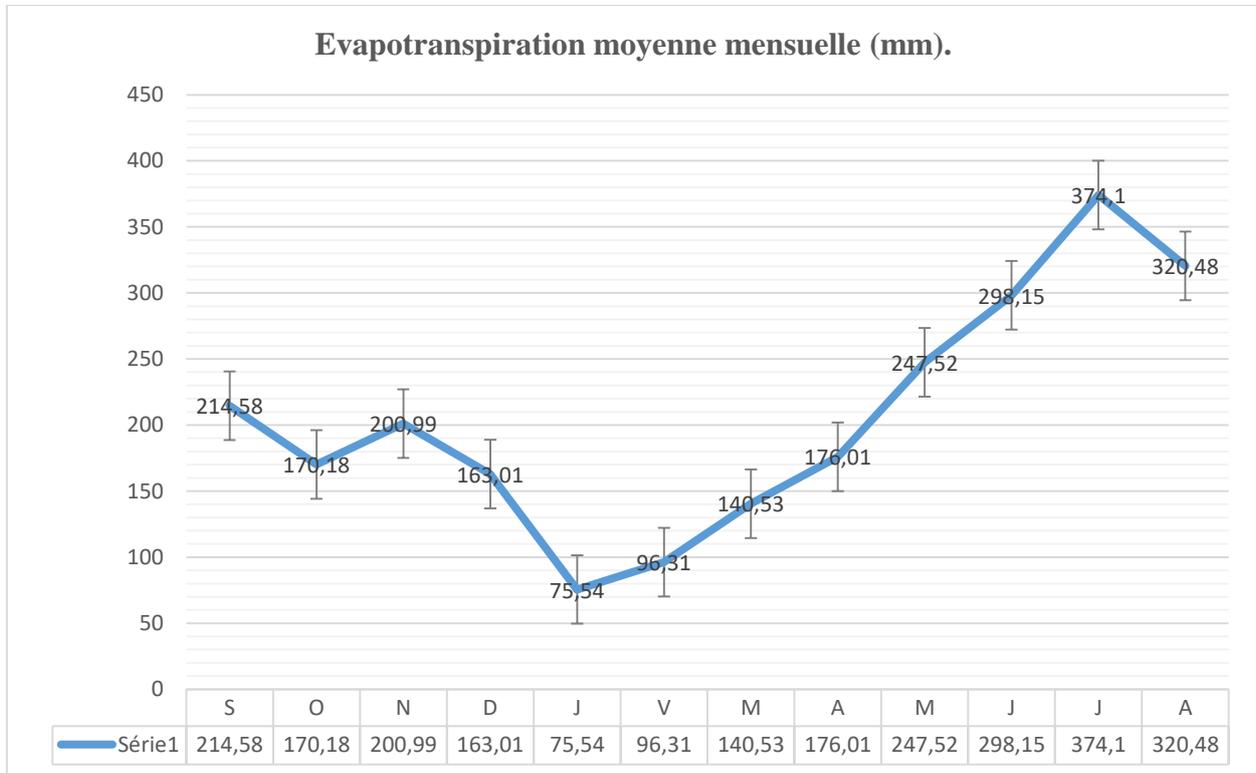


Figure III.11. Courbes d'évapotranspiration mensuelles.

### 6.7. Bilan Hydrique :

L'équation du bilan selon Thornthwaite est définie comme suit :

$$P = ETR + R + I$$

$P$  : les précipitations moyennes annuelles en (mm).

$ETR$  : l'évapotranspiration réelle annuelle en (mm).

$R$  : lame d'eau ruisselée en (mm).

$I$  : lame d'eau infiltrée en (mm).

**6.8. Ruissellement de surface :**

Le ruissellement est défini comme l'écoulement des eaux instantané et temporaire sur un versant, après une averse, et selon la formule de *Tixeront-Berkaloff*, il est estimé par la formule suivante :

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

**R** : ruissellement (mm).

**P** : précipitations moyennes annuelles (mm).

**ETP** : évapotranspiration potentielle (mm).

D'après cette formule, la valeur de ruissellement dans la zone d'étude est égale à :

$$R=47 \text{ (mm)}$$

- Le ruissellement Représente 10 % des précipitations moyenne annuelle.

**6.9. L'infiltration :**

L'infiltration est la quantité d'eau pénétrée dans le sol et dans le sous-sol.

A l'aide de l'équation du bilan hydrique, on peut calculer la valeur de l'infiltration :

$$\begin{aligned} P &= ETR + R + I \\ I &= P - (ETR + R) \end{aligned}$$

**ETR** : évapotranspiration réelle ETR (mm)

**I** : infiltration (mm).

**P** : précipitations annuelles (mm).

**R** : ruissellement de surface (mm).

D'après cette formule, la valeur de l'infiltration dans la zone d'étude est égale à :

$$I=21 \text{ mm}$$

## 7. Conclusion :

L'étude climatologique de La zone d'étude nous a permis de conclure que le climat est semi-aride de type continental, avec un hiver froid et pluvieux généralement, et un été chaud et sec, sous l'influence d'un ensemble des facteurs principalement géographiques comme l'éloignement de la mer, altitude des versant et orientation des reliefs... etc.

La température annuelle moyenne est de (15.85 °c), Les précipitations annuelles moyennes, sur une période de 21 ans (2000 –2020), égale a (413 mm).d'après la méthode de turc et Thornthwaite L'évapotranspiration réelle (ETR) calculée de pour la (station Tébessa) de (341.32 mm/an), Le ruissellement calculé par la formule empirique de Tixeront et Berkaloff, ne bénéficie que (6.8 %) des précipitations (Tébessa) avec une lame d'eau annuelle de (25.69 mm).

D'autre part, l'infiltration calculée par la formule de bilan, égale à (20.74 mm).

L'étude morphométrique permet de quantifier les caractéristiques d'un bassin versant, selon le coefficient de Gravelus le bassin versant a une forme moyennement allongée le temps de concentration est Considéré important, en raison de la forme et le relief (modéré à fort) dans son ensemble. La pente est assez forte où la répartition des valeurs met en évidence la sensibilité de ce bassin au phénomène de l'érosion.

**Chapitre IV**

**Estimation des paramètres et cartographie  
de la susceptibilité du sol à l'érosion  
hydrique**

## 1. Introduction :

Ce chapitre vise à évaluer la sensibilité des sols à l'érosion hydrique dans le bassin versant Mellégué, (chabro-meskiana) en utilisant l'imagerie multi bande et le système d'information géographique (SIG) et l'application de l'équation RUSLE qui est le produit de cinq facteurs d'érosion :

- l'érosivité du sol (K),
- l'érosivité des précipitations (R),
- la pente et la pente (LS),
- le couvert végétal (C),
- les pratiques anti-érosives (P).

Chacun de ces facteurs est représenté sous la forme d'une carte thématique.

Comme nous avons expliqué dans le premier chapitre, le modèle R-USLE est basé sur des lois mathématiques appliquées, à l'aide de facteurs calculés et déterminés à partir d'observations sur le terrain avec des analyses et des essais en laboratoire (chapitre II)

Le modèle R-USLE est basé sur des lois mathématiques appliquées. Il s'agit du modèle mathématique le plus couramment utilisé pour prédire les pertes des sols dues à l'érosion de surface. Il prédit le taux d'érosion annuel moyen à long terme d'un terrain en fonction des facteurs contribuant à ce phénomène :

- Les précipitations,
- le type de sol,
- la topographie,
- le couvert végétal
- les pratiques antiérosives.



figure IV.1 Quelques aspects de l'érosion dans la zone d'étude

## 2. Méthodologie :

L'équation a été intégrée sous un système d'information géographique en fonction de nombreux facteurs tels qu'indiqués dans l'équation universelle afin de permettre une modélisation et une cartographie exhaustive du phénomène érosif.

Dans cette étude, la cartographie de l'érosion hydrique se fera au travers de l'application du modèle RUSLE, (Wischmeier et smith ,1978) ,à cause de sa simplicité et la disponibilité des données utilisées plus l'échelle d'investigation très étendue, ce qui conduit à l'utilisation remarquable de cette équation à l'échelle mondiale et surtout en Afrique , (Angima et al. 2003, EL-garouanI et al. 2008, Mhangara et al. 2012, Benkadja et al. 2015, Sadiki et al 2017, Bouhadeb et al. 2018,).

Cette équation a été intégrée sous SIG selon de nombreux facteurs présentés dans l'équation générale, pour une meilleure modélisation et cartographie de l'érosion.

### 2.1. L'équation RUSLE :

$$A = R * K * C * LS * P$$

**A** : Moyenne annuelle estimée de perte du sol (t ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>),

**R** : Facteur d'érosivité de la pluie (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>),

**K** : Facteur d'érodabilité du sol (t h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>),

**L** : Facteur de longueur de la pente,

**S** : Facteur de rugosité de la pente,

**C** : Facteur de couverture végétale,

**P** : Facteur des aménagements.

Comme indiqué précédemment (chapitre I), la méthode de travail comprend l'intégration et la représentation d'informations cartographiques et descriptives de divers facteurs et paramètres d'érosion dans une plate-forme de système d'information, (Fig IV.2).

Ainsi, ce modèle de quantification empirique de l'érosion peut donner des estimations de la perte du sol par unité de surface, (en T/ha/an).

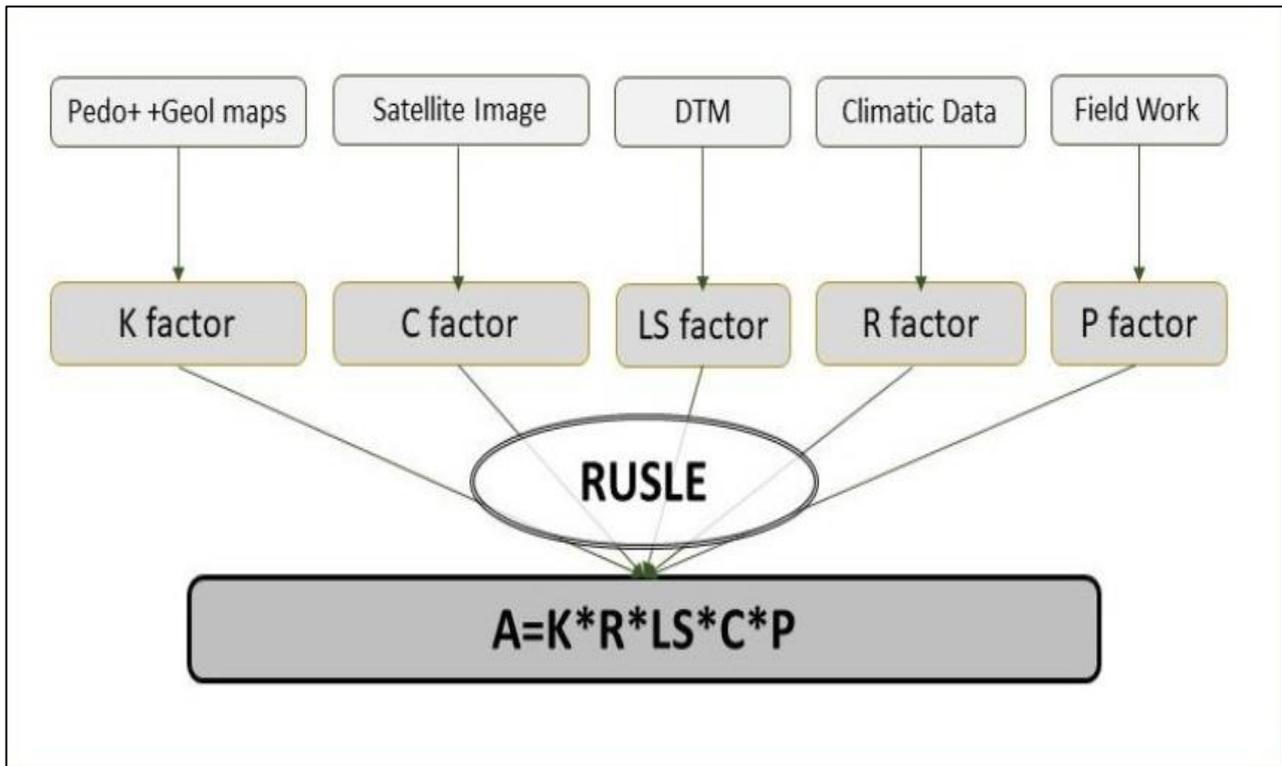


Fig. IV.2. L'organigramme utilisé pour l'évaluation de l'érosion des sols

### 3. Estimation des paramètres :

#### *3.1 évaluation de l'érodabilité des sols (K) :*

L'érodabilité des sols a été déterminée en fonction de :

- la texture,
- la structure,
- la matière organique,
- la perméabilité.

Le modèle est écrit :

$$K = ((2.1 \times 10^{-4} \times (12 - Mo) \times M^{1.14}) + 3.25 \times (S-2) + 2.5 \times (P-3)) / 100$$

On a :

**K** : érodabilité du sol,

**Mo** : teneur en matière organique en %,

**M** : terme textural,

Ou  $M = (\text{limon} + \text{sable fin}) \% \times (100 - \text{argile} \%)$ ,

**S** : code structural du sol varie entre 1 et 4, (1 = une structure grenue très fine et 4 = une Structure massive ou en bloc),

**P** : code de perméabilité qui est varié entre 1 et 6, (1 = les sols à drainage rapide et 6 = les sols à drainage très lent),

Tableau IV.1 : valeur de l'érodabilité en fonction de la surface

VALUE	K_	POURCENTAGE
1	0-0.14	28,8699087
2	0.14-0.20	14,0200057
3	0.20-0.30	57,0371071
4	0.30-0.34	0,07297851

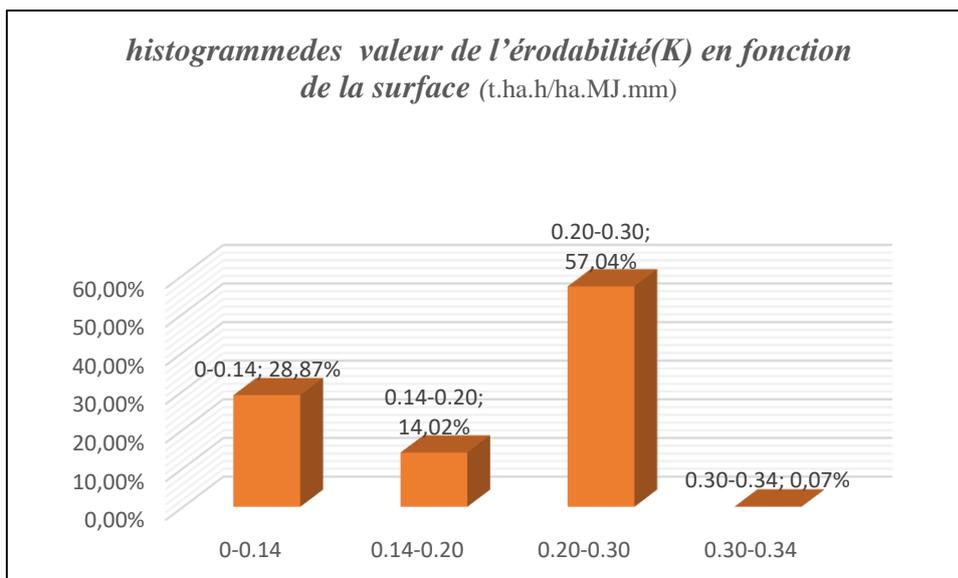
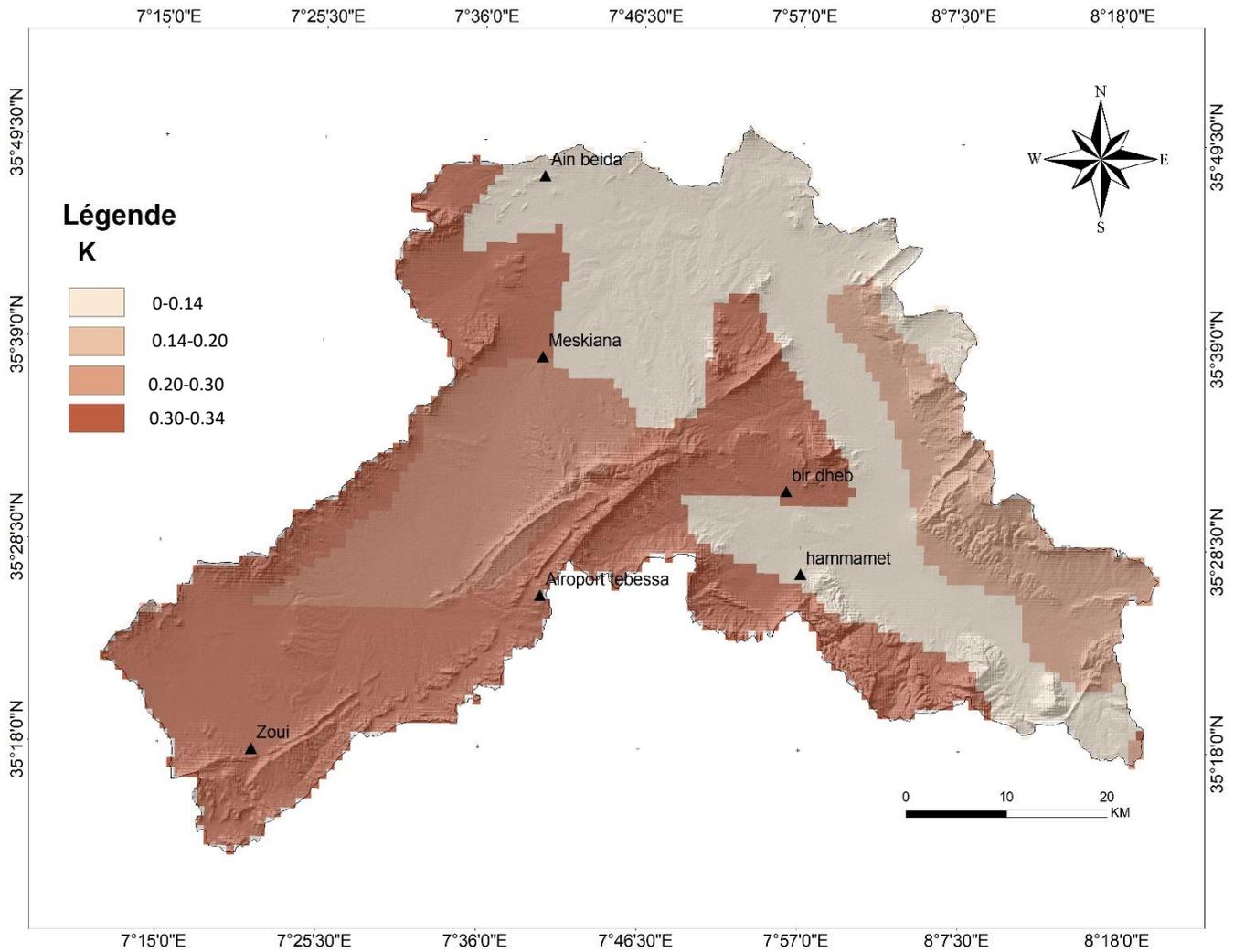


Figure IV.3 *histogramme des valeurs de l'érodabilité(K) en fonction de la surface (t.ha.h/ha.MJ.mm)*



FigIV.4 carte du facteur K (T.ha.h)

Les valeurs calculées de l'indice d'érodabilité K varient entre 0,14 et 0,34 (FigIV.4). Ils sont divisés en quatre classes de sols.

Les valeurs d'érodabilité K calculées pour chaque type de sol montrent que presque la majorité des sols (>50%) ont une érodabilité modérée (0.20-0.34).

La comparaison de cette carte avec la carte pédologique et la carte topographie, montre que les sols en pentes raides et bordant les vallées sont les zones où la dégradation des sols est très intense.

**3.2 Evaluation de l'érosivité des pluies R :**

Selon la formule de wischmeier et smith(1978), l'estimation du facteur de l'érosivité R a besoin de connaître les valeurs : de l'énergie cinétique (Ec) plus l'intensité moyenne(I30), qui est donnée par la formule :

$$R = k.Ec.I 30$$

K : coefficient dépendant du système d'unités de mesure,

I30 : l'intensité moyenne des gouttes de pluie sur 30 minutes de chaque averse.

Dans notre cas, les seules données disponibles sur les précipitations aux stations situées dans ou à proximité du bassin étaient des moyennes mensuelles et annuelles.

Il ya certains auteurs comme kalman (1967), arnoldus(1980), rango et arnoldus (1987) qui ont développé des formules alternatives pour déterminer le facteur R impliquant uniquement les précipitations mensuelles et annuelles.

La formule de rango & arnoldus (1987) est appliquée sur douze sites situés dans le Grand Maghreb, donc cette formule correspond bien à notre zone, on a :

$$\log R = 1,74 \cdot \log \sum \left( \frac{P_i^2}{P} \right) + 1,29$$

R : facteur d'érosivité des pluies exprimé (MJ.mm/ha.h.an),

P : les précipitations annuelles en mm

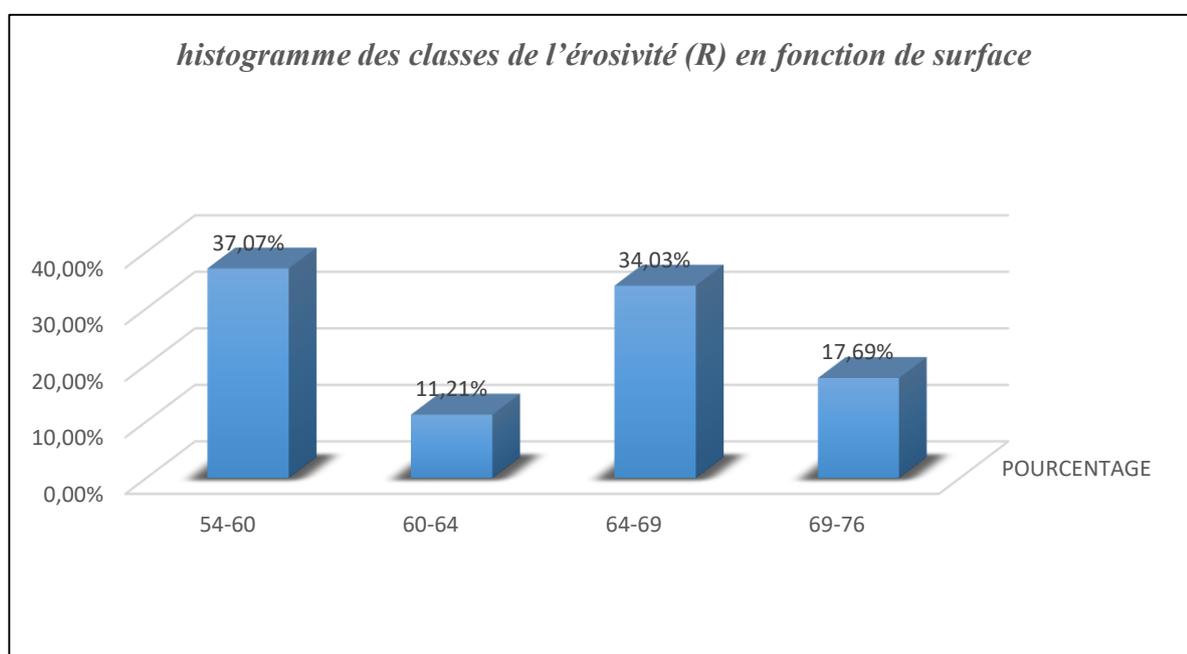
Pi : les précipitations mensuelles

Pour trouver le facteur d'érosivité R, on utilise une série de vingt et une (21) années (2000-2020) de précipitations, on a un nombre important de stations pluviométriques, (tableau VI.2) à l'intérieur et autour de la zone ; ensuite les résultats ont été interpolés sur tous le bassin versant.

Tableau VI.2 : classe de l'érosivité (R) en fonction de la surface

valeur	R	Surface (%)
1	54-60	37,0715818
2	60-64	11,2074065
3	64-69	34,0266715
4	69-76	17,6943402

Figure VI.5 histogramme des classes de l'érosivité (R) en fonction de la surface



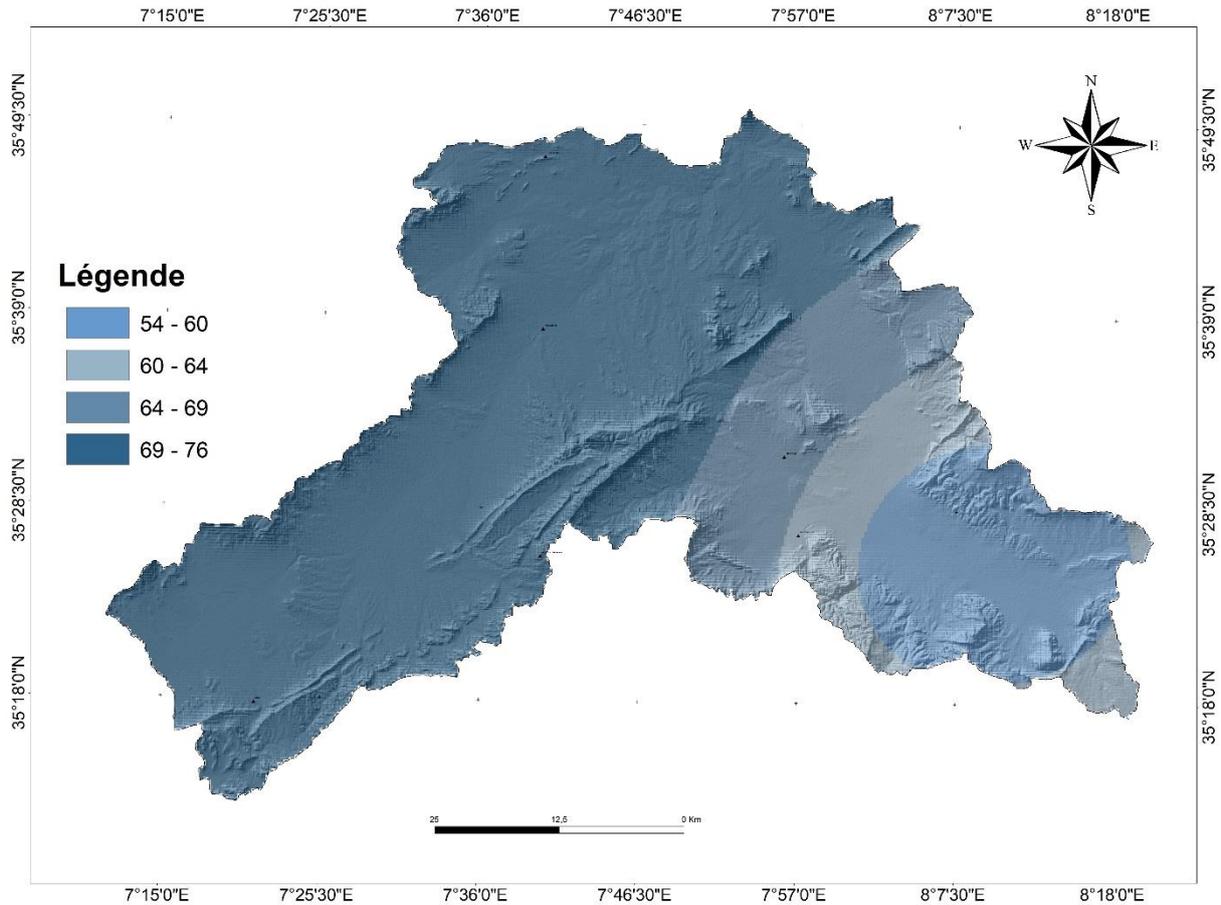


Figure IV.6 : carte du facteur de l'érosivité (R) exprimé (MJ.mm/ha.h.an),

### 3.3 Facteur de la couverture végétale et des pratiques culturales (C) :

C'est un Facteur sans dimension qui représentent l'influence de la couverture végétale sur l'érosion, il est estimé par L'NDVI (l'indice de végétation normalisé), dérivé de l'imagerie satellitaire, (jensen, 2000).

La relation entre le NDVI et le facteur C a été déterminé par l'équation suivante :

$$C = \exp(-\alpha \text{ ndvi} / (\beta - \text{ndvi}))$$

$\alpha$ ,  $\beta$  : Paramètres déterminant la forme de la courbe de NDVI-C, (zhou et al. 2008 ; kouli et al. 2009).

Le facteur (C) combine le couvert végétal, le degré de production végétale et la technique de culture associée (Farhan, 2013). Selon Roose (1996) et Al-Zitawi (2006), ce facteur varie entre 1 pour les sols nus et moins de 0,1 pour les forêts denses.

Ce facteur est varié entre 1 et 0 (1 = un sol nu, 0= une forêt dense).

La distribution spatiale de la couverture végétale et des pratiques culturales montre que les zones les plus vulnérables à l'érosion sont de type "terre nue". Cette classe couvre la quasi-totalité du bassin versant (Fig IV.7).

La répartition spatiale de la végétation et des pratiques culturales du sol montre que les zones les plus susceptibles à l'érosion sont les sols nus, (Comme la quasi-totalité du bassin versant) (fig.IV.8)

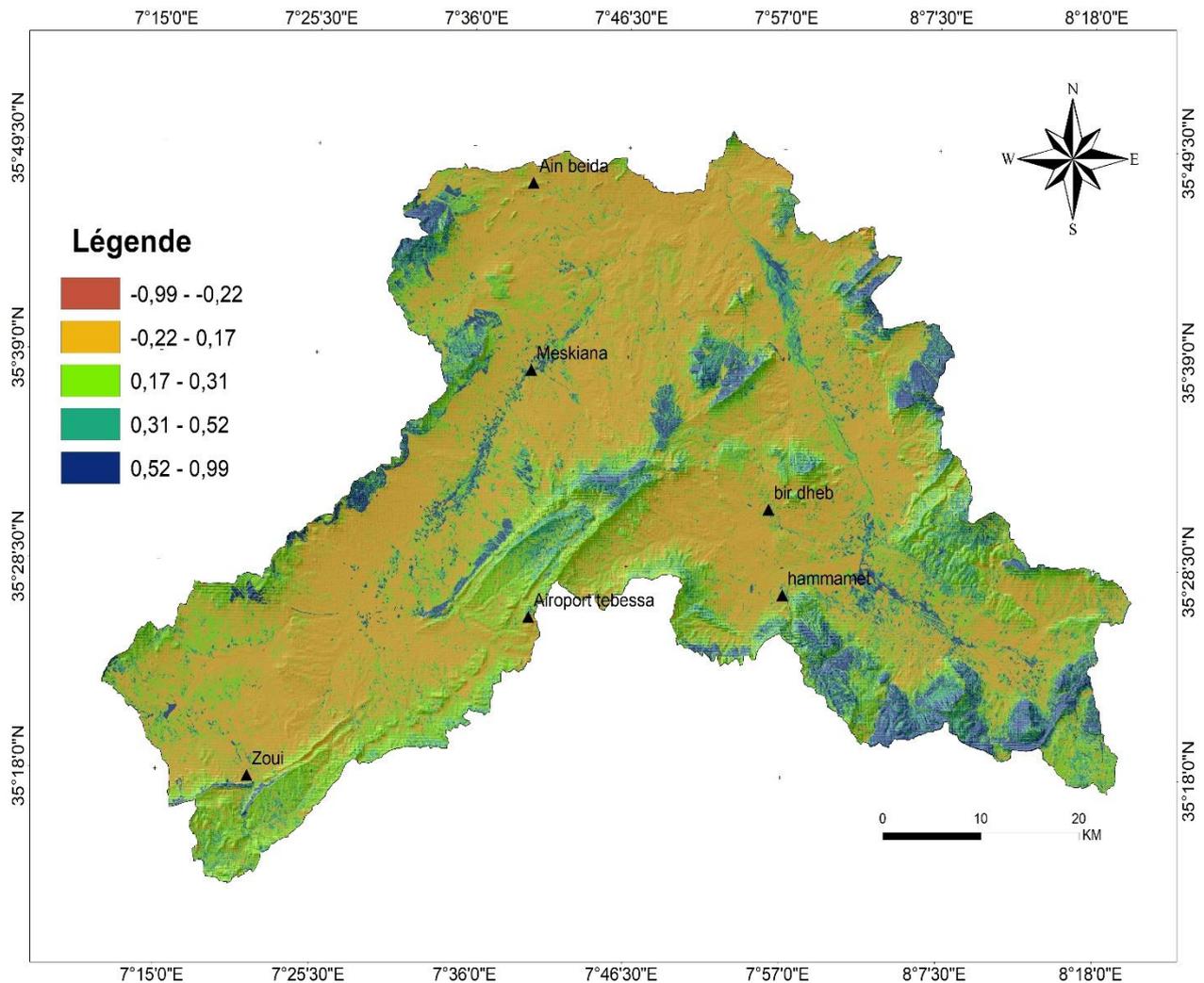
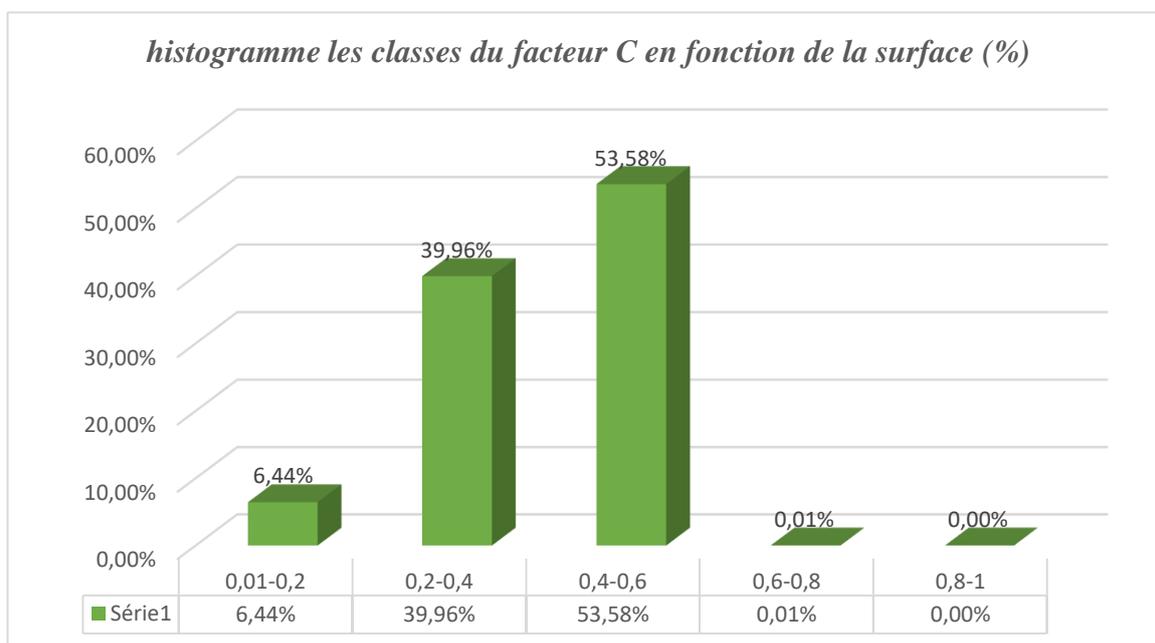


Fig.IV.7 NDVI de la zone d'étude

Tableau IV.3 : les classes du facteur C en fonction de surface (%)

Valeur	C	Surface (%)
1	0,01-0,2	6,43831922
2	0,2-0,4	39,9601311
3	0,4-0,6	53,5845508
4	0,6-0,8	0,01368788
5	0,8-1	0,00331103

Figure IV.8 *histogramme les classes du facteur C en fonction de la surface (%)*

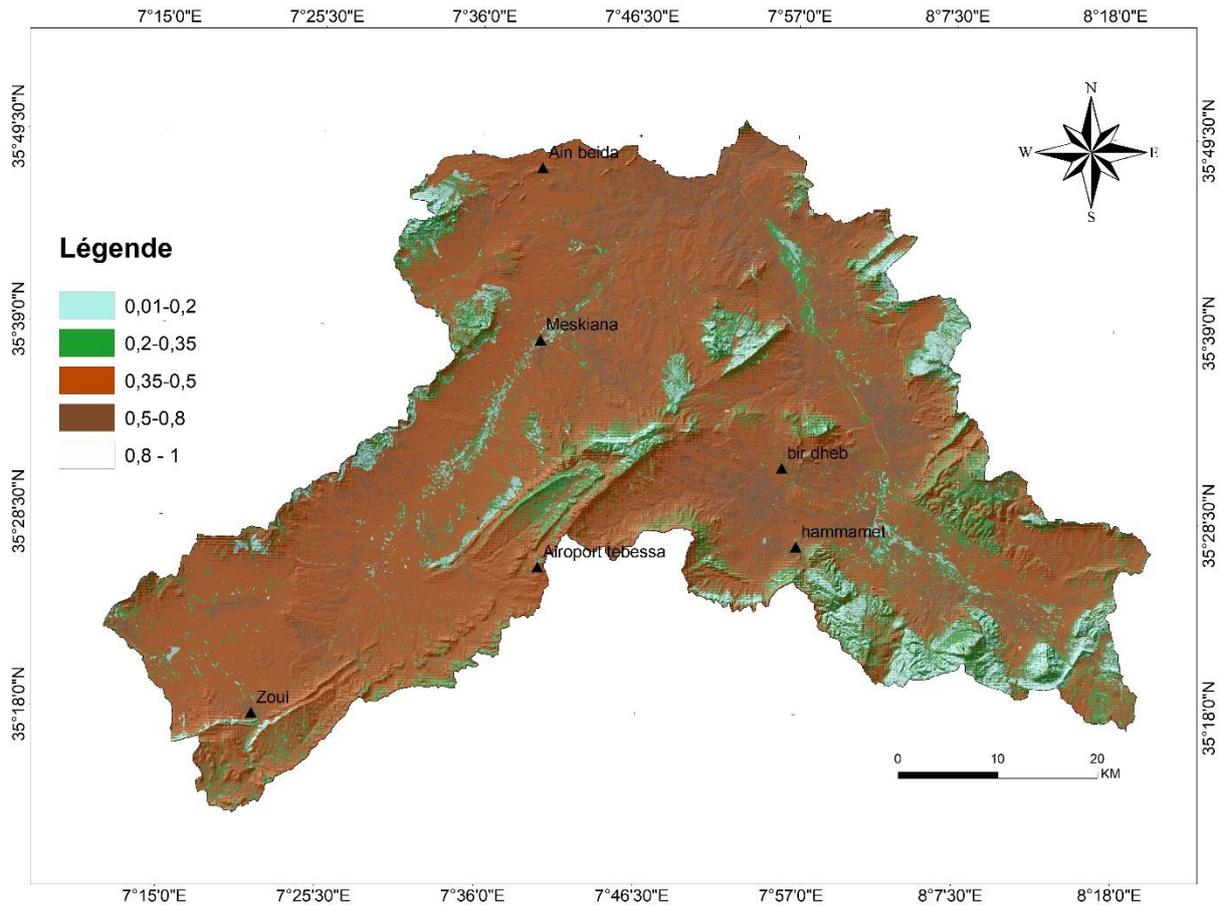


Figure IV.9- carte du facteur (C) dans le bassin versant Mellégue

D'après la carte du facteur C (Fig VI.9), nous distinguons cinq grandes classes de sols ; la valeur la plus faible (0,001) se situe sur les terres plantées d'agriculture et d'arboriculture, cependant, les coefficients de 0,8 à 0,9 se retrouvent dans les zones couvertes de forêts peu denses et espacées. Les coefficients les plus élevés (proche de 1) correspondent aux terrains nus.

### **3.4 Facteur topographique (LS) :**

Le facteur topographique (LS) est un facteur sans dimension, représentant :

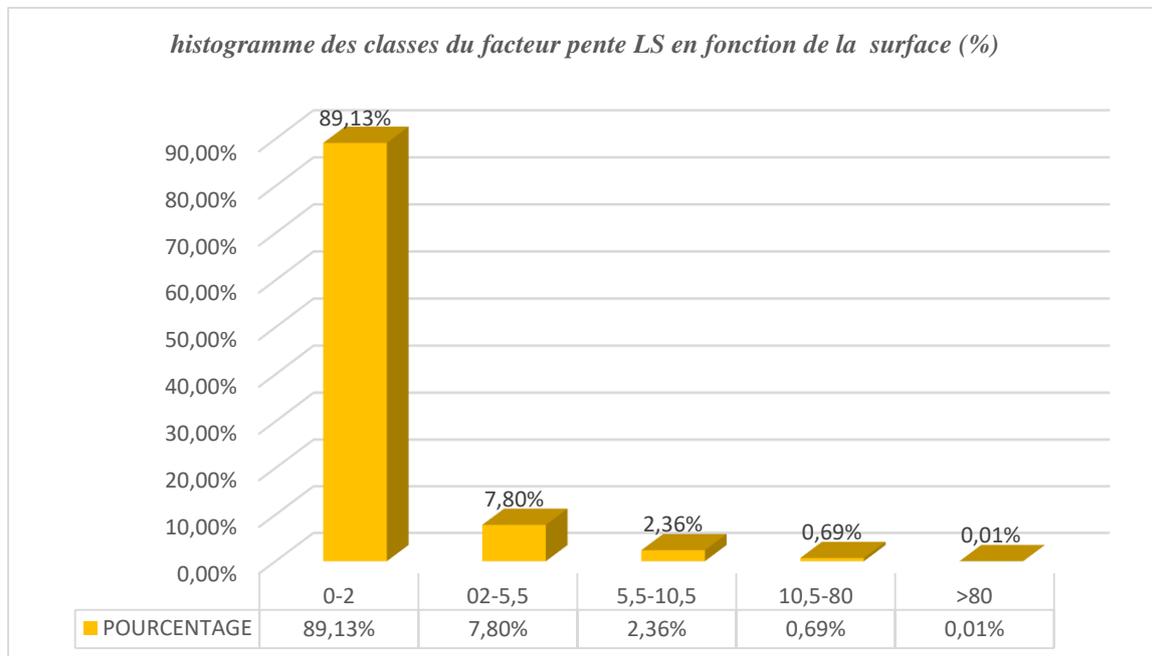
- l'inclinaison (S en %)
- la longueur de pente (L en m) ;

Il a été calculé à partir de traitements sous Arc gis du MNT(30m) de la zone d'étude, en utilisant la formule suivante :

$$LS = 1.6 * \text{pow}([\text{flowacc}] * \text{resolution} / 22.1, 0.6) * \text{pow}(\sin([\text{slope}] * 0.01745) / 0.09, 1.3)$$

**Tableau IV.4:** les classes du facteur pente LS en fonction de la surface (%)

valeur	LS	Surface (%)
1	0-2	89,1345963
2	2-5	7,80301696
3	5-10	2,36166208
4	10-80	0,69378846
5	>80	0,00693617



**Figure IV.10** histogramme des classes du facteur pente LS en fonction de la surface

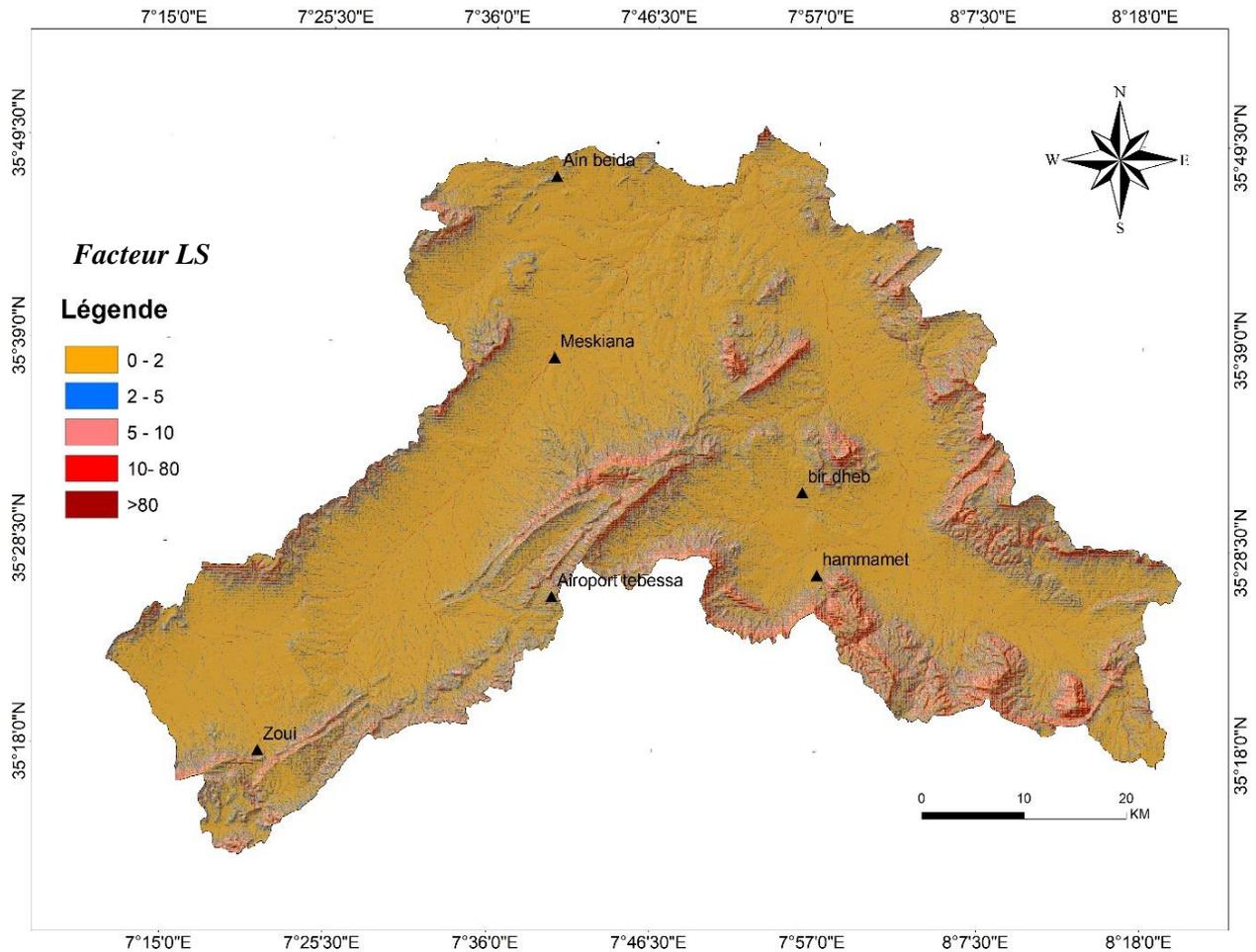


Fig.IV.11 .cartes du facteur pente (LS).

Les valeurs obtenues pour le facteur LS ont ensuite été regroupées en cinq classes de valeurs, ont ainsi été définies pour la cartographie de ce facteur à l'échelle du bassin Mellégué.

On remarque que la longueur et l'inclinaison de pente influence d'une manière très importante sur le processus de l'érosion hydrique dans la zone d'étude.

### **3.5 Pratique antiérosive (p) :**

C'est un facteur sans dimension, il intègre les techniques culturales anti-érosives ; (les cultures en bandes alternées, en courbe de niveau, les reboisements en banquettes, les terrasses, le buttage et le billonage).

Les valeurs de p sont variées entre 0 et 1 (shin, 1999), ( 0 montre un milieu de résistance très bon à l'érosion hydrique d'origine humaine ,et la valeur 1 représente l'absence totale des pratiques anti érosive).



Fig.IV.12. quelques images représente l'absence totale des pratiques anti-érosives dans la zone d'étude

Tableau IV.5 valeurs du facteur de pratique anti-érosives(P) (shin, 1999)

Pente (%)	P
0.0 – 7.0	0.55
7.0 – 11.3	0.60
11.3 – 17.6	0.80
– 26.8	0.90
> 26.8	1.00

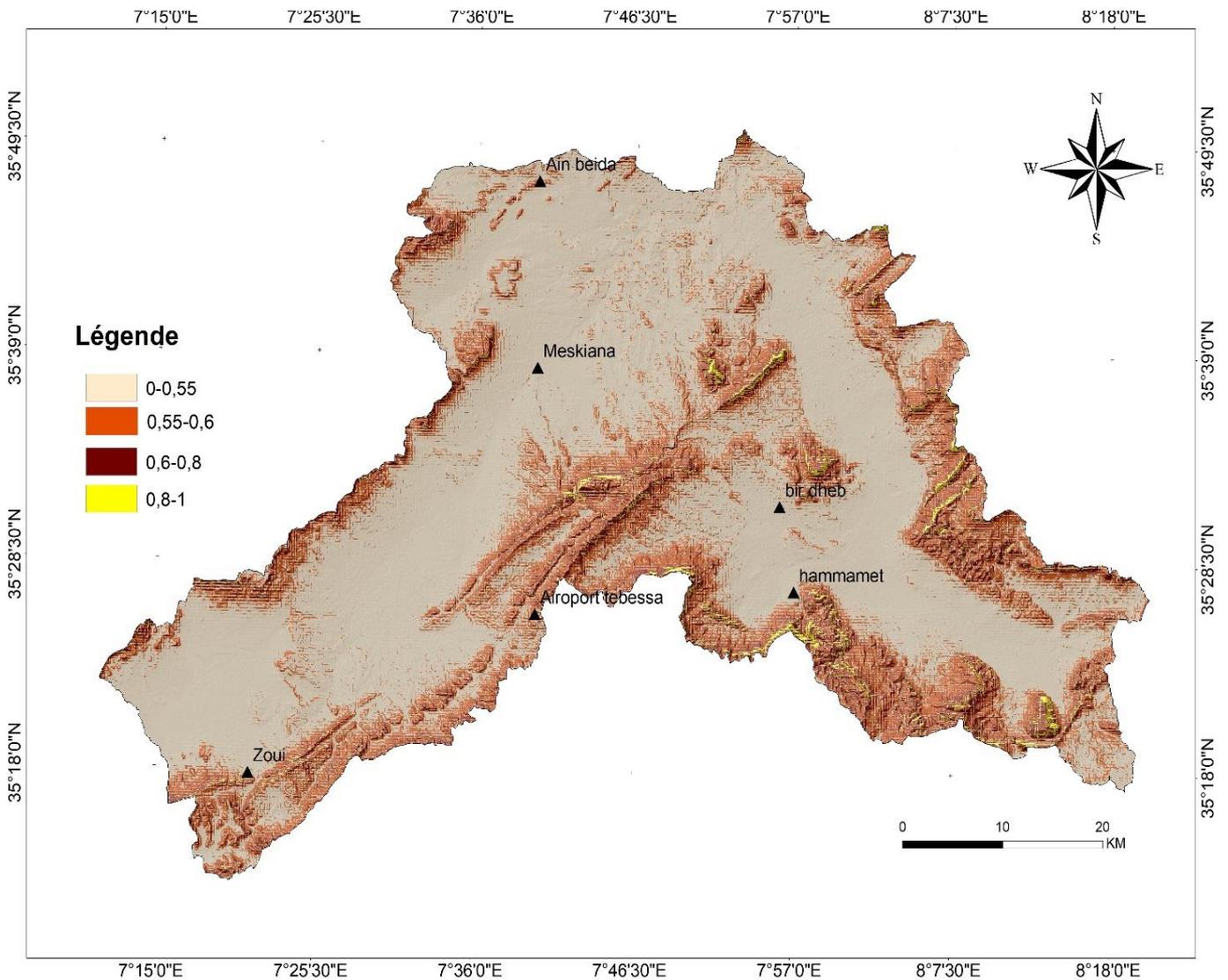


Figure IV .13 *carte de valeurs du facteur de pratique anti-érosives(P)*

**Tableau IV.6** : valeurs du facteur de pratique anti-érosives(P) de la zone d'étude en fonction de la surface

Valeur	P	Surface %
1	0,55	88,5318365
2	0,6	7,58181502
3	0,8	3,0129751
4	0,95	0,81211536
5	1	0,06125804

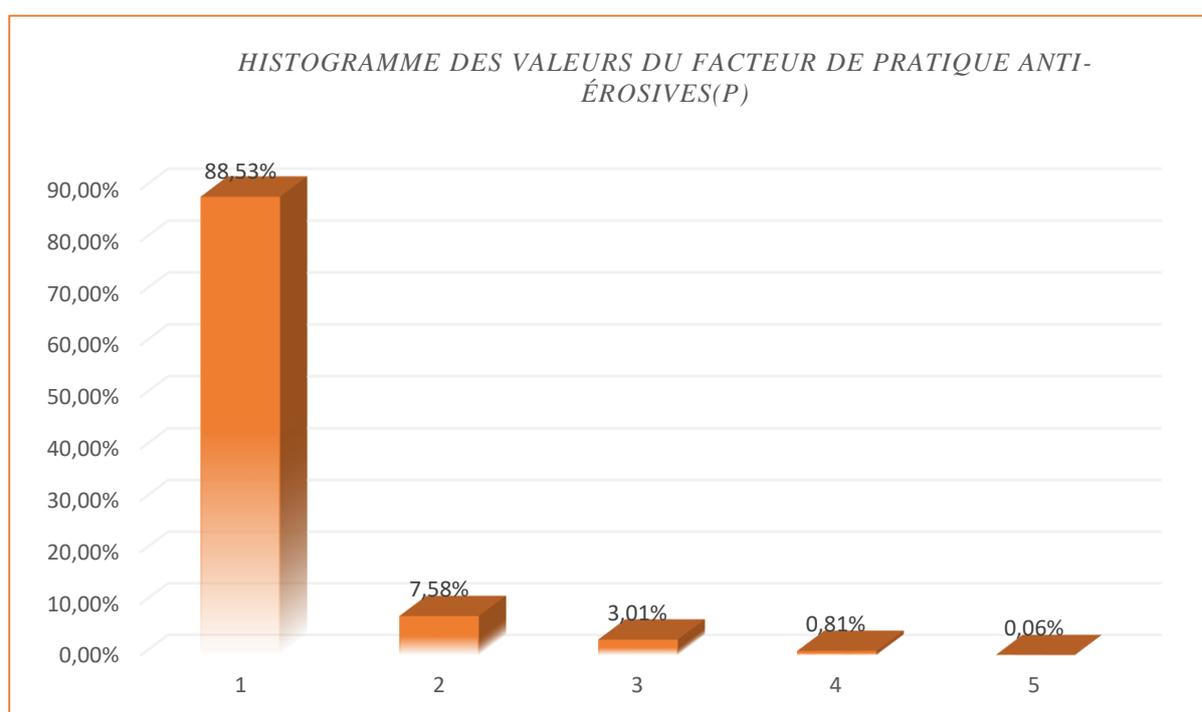


Figure IV .14 *histogramme des valeurs du facteur de pratique anti-érosives(P)*

Ce facteur détermine le rapport entre la perte de sol et les pratiques spécifiques sur les terres agricoles, en particulier avec un labour parallèle contre les pentes, (Wischmeier et Smith 1978 ; Rabia, 2012). A noter que dans notre étude les valeurs faibles et moyennes de P sont attribuées aux zones de pentes faibles à modérées. Ce facteur varie de 0,55 à 0,6 pour les zones à faible pente, et de 0,8 à 1 pour les zones à forte pente (fig IV.13).

#### 4. L'estimation du taux d'érosion :

la combinaison de tous les facteurs du modèle RUSLE donne le taux de l'érosion , on a l'érosivité ( R ), l'érodabilité des sols( K) , la longueur et l'inclinaison de la pente (LS), la couverture végétale( C) et(P) les pratiques antiérosives .

Sa détermination donne la répartition du risque de l'érosion dû seulement à l'influence des facteurs naturels.

Tableau IV.7. Valeurs du taux de l'érosion (tan/He/an)

Classe	A	Surface %
1	0-5	69,9732837
2	5-10	12,6759501
3	10-20	6,44172706
4	20-36	4,55303078
5	>36	6,35600832

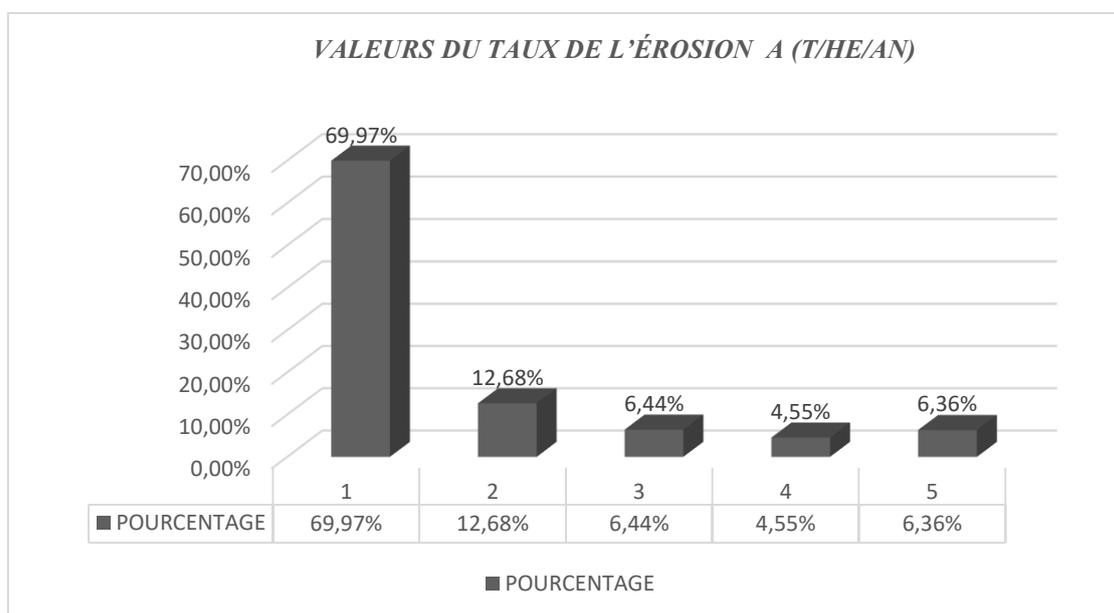


Figure IV .14 *histogramme de la répartition des valeurs du taux d'érosion A en fonction de la surface*

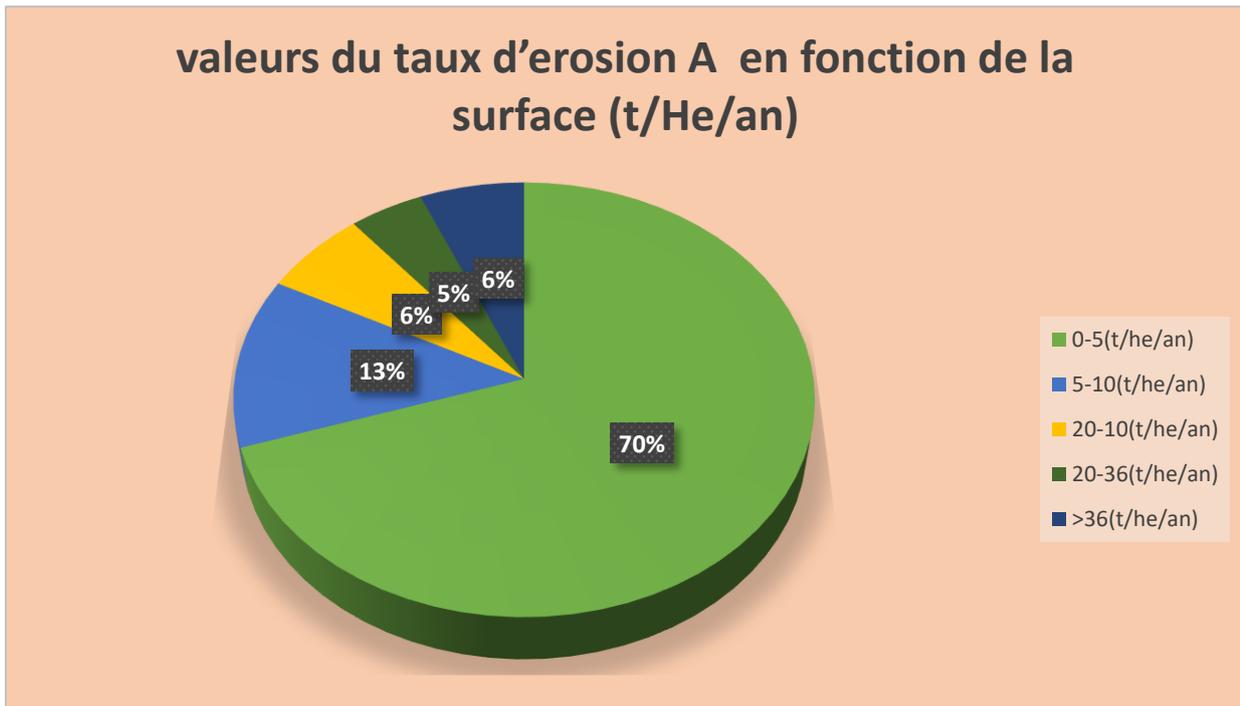


Figure IV .15 valeurs du taux d'érosion A en fonction de la surface (tan/He/an)

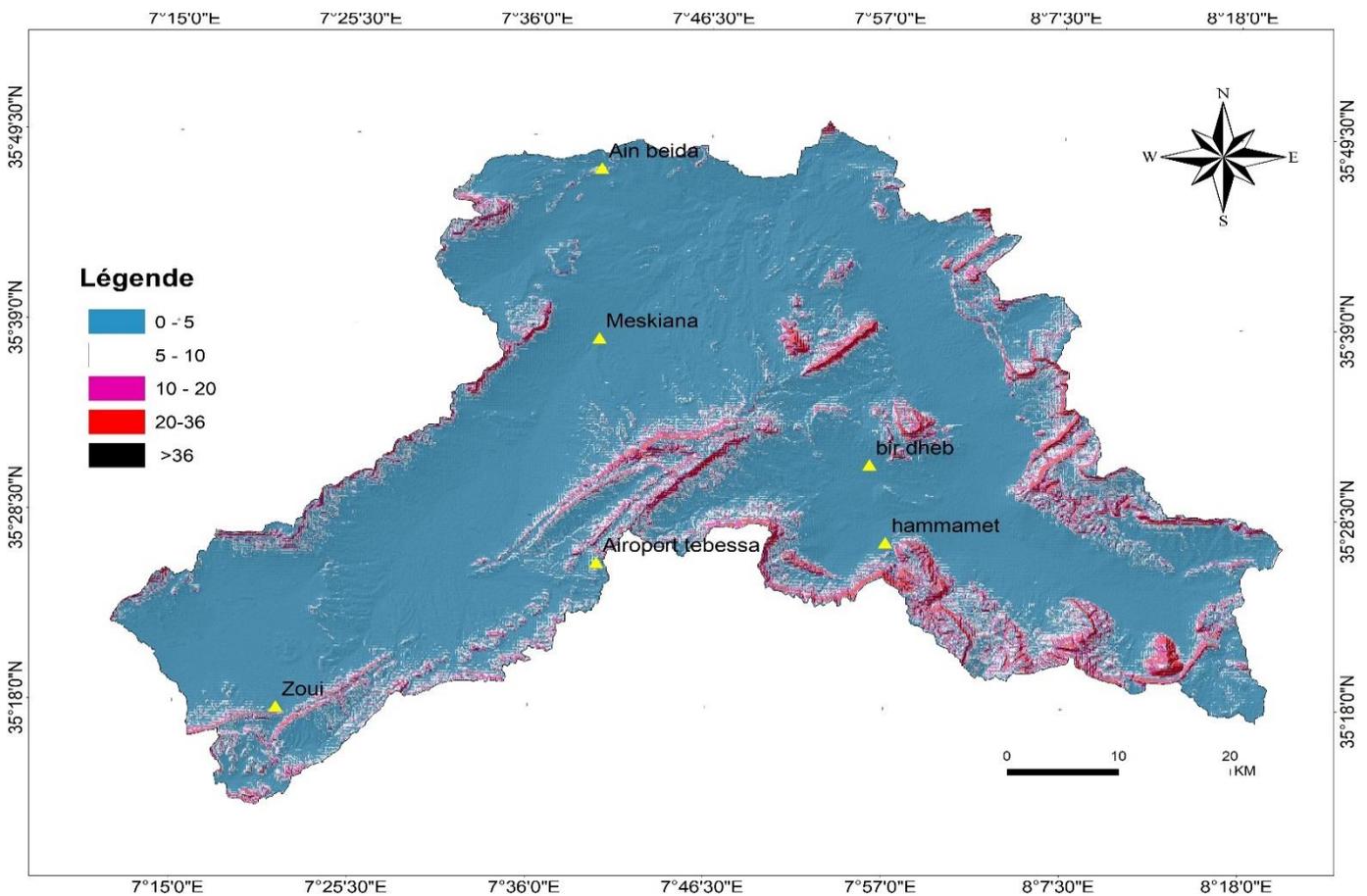


Figure IV.16. carte des pertes en sols (A) dans le bassin versant Mellégue

### 5. Interprétation des résultats :

La figure Figure IV.15 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 (75%) est caractérisé par une moyenne à faible sensibilité à l'érosion hydrique (0-6.5 ton/ha/an).

Les zones à forte et très forte sensibilité à l'érosion hydrique (>32.6) couvrent 6.36 % du bassin versant et se concentrent principalement en amont où les pentes sont trop raides et les formations affleurent sont principalement des calcaires du crétacé supérieur qui sont fortement sensibles à l'érosion et ne sont pas protégées par le couvert végétal.

Donc les résultats de cette approche montrent que les sols du bassin versant Mellègue subissent l'effet de plusieurs facteurs favorisant le phénomène d'érosion à savoir l'importance des pentes, la diversité ou l'absence du couvert végétal et l'vulnérabilité des sols.

On distingue finalement que le bassin est soumis à une érosion faible et moyenne (<32) dépassant les 90 % des sols du territoire. Pour assurer la stabilité du tout le bassin versant on a proposé des méthodes de lutte contre l'érosion dans les zones qui présentent un taux >32(T/ha/an).

### 6. Lutte contre l'érosion a utilisé dans les zones présentes une forte susceptibilité :

Le choix entre une méthode antiérosive ou l'autre est influencé par plusieurs paramètres tels que :

- la pente,
- Le type du sol,
- L'échelle d'étude,
- Le cout ...etc.

## 6.1 Les méthodes mécaniques :

Les méthodes mécaniques, (en tant que méthode corrective) impliquent des dispositifs mécaniques pour modifier la longueur de la pente, peuvent être adaptés dans la zone d'étude : (bancs, terrasse, faîtages...etc.)

En général, ces méthodes essayent de limiter mécaniquement :

- la longueur de la pente
- d'augmenter l'infiltration.

### 6.1.1 Terrasses :

Cette technique convient aux pentes moyennes à raides, avec des charges caillouteuse élevées. . Les murs sont alignés le long d'une courbe horizontale ou de niveau et leur espacement augmente à mesure que la pente soit réduite (Fig.IV.16).



Figure IV.17 exemple d'une terrasse.

### 7.1.2 Gradins en marche d'escalier :

Formés par une succession de terrasses a pour but de casser la pente (Fig.IV.19).

Les successions de terrasses donnent la forme de gradins ou d'un escalier (d'où tiré leur nom). Mais elle est très coûteuse et n'est valable qu'en présence d'une population très dense et n'est utilisée que dans ce cas généralement.

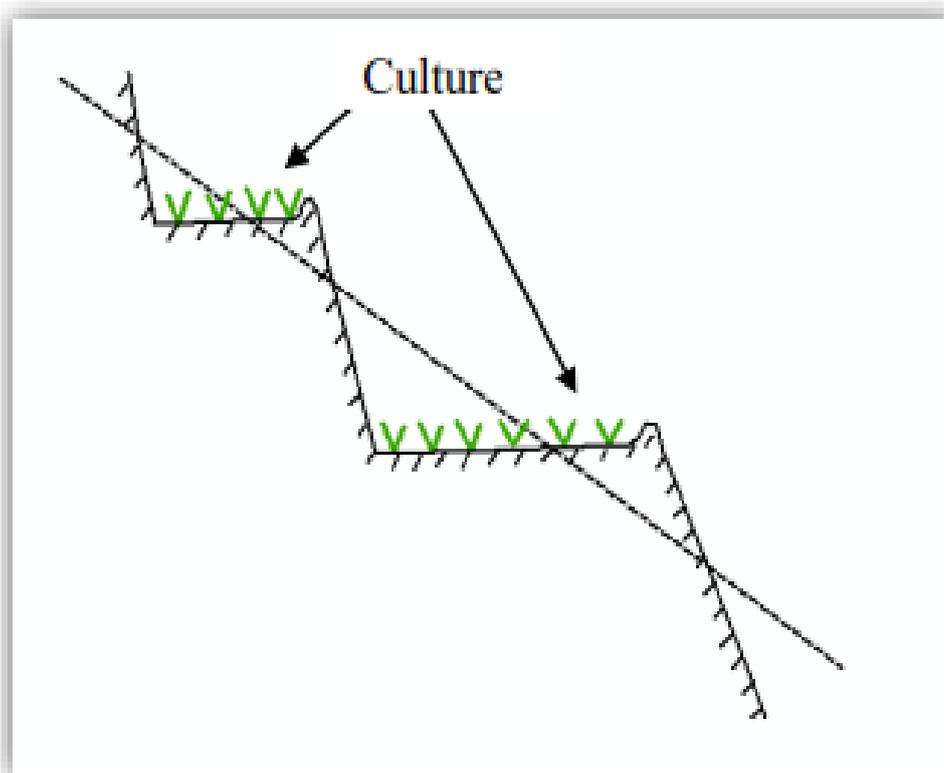


Figure IV.19 Gradins en marche d'escalier

### 7.1.3. Banquettes :

Ce sont des petites terrasses de forme horizontale parallèle au courbes de niveau et perpendiculaires bien sûr à la ligne de la pente la plus grande, elle a pour but de réaménager une parcelle plantée à l'aide de l'implantation des arbres ,permettant d'améliorer les surfaces marginales , l'infiltration et de fixer les ouvrages ( Figure IV.18 ).Elles peuvent conduire à des glissements de terrain.



Figure IV.19. Banquettes

#### 7.1.4 Les fossés :

Au lieu de garder l'eau derrière une butte comme dans le cas de terrassement, des fossés sont creusés pour absorber toute l'eau de ruissellement, (fossés de rétention) ou la diriger au minimum par des fossés de diversion vers un exutoire bien développé. (Figure IV.19).

Ces fossés sont construits sur des pentes raides perpendiculaires aux pentes les plus fortes, (40% à 60%), pour mettre en valeur la montagne.

Ils assurent :

- l'amélioration du stockage d'eau dans le sol,
- réduire le ruissellement,
- favorisent la production fruitière.

**Les inconvénients de cette méthode :**

- consomme beaucoup de surfaces, donc elle ne peut être adaptée qu'aux cultures arbustives.
- Elle peut provoquer des glissements de terrain lorsque les pentes sont fortes.

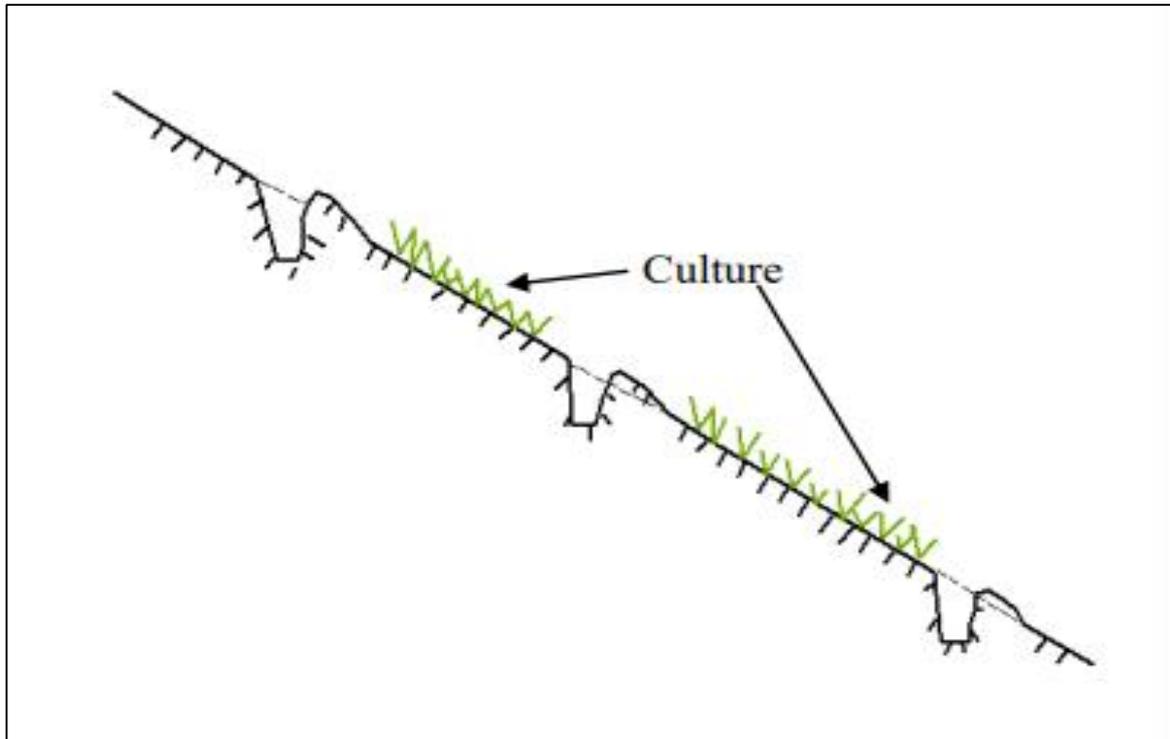


Figure IV.20.Fossé

**7.1.5 Cordons pierreux :**

Il s'agit d'une technique de lutte contre l'érosion où des pierres sont alignées le long des contours du terrain après avoir creusé 10 à 15 cm de sol hors de la ligne à construire.

Ce dernier doit être situé à une hauteur entre 20 à 30 cm au-dessus de la surface du sol et à des intervalles de 20 à 50 m selon la pente du terrain, (Figure IV.20).

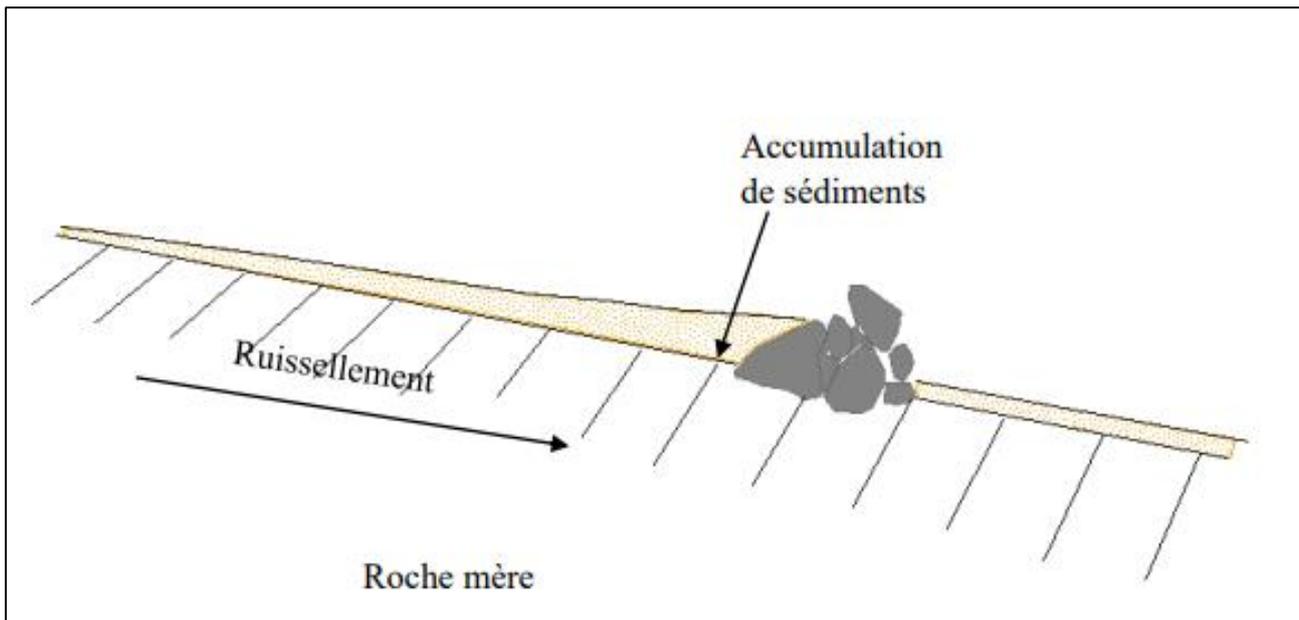


Figure IV.21.Cordons pierreux

#### 7.1.6. Billonnage :

Ils sont utilisés seulement ou la pente est faible. Ce sont des petits cordons de sol ; avec une hauteur qui varie entre 0,2 et 0,4 m jusqu'à 0.9m.

Sa pente doit être très légère (2% à 3%), pour assurer l'écoulement superficiel entre les cuvettes .Il existe plusieurs types de billons :

- des billons simples
- des billons cloisonnés.

(Figure IV.22).

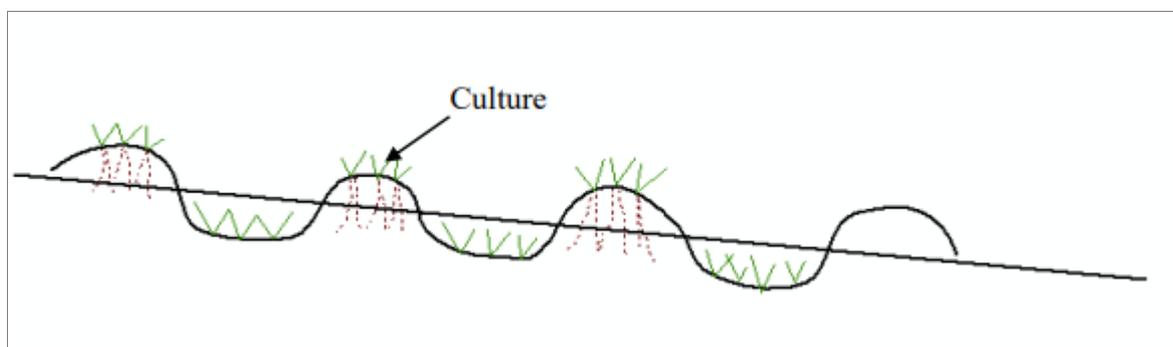


Figure IV.22(a) Billonnage



Figure IV.22(b) Billonnage

## 7.2 Les méthodes biologiques :

### 7.2.1 Le Reboisement :

La végétation joue un rôle principal dans la protection des sols contre l'érosion. Dans le cas de l'érosion, le meilleur mode de plantation est celui qui suit les courbes de niveau.



Figure IV.23 Reboisement

### 7.2.2 Le paillage :

Cette technique peut être utilisée avec toutes les autres techniques. Elle restaure les zones non fertiles du champ, elle est conçue avec toute terre agricole.

Il Assure :

- l'amélioration des propriétés physiques et chimiques des sols,
- La restauration de l'activité biologique.

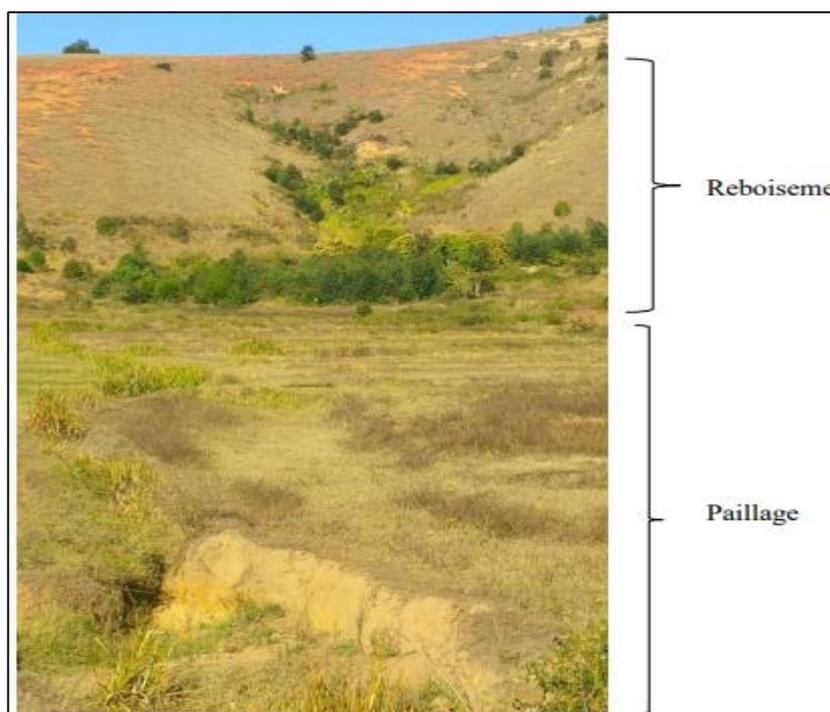


Figure IV.24 Reboisement, Paillage

## 8. Conclusion :

En Algérie du Nord, particulièrement à l'Est du pays, les dispositions socioéconomiques, comme d'ailleurs les conditions hydro climatiques sont naturellement réunies pour intensifier et favoriser le déclenchement de ce mécanisme néfaste qui potentiellement menace l'équilibre de l'environnement tant à l'échelle régionale que locale.

L'érosion hydrique affecte 28 % des terres de l'Algérie du Nord. Ce sont les terres à fortes pentes des massifs telliens qui sont les plus touchés.

L'érosion se manifeste par la formation de rigoles et de ravines sur tout le versant avec affleurement de la roche- mère et une évolution en Bad- lands.

L'intensité de l'érosion hydrique varie d'une zone à l'autre. La partie Ouest, où l'érosion touche 47 % de l'ensemble des terres, est la région la plus érodée du pays ; viennent ensuite les régions du Centre (27%) et de l'Est (26%) (Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire, 2000).

En général, l'érosion spécifique varie entre 2000 et 4000 t/km<sup>2</sup>.an, (Demmak, 1982), L'Algérie est de ce fait l'un des pays les plus menacés dans le monde par l'érosion.

## *Chapitre V*

*Approche à l'aide des méthodes statistiques  
(AHP) à l'étude de la susceptibilité des sols à  
l'érosion hydrique dans le bassin versant  
Mellégué, NE Algérien*

## 1. Introduction :

Pour déterminer le zone vulnérable à l'érosion on a utilisé un ensemble de données soit numérique, spatial, images satellitaires, sortie sur le terrain..etc. et bien sur à l'aide du système d'information géographique, pour faire une modélisation soit quantitative dans le chapitre précédent et qualitatif dans ce chapitre.

L'objectif principal de ce chapitre est d'utiliser un outil d'aide à la décision qui est basé sur une analyse multicritère .Dans ce cas, nous avons choisi la méthode d'analyse hiérarchique de l'AHP, (Analytic Hierarchy Process). Cette méthode a été créée et développée par Saaty (1980), (Bernasconi *et al.* 2010). on s'est basé sur un ensemble de paramètres tels que :

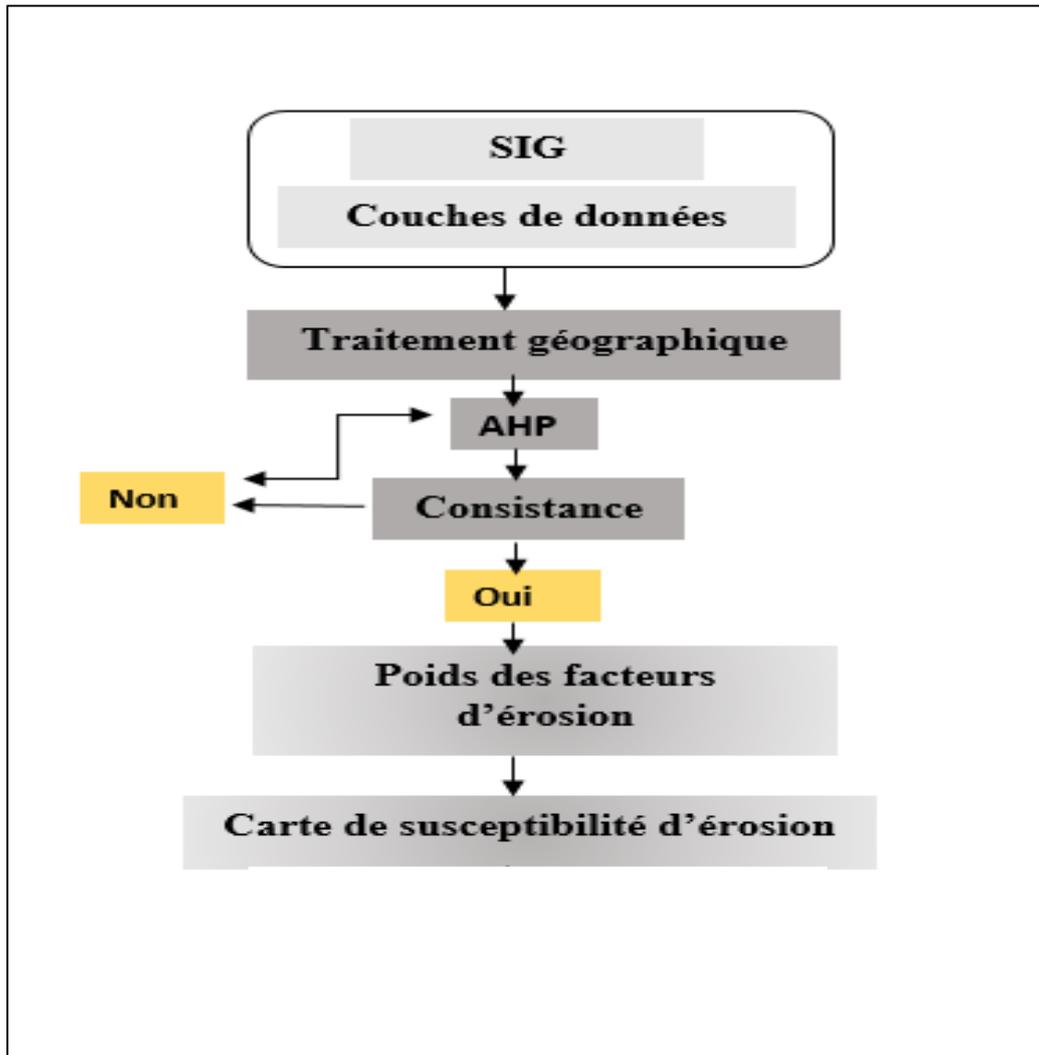
- 1-les précipitations,
- 2- le sol,
- 3-la pente,
- 4- la densité de drainage,
- 5 –l'occupation du sol,
- 6- la densité de linéaments,
- 7-L'hypsométrie.

## 2-Analytical Hierarchy Process (AHP) :

L'analyse multicritère a été associé avec des systèmes d'information géographique, depuis la fin des années quatre-vingt, parce que ces systèmes ont des capacités d'analyse, d'automatisation et de gestion très performantes qui sont fortement utiles pour ce type de travail, (Drobne *et Lisec* ,2009).

L'AHP basé sur des comparaisons binaires des éléments fondamentaux d'une décision afin que leur hiérarchisation soit privilégiée qui conduit à une utilisation très vaste de cette méthode dans plusieurs domaines, (Sabaei *et al.* 2015).

Cette méthode permet de décomposer la situation complexe et d'identifier les critères importants, Saaty (1984) elle permet aussi d'obtenir les poids de chaque facteur et de comparer des critères des différentes nature, (Store *et Kangas* ,2001).



**Figure. V.1** Organigramme de la méthode AHP.

### **2.1. Principes fondamentaux de la méthode AHP :**

1. Structuration hiérarchique (classes - critères - poids),
2. Structuration des priorités (sous-critères - rangs),
3. Cohérence logique,
4. Méthode semi-quantitative/qualitatif.

**2.2. Les calculs nécessaires pour trouver les valeurs des priorités :**

- additionner tous les éléments d'une colonne dans la matrice ;
- normaliser la matrice c'est à dire chaque entrée de la matrice est doit être divisée par le total de sa colonne, (Pour faire une comparaison significative entre tous les éléments) ;
- Et à la fin calculer la moyenne des lignes : additionnez tous les éléments d'une même ligne de la matrice normalisée, puis divisez par le nombre d'entrées qu'elle contient

**2.3. Avantages de la méthode AHP :**

- Son aptitude de structurer un problème compliqué, multi personne, multicritère et multi période d'une façon hiérarchique,
- Une comparaison binaire des éléments, (critères et sous-critères, alternatives),
- la facilité de son support informatique,
- d'autre part, la méthode AHP a des faiblesses, (*Drobne et Lisec ,2009*) comme le problème qui concerne la standardisation des différents critères. Donc la comparaison des facteurs sur une même base est relativement imprécise, par conséquent elle dépend de l'évaluation de l'analyste. Il souligne le manque de seuil entre chacune de ces catégories ce qui nous mène à donner une mauvaise interprétation des résultats.

Tableau V.1.échelle de comparaison recommandée

	Degré de préférence
1	Importance égale
2	Importance faible
3	Importance assez modérée
4	Importance modérée
5	Importance assez forte
6	Importance forte
7	Importance très forte
8	Importance extrême
9	Importance capitale

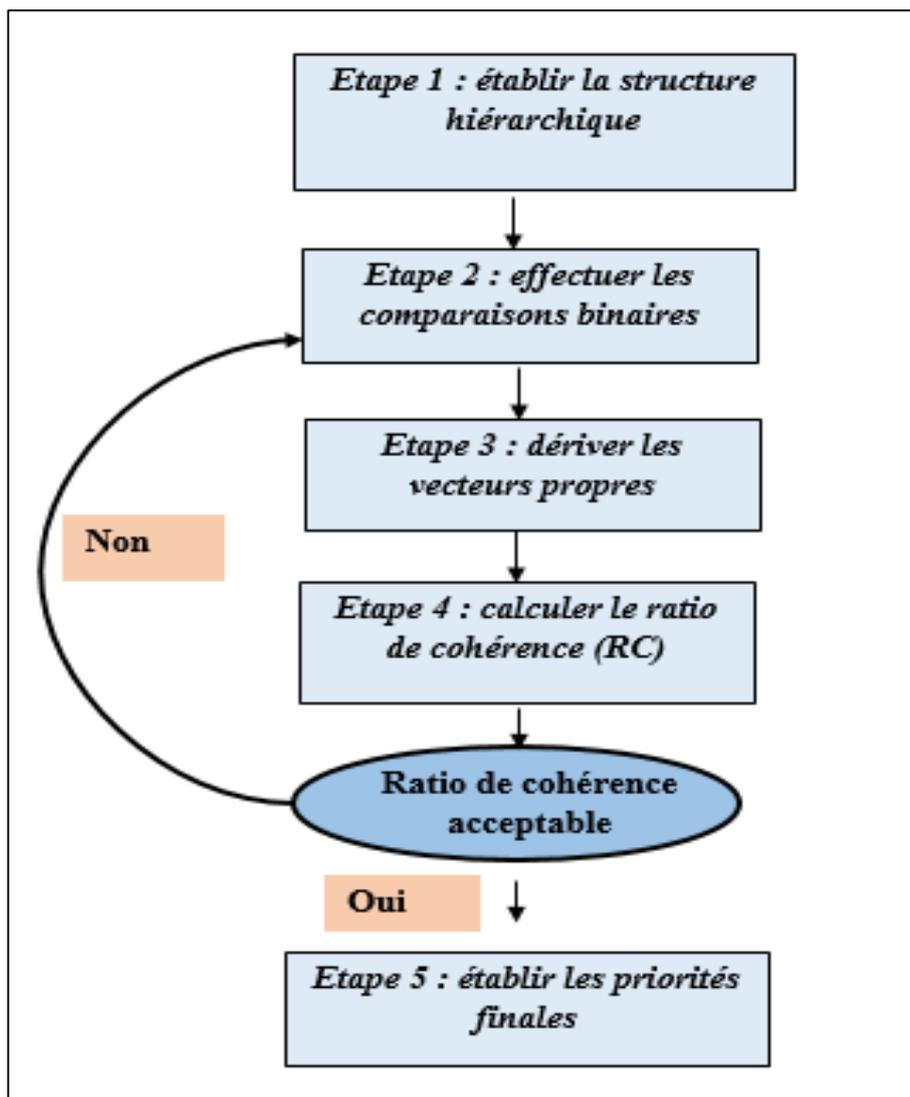


Figure V.2 : les étapes de l'application AHP

tableau V.2 :les indices de cohérence aléatoire Satty(1977)

N=nombre de critères	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CA	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

## 2.4 Le calcul de la pondération :

Le résultat des calculs de la pondération de la méthode AHP du poids est appelé vecteur de priorité. Selon Saaty, le vecteur de priorité est défini comme le vecteur propre qui correspond à la valeur propre la plus grande de la matrice divisée par la somme de ses éléments tel que la somme des éléments du vecteur de priorité soit égale à 1.

Ci-dessous, nous utilisons la notation mathématique habituelle  $\lambda$  pour désigner la plus grande valeur propre d'une matrice.

La normalisation de la somme des éléments à une valeur de 1 est nécessaire pour certaines opérations algébriques effectuées par des méthodes qui calculent des pondérations. C'est aussi la base du modèle distributif qui le mode proposé par Saaty ;

Ce mode est le plus fréquemment utilisé, et nos recherches portent sur lui.

Considérons au préalable le cas général du vecteur  $w$

$$w = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_n]^T$$

$W$  : la matrice formée par les ratios des éléments du vecteur  $w$

$$W = \left\{ \frac{w_i}{w_j} \right\} = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix}$$

Si on met le vecteur  $x = W * w^T$ , alors on trouve pour le 1er élément de :

$$x_1 = \frac{w_1}{w_1} * w_1 + \frac{w_1}{w_2} * w_2 + \dots + \frac{w_1}{w_n} * w_n = n * w_1$$

On a  $x = n * w$ . Donc, dans le cas des jugements parfaitement cohérents :

- Les colonnes de  $W$  sont équivalentes entre elles ;
- La valeur propre maximale ( $w$ ) est égale à  $(n)$ .

En en plus, celui-ci doit être normalisé afin que la somme de ses éléments soit égale à l'unité. Pour cela, on doit calculer la proportion de chaque élément, par rapport à l'addition.

$$T = |w_1/\sum w_i \ w_2/\sum w_i \ \dots \ w_n/\sum w_i|$$

Soit ( $T$ ) le vecteur propre normalisé utilisé pour calculer et évaluer l'importance de chaque critère. On utilise la formule suivante, proposé par Saaty(1977) :

$$\lambda_{max} = T \cdot w$$

( $w$ ) : calculé par l'addition des colonnes de la matrice de comparaisons.

La consistance de la matrice d'ordre, ( $n$ ) est évaluée. Si, cet indice de consistance( $IC$ ) ne parvient pas à atteindre un niveau requis, les réponses aux comparaisons peuvent être réexaminées. Alors, l'indice de cohérence ( $IC$ ) est calculé par la formule suivante :

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)}$$

$IC$  : l'indice de cohérence

$n$  : l'ordre de la matrice

$RC$ , Le ratio de cohérence se calcule par l'équation suivante :

$$RC = \frac{IC}{CA}$$

Le ( $RC$ ) est le ratio entre, ( $IC$ ) et un indice de cohérence aléatoire ( $CA$ ), voir tableau (V.2)

On prend un exemple d'une matrice parfaitement cohérente formée par les rapports 1, 2, 4, 8 entre les alternatives A1, A4.

$RC$  : ratio de cohérence,

$IC$  : indice de cohérence,

$CA$  : indice de cohérence aléatoire.

Tableau V.3 : exemple d'une matrice

	A1	A2	A3	A4
A1	1	2	4	8
A2	1/2	1	2	4
A3	1/4	1/2	1	2
A4	1/8	1/4	1/2	1

### 3. Méthodologie :

Nous avons utilisé dans notre cas d'étude sept paramètres environnementaux tels que :

1 les précipitations moyennes annuelles,

2- l'occupation du sol,

3-la pente,

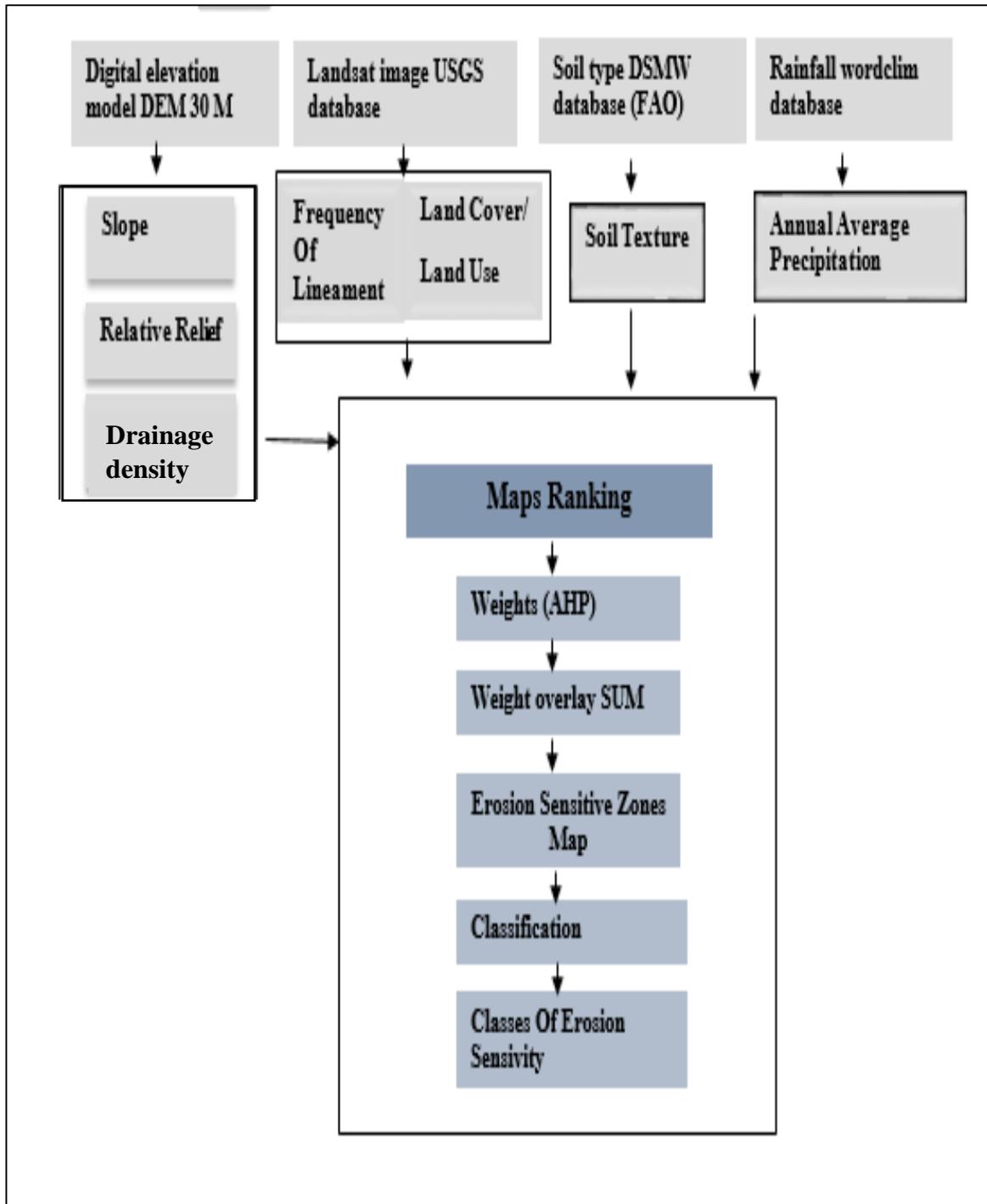
4- la densité de drainage,

5 – le sol (type/texture),

6- la densité de linéaments,

7-L'hypsométrie.

Ces paramètres ont été intégrés à l'aide du système d'information géographique (SIG) dans l'analyse hiérarchique des processus (AHP), pour générer les cartes de ces paramètres, plus la carte de la susceptibilité des sols à l'érosion. Les données essentielles pour exécuter cette étude sont montrées dans la (Fig. V.3)



**Figure V.3 :** Méthodologie d'évaluation de l'érosion à l'aide de la méthode AHP

### 3.1 Les précipitations moyennes annuelles :

La zone d'étude est caractérisée par un climat semi-aride, avec un hiver froide et humide et un été chaud et sec.

- la carte de classification des précipitations (Figure .V.8) est basée sur les données pluviométriques des années (2000-2020) de douze gares (tableau III.2).
- On utilise le logiciel arc gis pour faire L'interpolation de distance inverse pondérée, Selon la carte produite, les valeurs des précipitations annuelles dans la zone d'étude varie entre 376 et 485mm.
- L'écart a été divisé en cinq classes dans la matrice de comparaison (AHP) (tableauV.9).

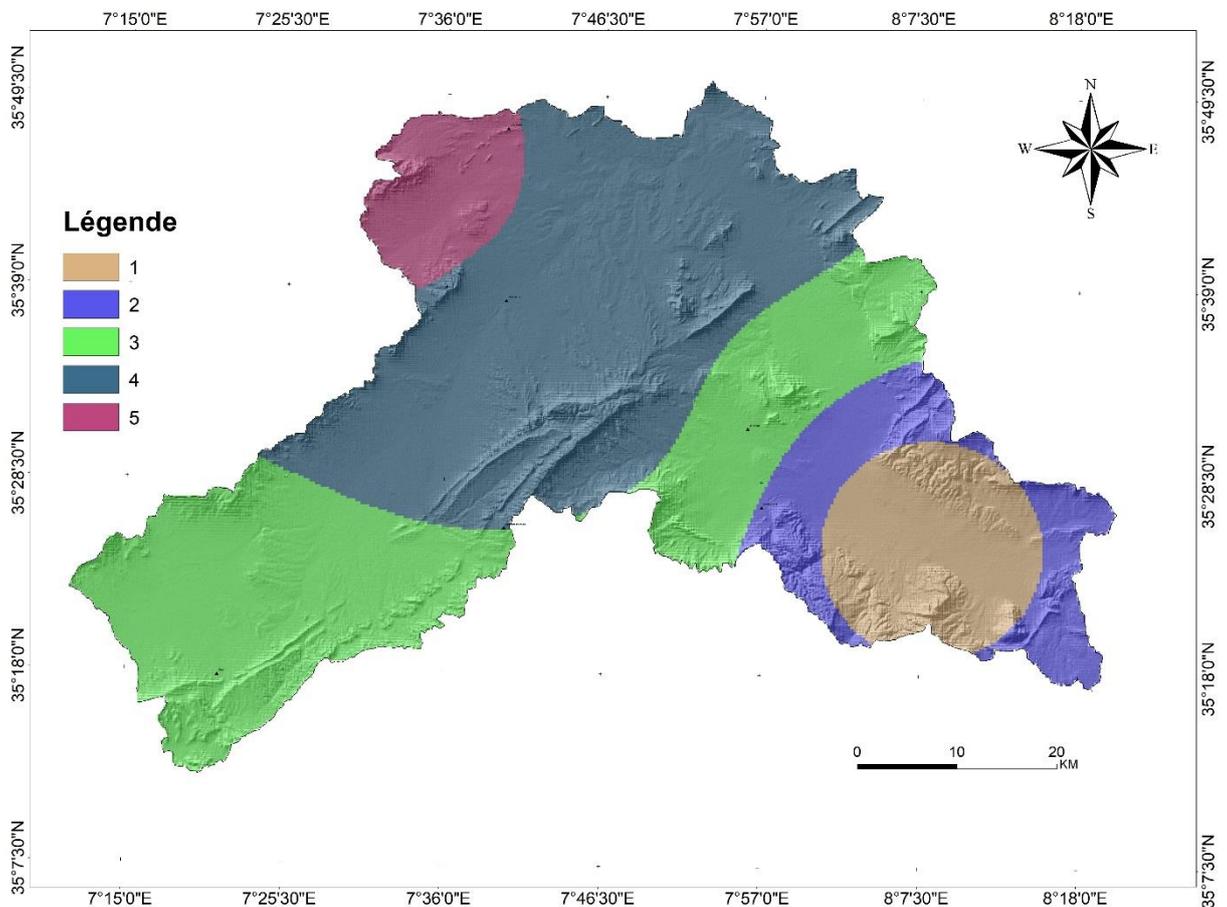


Figure.V.4 : cartes des précipitations moyennes annuelles de la zone d'étude

Tableau .V.5: Nature et impact des classes de pluie

classe	Limite de classe (mm)	Impact érosif
1	376-398	Très faible
2	398-424	faible
3	424-447	Moyen
4	447-463	Fort
5	463-485	Très fort

### **3.2 la texture du sol :**

Dans cette étude nous avons utilisé la base de données (FAO DSMW) avec des essais mécaniques du sol au niveau de LTPE (voir annexes) pour élaborer la carte de répartition des textures des sols dans la zone d'étude (Figure .V.5).

La texture des sols est définie comme le paramètre qui fait référence à la perméabilité et aux proportions relatives des sols soit les argiles, les limons et le sable.

Elle influence l'érosion par la diminution ou l'augmentation du rapport de différents composants des sols (Easton et al. 2016).

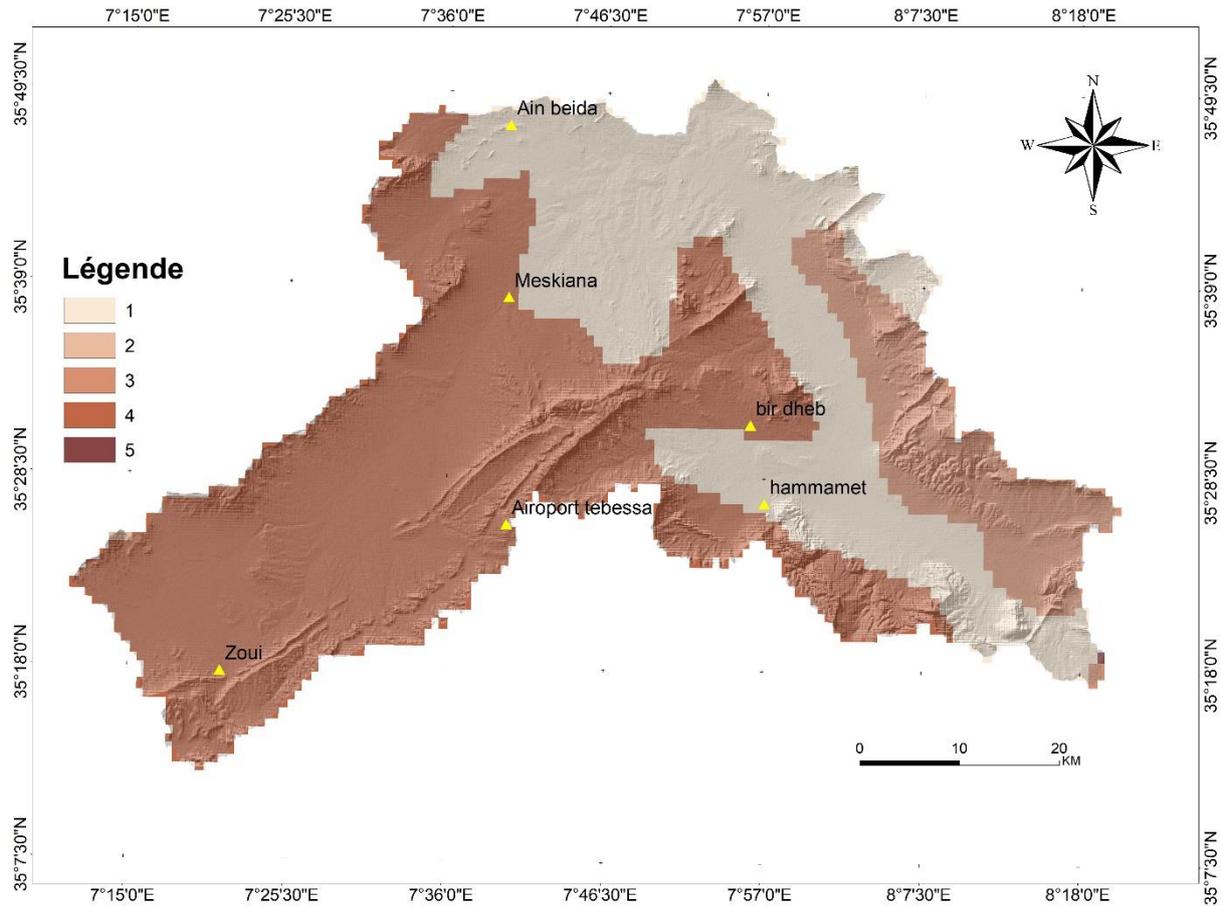


Figure V.5 : carte d'érodabilité des sols

Tableau.V.5 : classe d'érodabilité des sols

classe	Impact érosif (érodabilité)
1	Très faible érodabilité
2	Faible érodabilité
3	Moyen érodabilité
4	Fort érodabilité
5	Très fort érodabilité

### 3.3 Densité de drainage :

La densité de drainage est obtenue par, la longueur totale de tous les cours d'eau par unité de surface, elle dépend un ensemble des facteurs (la perméabilité, la lithologie, la végétation) (Moeini *et al.* 2015).

Une carte a été générée pour la zone d'étude (Figure .V.6), les valeurs de densité de drainage sont divisées en 5 classes pour former une matrice de comparaison (AHP) (tableau V.7).

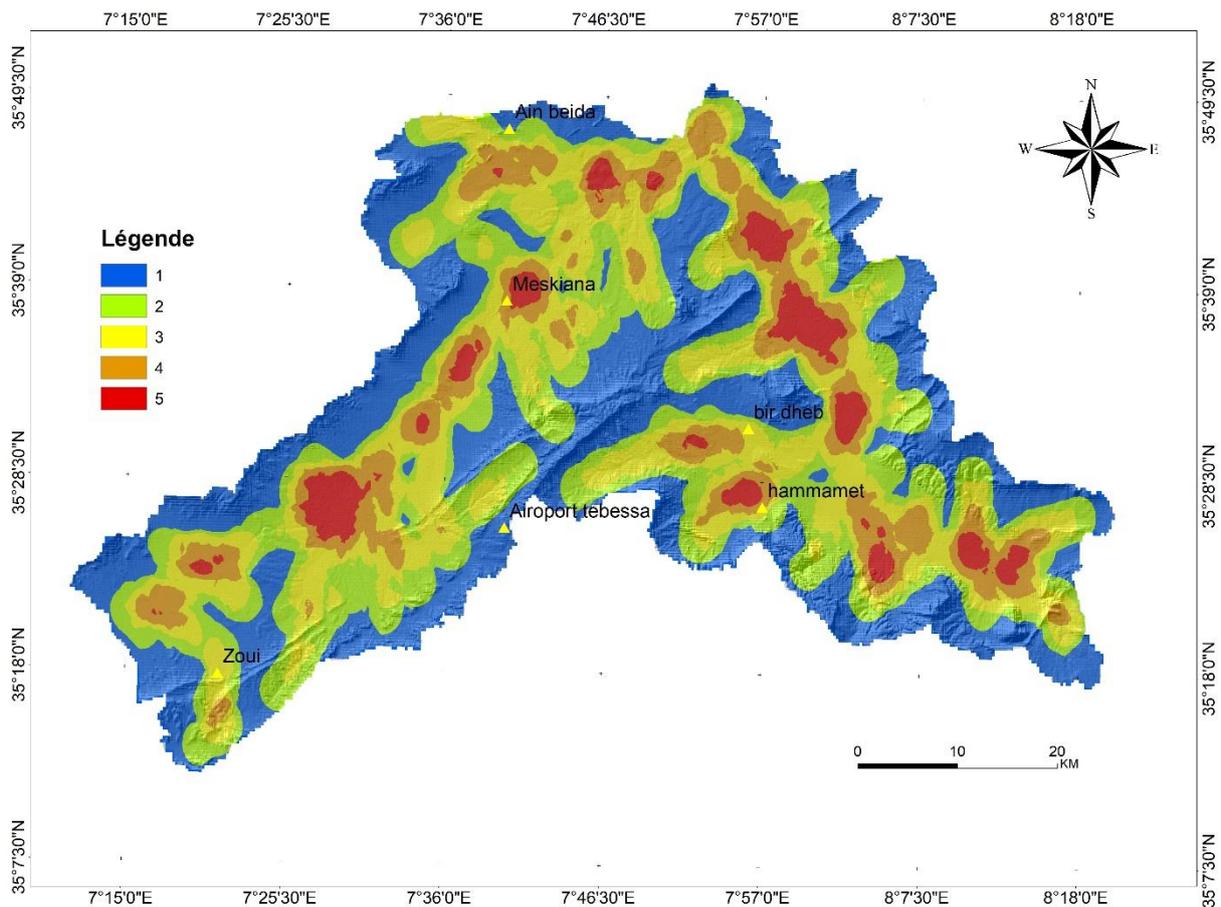


Tableau .V.6 : classes de densité de drainage

classe	Impact érosif
1	Très faible
2	faible
3	Moyen
4	Fort
5	Très fort

### **3.4 La pente :**

La longueur et l'inclinaison de la pente ont une influence important sur le ruissellement, du fait de l'augmentation de l'énergie cinétique des écoulements, lorsque ceux-ci se produisent, une forte pente favorise l'érosion, la zone d'étude présente des valeurs de pentes allant de 0 % à plus 25 %. Alors la longueur de la pente à des effets plus incertains *É. Roose (1994)*.

Tableau.V.7 : impacte et classes de la pente

Classe	Limite de classe (%)	Impacte érosif
1	0-3	Très faible
2	3-8	Faible
3	8-15	moyen
4	15-25	fort
5	>25	Très fort

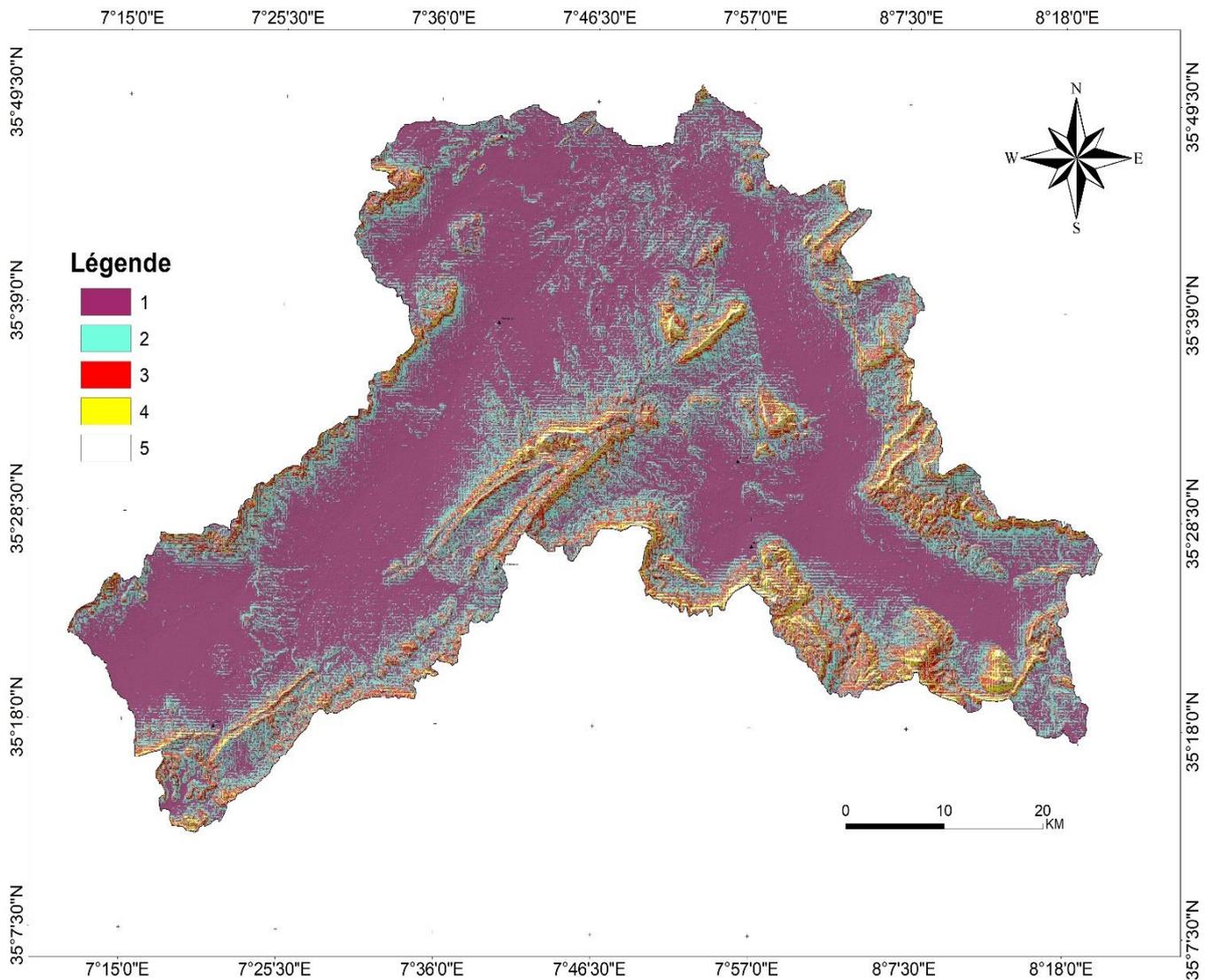


Figure .V.7 classes de la pente

### **3.5 Occupation des sols :**

Le couvert végétal a un rôle très important sur l'érosion hydrique des sols, (Sharma et al. 2011). A partir de données collectées auprès des services de conservation agricole et forestière de la wilaya de Tébessa et des photos satellitaires, une carte d'occupation du sol a été engendré sous arcgis à travers une classification on prône en considération les observations de terrain (Fig.V.8, Tab. V.8).

Tableau .V. 8 : classification d'occupation des sols

classe	Limite de classe	Impact érosif
1	Zone urbaine	Très faible
2	foret	faible
3	Zone moyennement agricole	Moyen
4	Zone agricole	Fort
5	Sol nu	Très fort

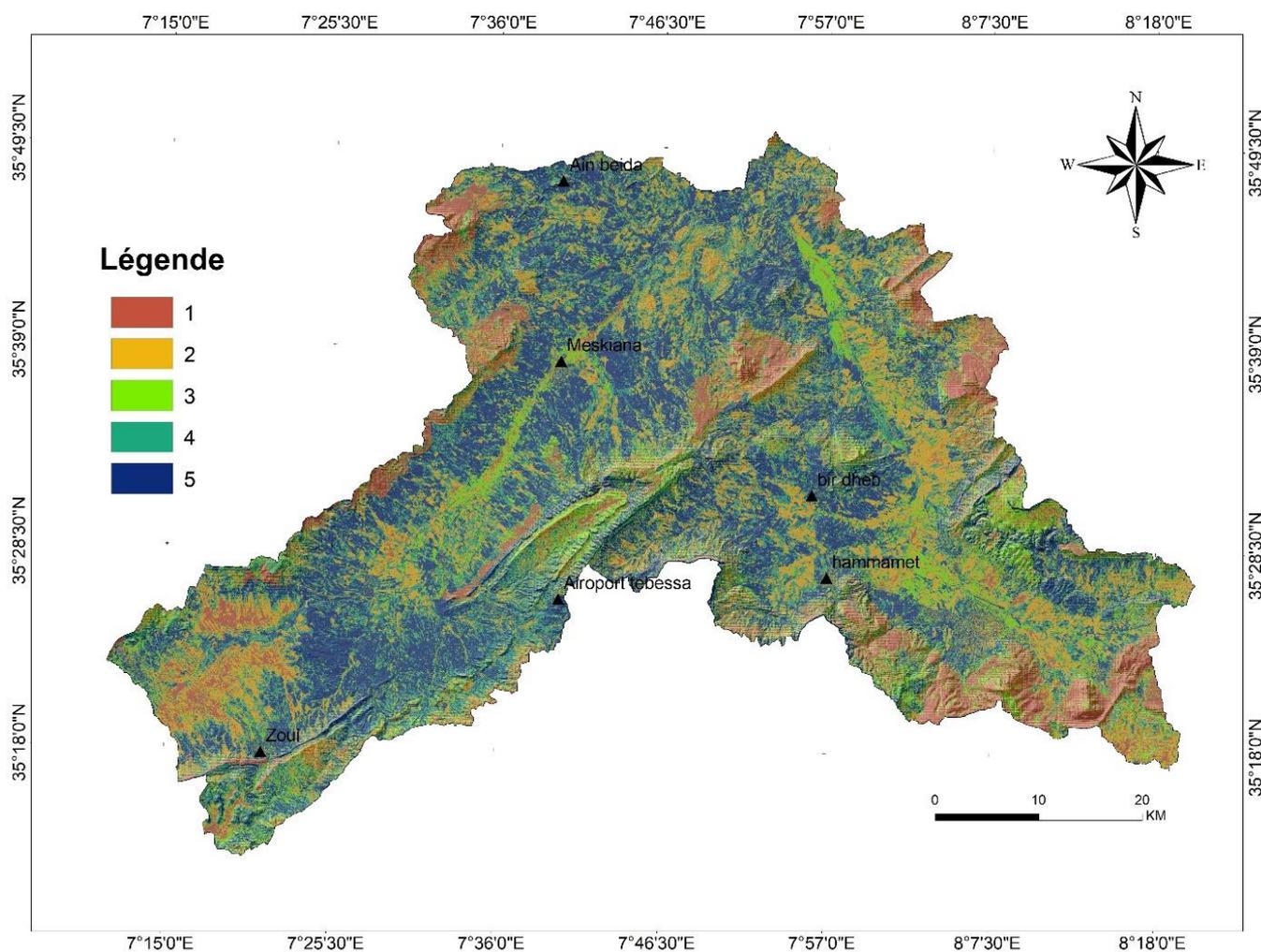


Figure V.8 carte d'occupation des sols

### 3.6 Le relief ou l'altitude :

Le relief est le résultat de différents processus géomorphologiques se faisant à l'intérieur et sur la surface de la Terre (Sharma et al. 2018).

Le facteur topographique a un rôle important dans la modélisation de l'érosion hydrique des sols ; il est calculé à l'aide du MNT modèle numérique d'élévation de 30 m.

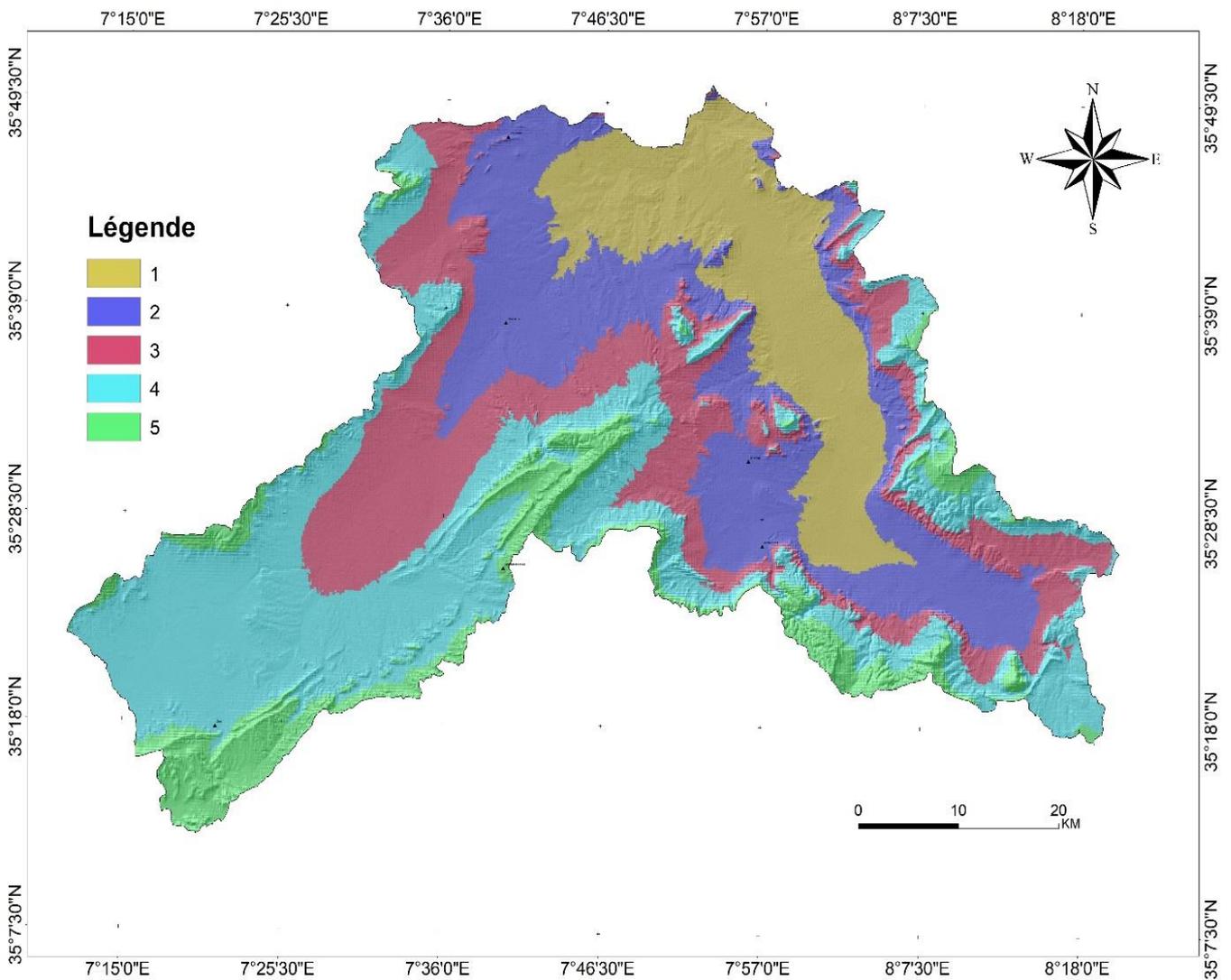


Figure V.9 : classes d'altitude

**Tableau .V. 9 :** classe et impact de l'altitude

classe	Altitude (m)	Impact érosif
1	600-800	Très faible
2	800-1000	faible
3	1000-1200	Moyen
4	1200-1400	Fort
5	>1400	Très fort

**3.7 Fréquence de linéament :**

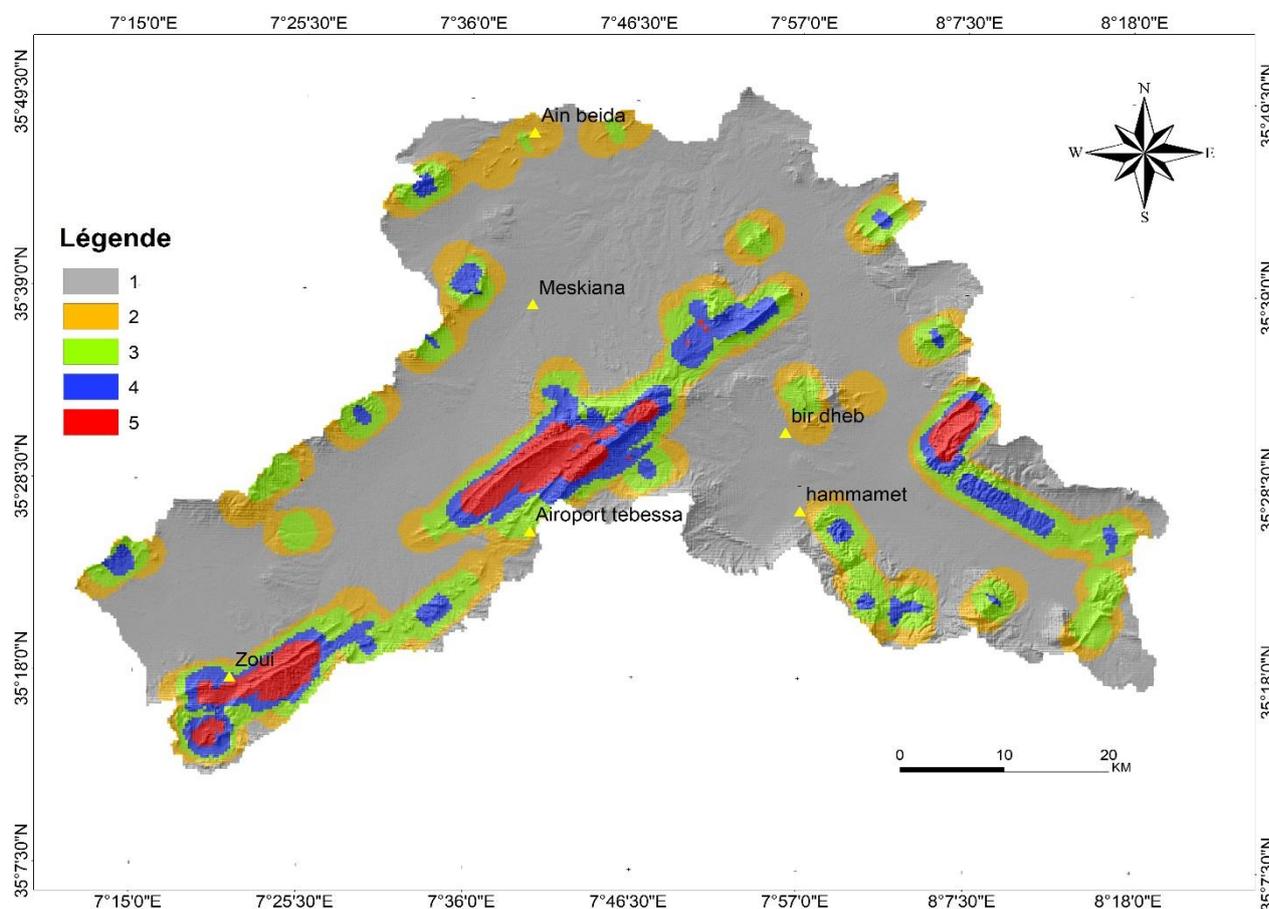


Figure V.10 : carte de fréquence de linéament

La détermination de fréquence de linéament est basée sur le traitement des images satellitaires (2a sentinelle), à l'aide du logiciel Arcgis, on a cinq classes présentés dans la carte et le (Tableau. V.12)

Tableau .V.10 : classes de fréquence de linéament

classe	Impact érosif
1	Très faible
2	faible
3	Moyen
4	Fort
5	Très fort

#### **4. La carte finale :**

Après la réalisation des matrices des différents paramètres, on a besoin de relativiser le comportement de toutes les classes.

Les indices de poids, ( $W_i$ ) formulés par la matrice ont été ajoutés par la suite aux différentes cartes (format raster) sous l'opération de reclassify sous (Arcgis) (de l'extension Spatial Analyst) ensuite, on a élaboré la matrice de comparaison des différents facteurs décisifs, plus tous ces facteurs de pondération, lors de l'érosion, en utilisant l'équation de Saaty (1977), les résultats sont présentés dans les tableaux V.13 et V.14 .

D'après les résultats obtenus, la carte finale de l'érosion est établie (Fig. V.12).

Tableau .V. 11 : Matrice de comparaison, d'après Marinoni (2004)

	Précipitations (mm)	Elevations (m)	Pente (%)	Densité de drainage (Km/Km <sup>2</sup> )	Occupation des sols	Densité de linéaments	Sols
Précipitations	1	3	3	2	5	5	4
Elévations	1/3	1	1	3	5	5	5
Pente	1/3	1	1	1	3	3	5
Densité de drainage	1/2	1/3	1	1	1	2	3
Occupation des sols	1/5	1/5	1/3	1	1	1	3
Densité de linéaments	1/5	1/5	1/3	1/2	1	1	1
Sols	1/4	1/5	1/5	1/3	1/3	1	1

Tableau.V.12 : Détermination du poids de chaque critère.

	Précipitations (mm)	Elevation (m)	Pente (%)	Densité de drainage (Km/Km <sup>2</sup> )	Occupation des sols	Densité de linéaments	Texture du sol	W%
Précipitations	0.54	0.613	0.51	0.26	0.33	0.28	0.14	33.8%
Elévations	0.175	0.20	0.17	0.4	0.33	0.37	0.33	22.4%
Pente	0.10	0.06	0.165	0.13	0.2	0.14	0.17	16.1%
Densité de drainage	0.07	0.05	0.05	0.13	0.06	0.08	0.2	11.1%
Occupation des sols	0.078	0.04	0.08	0.067	0.66	0.04	0.12	7.1%
Densité de linéaments	0.03	0.02	0.012	0.08	0.05	0.066	0.02	5.2%
Texture du Sols	0.05	0.04	0.016	0.002	0.04	0.024	0.012	4.3%
Sum	1	1	1	1	1	1	1	100%

A partir des résultats obtenus dans le (tableau .V.14) ,la susceptibilité des sols a l'érosion est calculé à l'aide de la méthode AHP par la formule suivante :

$$A=33.8\% \text{précipitations} + 22.4\% \text{elevation} + 16.1\% \text{pente} + 11.1\% \text{Densité de drainage} + 7.1\% \text{occupation du sol} + 5.2\% \text{densité de lineaments} + 4.3\% \text{texture du sol}$$

Donc on a :

$$\lambda_{\max} = 7.41$$

$$IC = 0.068$$

$$CA = 1.32$$

$$Rc = 0.052$$

Si, la valeur de RC est plus petite ou égale à 0,1, l'incohérence est acceptable, sinon la comparaison par paire peut être révisée.

Dans notre cas le RC est 0.052 (plus petit que 0.1) donc l'incohérence est acceptable.

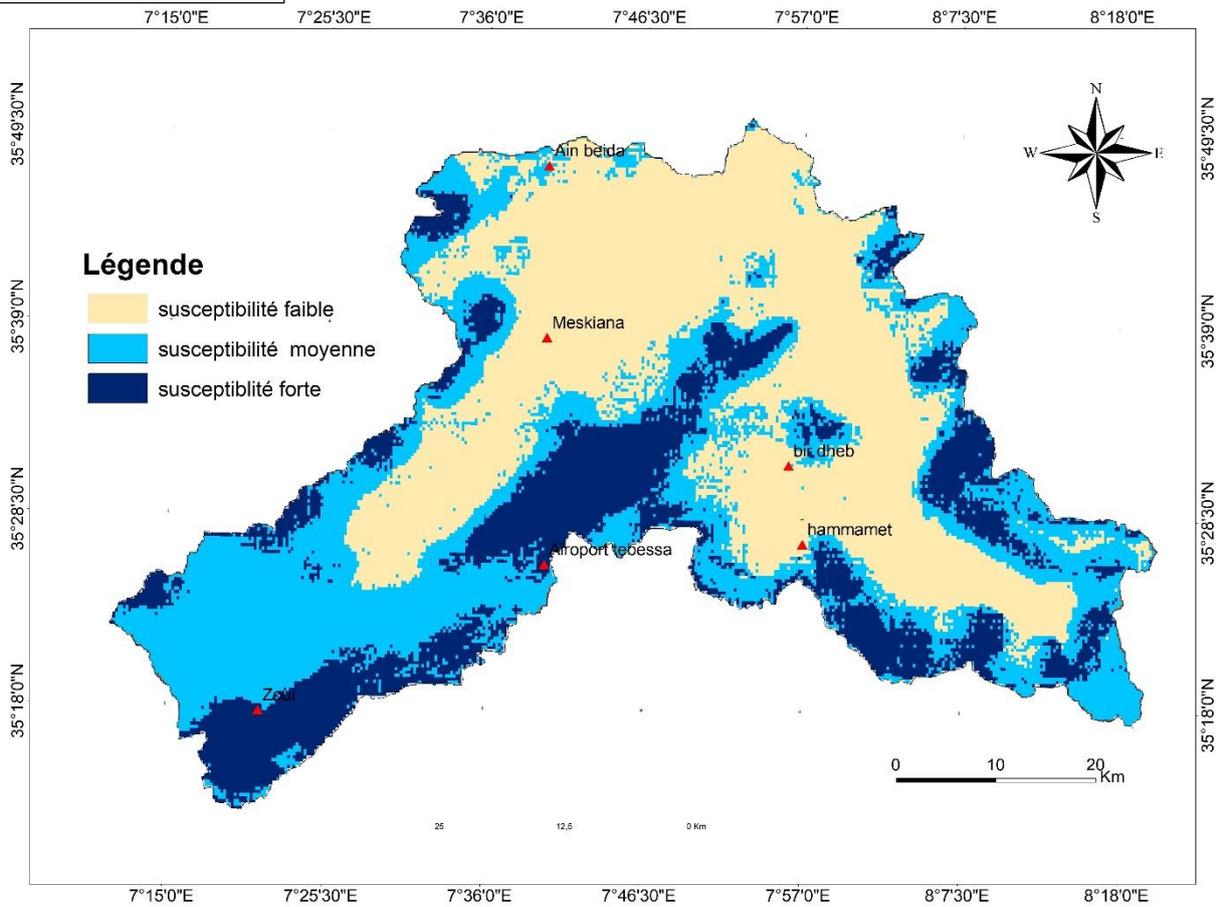


Figure V.12 Carte de susceptibilité des sols à l'érosion hydrique

Tableau V.13 : classe de susceptibilité des sols

Classe	Surface (%)	impact
1	49%	Susceptibilité faible
2	36%	Susceptibilité moyenne
3	15%	Susceptibilité élevé

On remarque que les zones à forte susceptibilité (15%) sont situées dans les zones où le relief est très élevé et la pente très forte. Les valeurs les plus élevées dans le bassin ont une susceptibilité faible qui représente 49% de la surface totale, cette partie est caractérisée par une élévation inférieure à 900m, une pente entre 0-10 avec densité de drainage et densité de linéament très faibles, le reste du bassin a une susceptibilité moyenne (36%).

D'après la carte de susceptibilité à l'érosion et sur la base des facteurs pondérés combinés pris en compte, nous affirmons que les paramètres les plus importants sont fortement liés aux : précipitations, la pente et l'élévation, la densité de drainage plus la texture du sol et la densité de linéament.

### 5. Comparaison entre les deux cartes réalisées à l'aide de la méthode RUSLE et la méthode AHP :

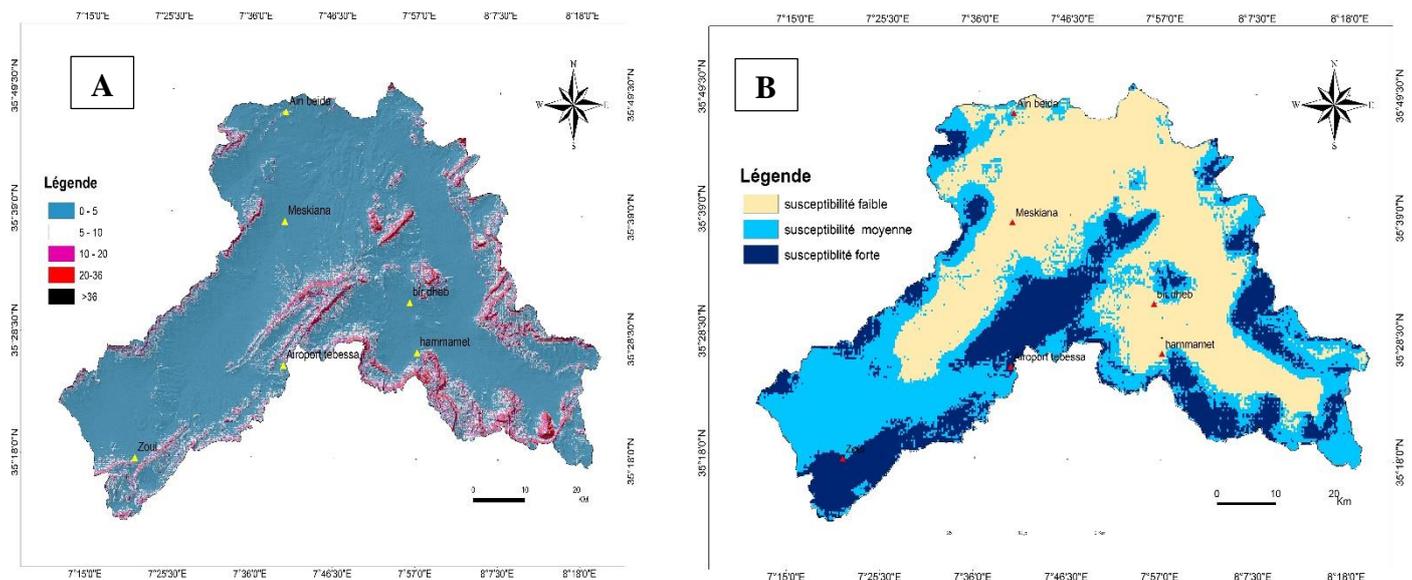


Figure.V.13 :(A) carte de susceptibilité par la méthode R-USLE, (B) par la méthode AHP

On remarque que les deux méthodes montrent presque les mêmes zones à risque élevé d'érosion, la zone qui a une susceptibilité élevée dans la carte B représente la même zone où le taux d'érosion est supérieur à  $10 \text{ t/ha/an}$ , le reste du bassin a une susceptibilité « faible à modérée, ( $<10$ ).

**6. Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons essayé d'évaluer la susceptibilité des sols à l'érosion hydrique par une approche semi-quantitative/qualitative, AHP (Le processus de hiérarchie analytique) qui nous permet de Spatialiser et d'identifier les zones susceptibles à l'érosion dans le bassin versant Mellégue, les cartes des paramètres géo—environnementaux plus la carte finale montre l'étendue de la dégradation dans la zone d'étude.

# *Conclusion générale*

### *Conclusion générale*

Le phénomène de l'érosion d'origine hydrique est un processus géologique naturel qui façonne la surface de la terre au cours du temps (White, 1986). Les changements climatiques et des paysages sous l'influence des ruissellements ; les pluies et des autres agents externes soit climatiques ou par la pression démographique et l'extension des cultures d'exploitation, ont contribué à l'augmentation de l'exposition des terres au processus de 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'accélérant souvent de façon considérable, (Wachal, 2007). Ce qui influe négativement sur la qualité des eaux et la fertilité des sols et réduisant la capacité des réservoirs.

Notre travail a porté sur l'estimation et la cartographie de la susceptibilité des sols à l'érosion hydrique dans le bassin versant Mellégue notamment les paramètres des deux sous-bassins versant Meskiana-Chabro NE-Algérien, qui nous amenés aux conclusions suivantes :

- La zone d'étude caractérisée par des formations d'âge crétacé majoritairement, carbonaté marneuse ; le plus souvent recouverte par des formations moi-plio-quadernaire, on remarque l'absence du jurassique avec un peu d'affleurements triasiques sauf dans les djebels de l'Ouenza, Boukhadra, Mesloulou, et Boujaber,

## Conclusion générale

---

- L'étude structurale confirme qu'il existe deux directions structurales ; la première NW-SE à WNW-ESE caractérisée par les fossés d'effondrements, et la deuxième NE-SW caractérisée par l'extrusion triasique.
- Le climat de la zone d'étude est de type semi-aride, caractérisé par un hiver froid et pluvieux, et un été chaud et sec, influencé par un ensemble des facteurs principalement oro-géographiques comme l'éloignement de la mer, altitude des versants et l'orientation des reliefs.
- Les Paramètres physico-géographiques du bassin versant montrent que le bassin versant meskiana occupe une superficie de 1854 km<sup>2</sup>, Chabro à l'Est 1571.12 km<sup>2</sup>.
- L'étude morphométrique du bassin, nous a permis de présenter que la topographie est marquée par une dénivelée plus au moins importante, avec une altitude qui varie entre 600 et 1650 m.
- L'indice de Gravelus est 1.61 pour meskiana et 1.73 pour le BV meskiana, traduisent une forme étirée.
- Le temps de concentration est entre 11 et 13 heures dans son ensemble.
- Le relief est irrégulier avec des pentes moyennes à fortes qui amènent des conditions plus favorables à l'écoulement.
- la carte d'occupation de sols et du facteur NDVI présente un faible taux d'occupation du sol par la végétation.

## Conclusion générale

---

- Pour générer la carte de susceptibilité des sols à l'érosion hydrique, nous avons utilisé un ensemble de facteurs, (Précipitations, lithologie, topographie, couverture végétale et les pratiques antiérosives, pour estimer et cartographier les zones les plus susceptibles à l'érosion.
- La carte finale de susceptibilité a donné trois classes de susceptibilité avec une valeur moyenne égale à 7 ton/ Ha/ ans, la classe la plus faible qui couvre (80%) de la surface totale du bassin versant est localisée au centre du bassin versant, les zones les plus hautes ou les sommets caractérisés par la susceptibilité élevée qui couvrent (5%) de la surface totale.
- L'utilisation de la méthode d'analyse hiérarchique multicritère AHP nous a permis de déterminer les zones à forte érosion dans la zone d'étude et de confirmer les résultats obtenus dans le chapitre 4 par la méthode RUSLE - SIG. À partir de la carte de répartition des aléas érosifs, nous avons identifié les zones les plus érosives, notamment dans les zones avec des terrains totalement nus et avec des pentes très élevées. En outre, aux berges des oueds Chabro-Meskiana on remarque un taux d'érosion faible, et cela à cause de la présence d'une couverture végétale et de faibles pentes. Cette carte a confirmé les observations sur le terrain qui montrent que les deux sous-bassins sont soumis à une érosion moyennement élevée.
- Les résultats obtenus dans cette étude peuvent servir de base pour nous aider dans la planification des activités de conservation des sols et une réduction de l'envasement des barrages.

## Conclusion générale

---

- Ces résultats apportent une aide importante aux décideurs et aménageurs pour simuler des scénarios d'évolution du bassin de Mellègue et surtout pour planifier les interventions de lutte contre l'érosion.

*Références*  
*bibliographiques*

## Références bibliographique :

### A

- **Abdelhamid sadik.** 2004,l' utilisation d'un sig pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'équation universelle des pertes en sol dans le rif oriental (maroc) : cas du bassin versant de l'oued boussouab
- **Abdelhamid sadiki.** 2005. Estimation de l'état de dégradation des sols dans le bassin versant de l'oued boussouab, Maroc nord oriental
- **Abdessalam ouallali.** 2016. Evaluation and mapping of water erosion rates in the watershed of the arbaa ayacha river (western rif, northern morocco)
- **Abdesemed m.**2012.la contribution de la géophysique appliquée a l'étude de la vulnérabilité sismique dans les nemamcha (fossé de Tébessa)
- **A.B.H,** 2006. *Agence National des bassins hydrographiques, (Constantinois - Seybousse – Mellegue)*
- **A.N.R.H.,** 1993. Carte Pluviométrique de l'Algérie du Nord à l'échelle 1/500000. Agence Nationale des Ressources Hydriques. Ministère de l'Equipement.
- **A.N.R.H,** 2010. Les changements climatiques et leur impact sur les ressources en eau en Algérie. Assises Nationales sur l'Eau. ANRH.
- **Achite m. & meddi m. (2005)** variabilité spatio-temporelle des apports liquide et solide en zone semi aride. Cas du bassin de l'oued mina,
- **Achour 2017** .cartographie des zones a risque de glissements de terrain au voisinage de l'autoroute Est/Ouest(Algérie) dans sa partie Est entre Constantine et Azzaba et estimation des risques associés.
- **Ait fora 1995.** Modélisation spatiale de l'érosion hydrique dans un bassin versant du rif marocain : validation de l'approche géomatique par la sédimentologie, les traceurs radioactifs et la susceptibilité magnétique des sédiments.
- **Amal markhi, phd.** 2015. Quantification et évaluation de l'érosion hydrique en utilisant le modèle Rusle et déposition intégrés dans un sig. Application dans le bassin versant n'fis dans le haut atlas de Marrakech (Maroc)
- **Arnoldus h (1980)** an approximation of the rainfall factor in the universal soil loss equation. An approximation of the rainfall factor in the universal soil loss equation

- **Arnold.1998.** Large area hydrologic modeling and assessment model development.
- **Aouissir .2008.** Signification structurale des anomalies gravimetriques de l'atlas saharien septentrional oriental nord-est algerien (essai de modelisation).

## B

- **Belloula m.2008.**modélisation des écoulements et perspectives de prévention contre les risques d'inondation dans quelques bassins de la Medjerda(confins Algéro-tunisiens)
- **Belloula M 2017** .Evaluation de l'aptitude aux écoulements et risque d'érosion dans le haut cours de la Medjerda par Modélisation
- **Ben cheikha l. Et gueddari m. (2008)** : le bassin versant du jannet (Tunisie): évaluation des risques d'érosion hydrique mappemonde
- **Benchetrit, M, 1972,** L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement en Algérie,
- **Benchetrit, M, 1972,** L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement en Algérie, Paris,
- **Biswajeet pradhan. 2020.** The use of Rusle and gcms to predict potential soil erosion associated with climate change in a monsoon-dominated region of eastern india
- **Boughalem k.2013.**impact des systèmes de gestion sur la vulnérabilité des sols a l'érosion ; cas du bassin versant de l'isser- Tlemcen(Algérie)
- **Bou Kheir R, Girard M.C, Khawle M et Abdallah C. 2001** Érosion hydrique des sols dans les milieux méditerranéens
- **Bourouba. M, 1998.** Phénomène de transport solide dans les Hauts Plateaux Orientaux. Cas de l'Oued Logmane et oued Leham dans le bassin de la Hodna. Revue des Sciences et Technologie
- **Boughalem M, M. Mazour, M Zaagane 2012** *Utilisation des SIG pour l'aménagement du bassin versant de l'Isser (Nord Ouest de l'Algérie).* Lutte antiérosive, réhabilitation des sols tropicaux et protection contre les pluies exceptionnelles

## C

- **Cardoso A H Neves 1994.** Prévission du transport solide total : évaluation de formules existantes

- **Castany G, 1982** . Hydrogéologie. Principes et méthodes
- **Chaumont. M, et Poquin, 1971.** Carte pluviométrique de l'Algérie au 1/500.000
- **Chen Y, Yu J, Khan S 2010** Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation. Environmental Modelling and Software
- **Chibbani .R, Djilli .K, Roose .E, 1999.** Étude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser.
- **Chibbani .R, Belaidi .S, 1997.** Étude de la dynamique du ravinement sur deux couples de ravines expérimentales près de Tlemcen. Bull Réseau Erosion 1997

## D

- **Daoudi M., Salmon M., Dewitte O., Gérard P., Abdellaoui A., Ozer A., (2009).** Prédiction de l'érosion ravinante en Algérie : vers une nouvelle approche probabiliste à l'aide de données multisources,
- **David. L 1956.** Etude géologique des monts de la haute Medjerda. Thèse Sci. Paris, Publ, Serv. Carte Géol. Algérie,
- **Demmak. A 1982.** Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale,
- **Djellouli y. 1990.** flores et climats en Algérie septentrionale. Déterminismes climatiques de la répartition des plantes,
- **Drias.2013.**hydrogeologie du bassin versant de l'oued ksob (Tébessa).vulnérabilité et protection de la ressource,
- **Dumas .J. 1965** Relation entre l'érodabilité des sols et leurs caractéristiques analytiques.
- **Dumas. P 2004.** Caractérisation des littoraux insulaires : approche géographique par télédétection et S.I.G. pour une gestion intégrée, Application en Nouvelle-Calédonie,

## E

- **Eastman J.R, Jin. W, Kyem P.A.K et Toledano J. 1995** Raster procedures for multicriteria/ multiobjective decisions. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,
- **El Hage Hassan H, Touchart .L et Faour G 2013** La sensibilité potentielle du sol à l'érosion hydrique dans l'ouest de la Bekaa au Liban,

## F

- **FAO (1983).** Garder la terre en vie : l'érosion des sols, ses causes et ses remèdes,
- **FAO 1994.** *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES),*
- **Fehdi.2008.** Apport hydrogéochimique et isotopique dans la caractérisation des mécanismes d'acquisition de la salinité des eaux souterraines du complexe aquifère Morsott- el aouinet (NE. Algérien)

## G

- **Gausse .H, 1948.** Carte des précipitations de l'Algérie (moyenne 1913- 1947), échelle 1/500.000,
- **Ghenim A, Terfous. A et Seddini A, 2007** Etude du transport solide en suspension dans les régions semi –aride méditerranéennes : cas du bassin versant de l'oued Sebdou (Nord-Ouest Algérien),
- **Girard. M.C. et Isavwa. A 1990.** L'état de l'art en télédétection sur les zones arides et semi-arides,
- **Gouaidia I .2008.** Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico –chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de meskiana nord-est algérien,
- **Grandmont. K 2013** Utilisation de systèmes d'information géographique pour l'évaluation des risques liés à la dégradation du pergélisol,

## H

- **Haboudane D, Bonn F. et Royer A 2007.** Evaluation and predictability of terrain susceptibility to hillslope erosion at the regional scale using DEM-derived indices and remotely sensed information.
- **Hadji R, Boumazbeur A, Limani Y, Baghem M, Chouabi A, (2013)** Geologic, topographic and climatic controls in landslide hazard assessment using GIS modeling: A case study of Souk Ahras region, NE Algeria.
- **Hadji R, Limani Y, Boumazbeur A, Demdouma, Zighmi K, Zahri F, Chouabi A (2014).** Climate change and their influence on shrinkage - swelling clays

susceptibility in a semi - aride zone: a case study of Souk Ahras municipality, NE-Algeria. Desalination and Water Treatment.

- **Hallouz, F., Meddi, M., Mahe, G., 2013.** Modification du régime hydro climatique dans le bassin de l'oued Mina (Nord-Ouest d'Algérie). Revue des Sciences de l'Eau,
- **Hallouz .F, 2013.** Transport Solide Dans le Bassin d'El Oued Mina et Sédimentation du Barrage  
S.M.B.A , Thèse de doctorat en sciences de l'école nationale supérieure d'hydraulique.
- **Hussein. H. H, Laurence .C et Laurent .T 2015** Cartographie des conditions de l'érosion hydrique des sols au Mont-Liban

## K

- **Kattan. Z, Gac. J L, Probst. J L, 1987.** Suspended sediment load and mechanical erosion in the Senegal basin – Estimation of the surface runoff concentration and relative contributions of channel and slope erosion,
- **K. Elbouqdaoui. , 2005.** Evaluation by remote sensing and sig of potential erosion risk in the oued srou basin (middle atlas, morocco) ,
- **Kénel délusca. 1998.** Estimation de l'érosion hydrique des sols à l'aide de l'équation universelle de perte de sol assistée d'un système d'information géographique : le cas du bassin versant de la ravine, haïti,
- **Khanchoul . K 2006.** Quantification de l'érosion et des transports solides dans certains bassins versants de l'extrême Nord-Est algérien. Thèse doctorat, Université Badji Mokhtar- Annaba,

## L

- **Laouina. A, 1998.** L'érosion en milieu méditerranéen : une crise environnementale Mise au point sur l'érosion des sols à travers l'exemple des versants des collines et des montagnes du nord du Maroc,
- **Laouina A., Nafaa R., Chaker M. (2000).** Gestion des eaux et des terres et dégradation dans les collines de Ksar el Kébir, Maroc,

- **Le Bissonais Y, Singer MJ, (1992).** Crusting runoff on erosion response to soil water content and successive rainfall ,
- **L. Khali issa. 2016.** Quantitative mapping of soil erosion risk using gis/usle approach at the kalaya watershed (north western morocco),
- **Ludwig, B., 1992,** L'érosion par ruissellement concentré des terres cultivées du nord du Bassin Parisien : analyse de la variabilité des symptômes d'érosion à l'échelle du bassin versant élémentaire,

## M

- **Mahdadi F 2019.** Approche par les méthodes statistiques à l'étude de l'influence de la géologie et de la minéralogie sur la distribution spatiale de la susceptibilité aux glissements de terrain dans la région de Souk Ahras, NE de l'Algérie,
- **Marcduchemi.2000.** approche géomatique pour simuler l'érosion hydrique et le transport des sédiments a l'échelle des petits bassins versants agricoles,
- **Mahieddine m. (1997)** quantification et variabilité parcellaire sous simulation de pluie dans le bassin versant de l'oued mina,
- **Mazour, M, 2004.** Etude des facteurs de risque du ruissellement et de l'érosion en nappe et conservation de l'eau et du sol dans le bassin versant de l'Isser – Tlemcen
- **Mebarki . A,1982.** Ressources en eau et aménagement en Algérie (Bassin Versant du Kébir Rhumel) ,
- **Mebarki .A, 1984.** Ressources en eau et aménagement en Algérie. Le bassin du Kébir-Rhumel,
- **Mebarki A.2005.** Hydrologie des bassins de l'est Algérien : ressources en eau, aménagement et environnement,
- **Meddi. M, 1992.** Hydro-pluviométrie et transport solide dans le bassin-versant de l'Oued Mina (Algérie).
- **Meddi. M, 1994.** Etude du transport solide à l'échelle de la crue dans le bassin versant de l'Oued Mina,
- **Meddi .M, 1999.** Etude du transport solide dans le bassin versant de l'oued Ebda (Algérie),
- **Meddi .M, 2004.** Estimation du transport solide dans le bassin versant de l'oued Haddad (Nord Ouest Algérien),
- **M. Jaoued. 2005.** Modelling water erosion in m'khachbia basin (north-west of tunisia)

- **Mokhtari el hadj. 2017.** Impact de l'érosion hydrique sur l'envasement du barrage ghrib,
- **Mohamed yjjou. 2014.** Modélisation de l'érosion hydrique via les sig et l'équation universelle des pertes en sol au niveau du bassin versant de l'oum errbia,
- **Mohammed achite. 2006.** Erosion hydrique en Algérie du nord : ampleur, conséquences & perspectives,
- **Mostephaoui 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),
- **Mounia tahiri.2017.** Quantification of water erosion and sedimentation using empirical models in the tahaddart watershed (northwestern rif, morocco),

## R

- **Rango a. & arnoldus 1987.** Aménagement des bassins versants. Cahiers techniques de la FAO
- **Renard k.g. & freimund j.r. 1994.** « using monthly precipitation data to estimate the r factor in the revised usle »,
- **Renard k.g., foster g.r., weesies g.a. Et al. 1991.** Rusle: revised universal soil loss equation. Journal of soil and water conservation,
- **Renard k.g., foster g.r., weesies g.a. Et al. 1997.** Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (rusle).
- **Roose E., Bourouga L., Chebbani R. 2001.** Le ravinement en Algérie : Typologie. Facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation,
- **R.p. Stone. 2000.** Equation universelle des pertes en terre (usle)
- **Rubianca benavidez.2018.** A review of the (revised) universal soil loss equation ((r)usle):with a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates,
- **Rupesh jayaram patil. 2018.** Spatial techniques for soil erosion estimation remote sensing and gis approach,

## S

- **Saaty. T.L et Vargas. L.G 1991** Prediction, projection, and forecasting: applications of the analytic hierarchy process in economics, finance, politics, games and sports,
- **Saaty T.L. et Sodenkamp M. 2010** The Analytic Hierarchy and Analytic Network Measurement Processes : The measurement of intangibles.
- **Sabir mohamed.1986.** L'érosion hydrique et sa quantification,
- **Samir toumi. 2013.** Cartographie de l'érosion dans le bassin versant de l'oued mina en Algérie par télédétection et sig,

## T

- **Trad d.2015.protection** de la ville de meskiana contre les inondations,
- **Tidiane.O, Dubois. J .M. M. et Hugh. Q 2003.** MEH-SAFER : Un nouveau modèle d'érosion hydrique pour les milieux semi-arides de forte énergie à partir d'images multi sources et de données auxiliaires.
- **Touaibia. B, 2000.** Erosion - Transport solide – Envasement de barrage. Cas du bassin versant de la Mina dans la wilaya de Relizane.
- **Touaibia. B, 2000.** Erosion - Transport solide – Envasement de barrage. Cas du bassin versant de la Mina dans la wilaya de Relizane.

## V

- **Vanoni. VA, 1977.** Erosion rates from sediment sources.

## W

- **Walling. D E ,1984.** The sediment yields of African rivers,
- **Walling. D E, Webb. B W, 1982.** Sediment Availability and Prediction of Stormperiod Sediment Yields,
- **Weisberg S. 2005.** Applied linear regression. University of Minnesota. School of statistics,

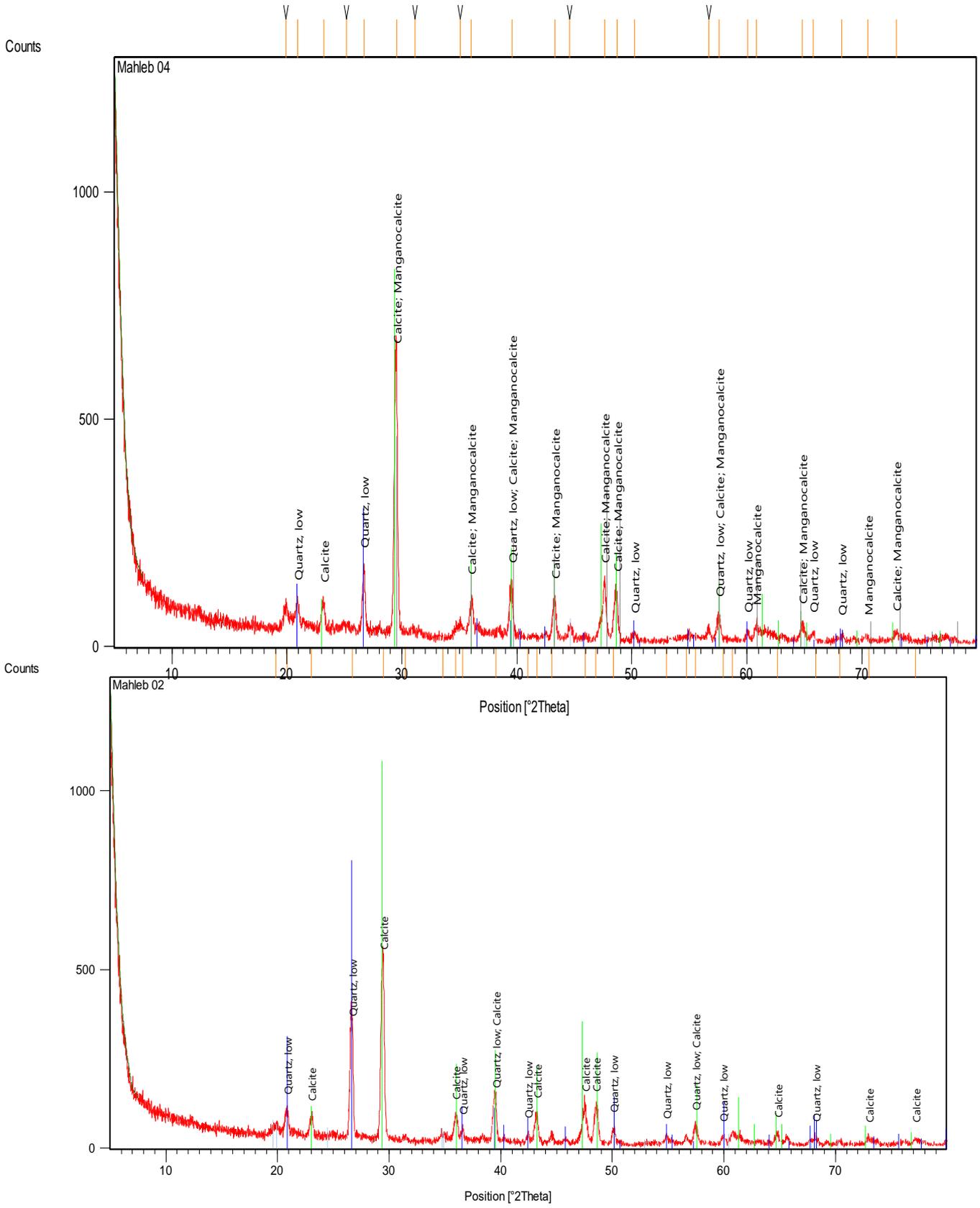
- **Wischmeier w.h. & smith d.d. 1965.** Prediction rainfall erosion losses from cropland east of the rocky mountains : a guide for selection of practices for soil and water conservation. U.s. Dept agriculture. Agric. Handbook 282.
- **Wischmeier w.h. & smith d.d. 1978.** Prediction rainfall erosion losses, a guide to conservation planning science.

## Y

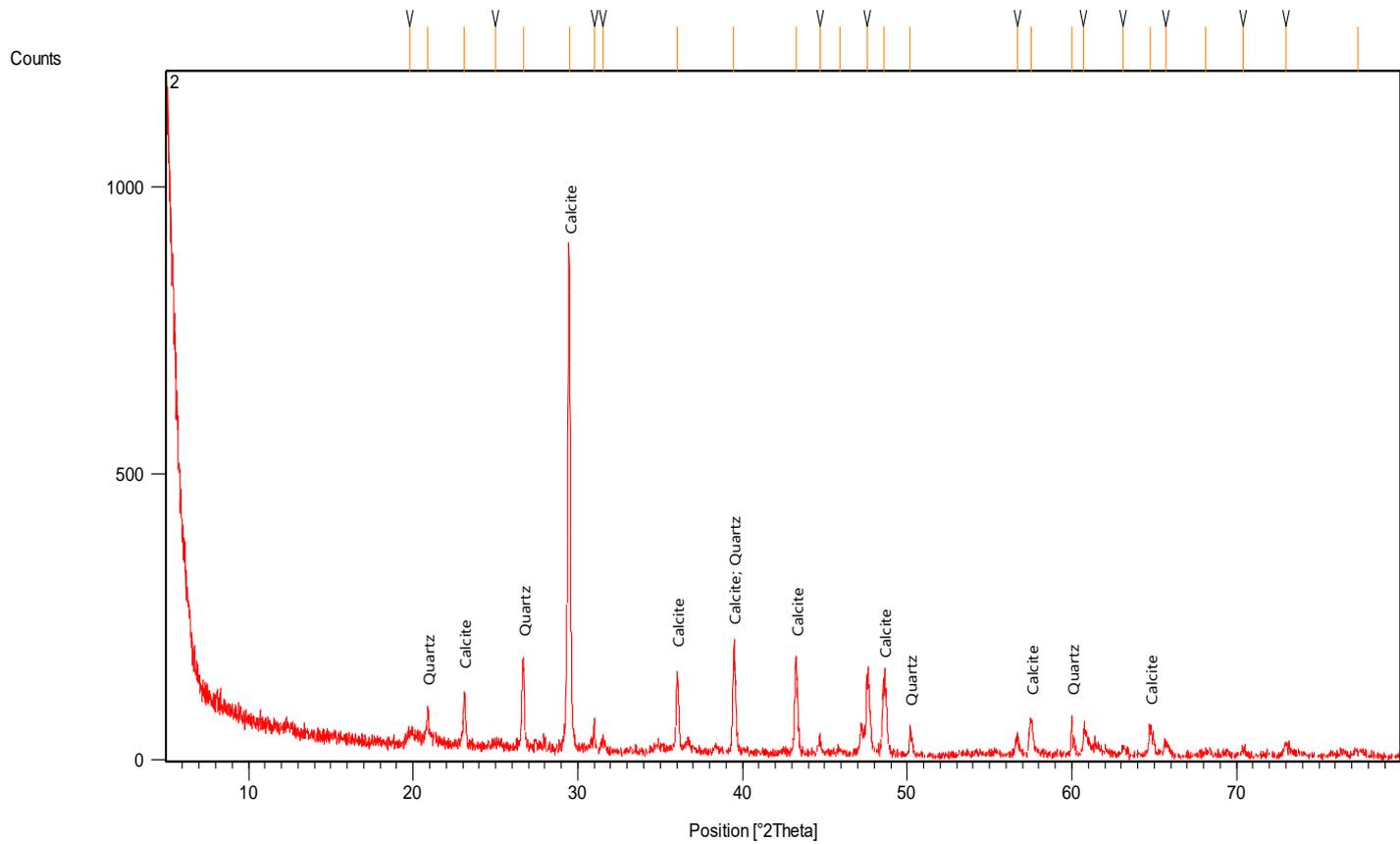
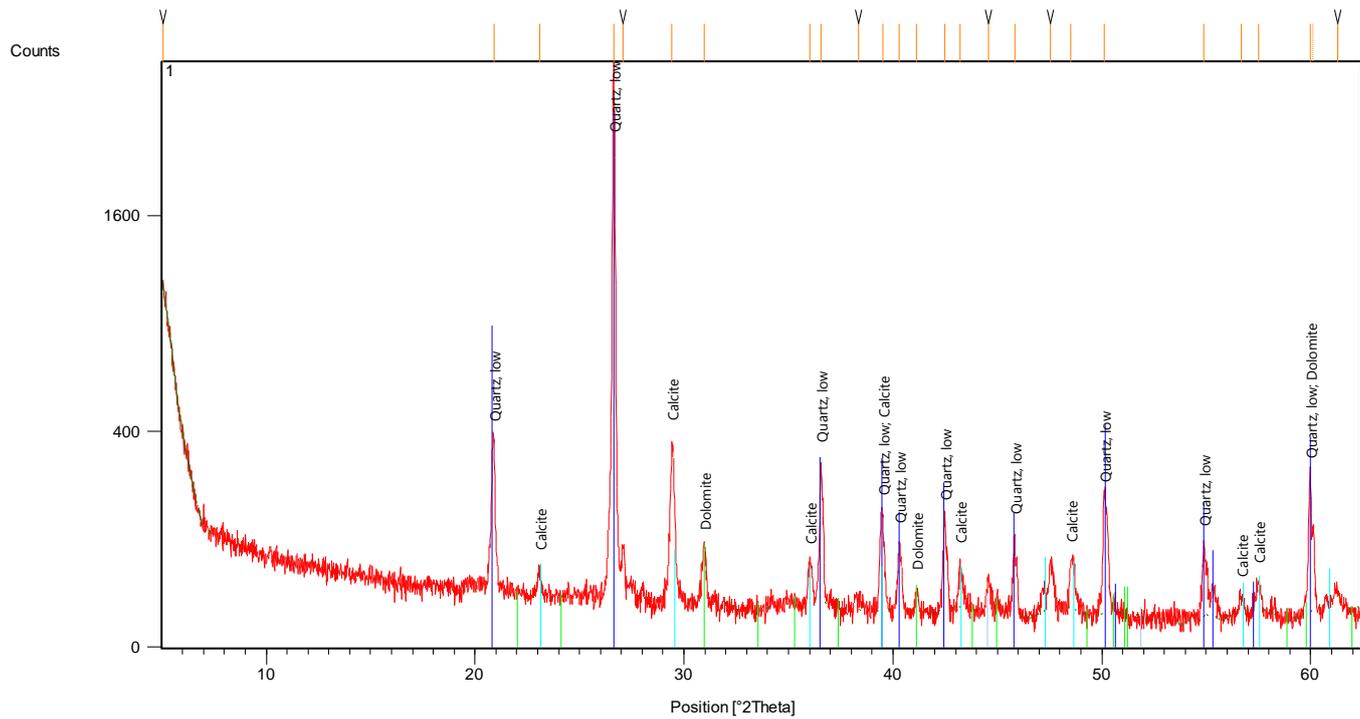
- **Yanli zhang. 2009.** Integration of modified universal soil loss equation (musle) into a gis framework to assess soil erosion risk,
- **Yuksel. A, Gundogan. R et Akay A.E 2008.** Using the Remote Sensing and GIS Technology for Erosion Risk Mapping of Kartalkaya Dam Watershed in Kahramanmaras, Turkey.

# *Annexes*

*Annexe 01 : les résultats des essais minéralogique*









## Annexe 02 :resultats des essais XRF !

SQX Calculation Result							
Sample : Ech 1		Date analyzed : 2020/ 9/29 10:41					
Application : F-U_Solid_N_057		Sample type : Oxide Powder		Balance :			
Sample film corr. :				Matching library :			
File : Ech 1_Aboud_1				Impurity corr. :			
No.	Component	Result	Unit	Det. limit	El. line	Intensity	w/o normal
1	Na2O	0.317	mass%	0.01897	Na-KA	0.2728	0.2522
2	MgO	2.51	mass%	0.01833	Mg-KA	5.4314	1.9940
3	Al2O3	12.2	mass%	0.01398	Al-KA	89.5677	9.7155
4	SiO2	44.5	mass%	0.02222	Si-KA	265.3114	35.3962
5	P2O5	0.299	mass%	0.00306	P-KA	2.8751	0.2380
6	SO3	0.656	mass%	0.00383	S -KA	5.1133	0.5221
7	Cl	0.0585	mass%	0.00484	Cl-KA	0.3507	0.0466
8	K2O	1.84	mass%	0.00565	K -KA	11.8648	1.4621
9	CaO	31.4	mass%	0.01479	Ca-KA	183.0190	24.9586
10	TiO2	0.663	mass%	0.02415	Ti-KA	0.8121	0.5277
11	Cr2O3	0.0212	mass%	0.00734	Cr-KA	0.0915	0.0169
12	MnO	0.0609	mass%	0.00692	Mn-KA	0.4802	0.0484
13	Fe2O3	5.33	mass%	0.00808	Fe-KA	61.9550	4.2424
14	NiO	0.0129	mass%	0.00373	Ni-KA	0.3128	0.0103
15	ZnO	0.0119	mass%	0.00321	Zn-KA	0.5207	0.0095
16	Br	0.0052	mass%	0.00199	Br-KA	0.6763	0.0042
17	Rb2O	0.0111	mass%	0.00212	Rb-KA	1.7519	0.0088
18	SrO	0.100	mass%	0.00217	Sr-KA	16.2708	0.0799
19	Y2O3	0.0030	mass%	0.00226	Y -KA	1.1263	0.0024
20	ZrO2	0.0299	mass%	0.01195	Zr-KB1	1.3774	0.0238
21	Nb2O5	0.0023	mass%	0.00243	Nb-KA	0.7473	0.0018

### SQX Calculation Result

Sample : Ech 2		Date analyzed : 2020/ 9/29 10:32
Application : F-U_Solid_N_056	Sample type : Oxide Powder	Balance :
	Sample film corr. :	Matching library :
	File : Ech 2_Aboud_1	Impurity corr. :

No.	Component	Result	Unit	Det. limit	EL line	Intensity	w/o normal
1	Na2O	0.159	mass%	0.01954	Na-KA	0.1387	0.1336
2	MgO	1.69	mass%	0.01818	Mg-KA	3.7144	1.4187
3	Al2O3	13.2	mass%	0.01458	Al-KA	99.8238	11.0645
4	SiO2	34.0	mass%	0.01989	Si-KA	211.2486	28.5989
5	P2O5	0.176	mass%	0.00248	P -KA	1.9118	0.1478
6	SO3	0.255	mass%	0.00351	S -KA	2.2560	0.2147
7	K2O	1.09	mass%	0.00448	K -KA	8.0866	0.9162
8	CaO	41.7	mass%	0.01728	Ca-KA	270.1028	35.0294
9	TiO2	0.894	mass%	0.02859	Ti-KA	1.0336	0.7513
10	MnO	0.0489	mass%	0.00768	Mn-KA	0.3609	0.0411
11	Fe2O3	6.61	mass%	0.01059	Fe-KA	71.8246	5.5604
12	NiO	0.0108	mass%	0.00433	Ni-KA	0.2422	0.0091
13	ZnO	0.0110	mass%	0.00338	Zn-KA	0.4446	0.0093
14	Rb2O	0.0042	mass%	0.00245	Rb-KA	0.5848	0.0035
15	SrO	0.190	mass%	0.00244	Sr-KA	28.1556	0.1596
16	ZrO2	0.0195	mass%	0.01297	Zr-KBI	0.8169	0.0164

### SQX Calculation Result

Sample : Ech 3		Date analyzed : 2020/ 9/29 10:24
Application : F•U_Solid_N_055	Sample type : Oxide Powder	Balance :
	Sample film corr. :	Matching library :
	File : Ech 3_Aboud_1	Impurity corr. :

No.	Component	Result	Unit	Det. limit	El. line	Intensity	w/o normal
1	Na2O	0.318	mass%	0.01736	Na-KA	0.2682	0.2646
2	MgO	1.71	mass%	0.01733	Mg-KA	3.6899	1.4238
3	Al2O3	11.4	mass%	0.01378	Al-KA	85.1859	9.5037
4	SiO2	30.1	mass%	0.01822	Si-KA	187.5082	24.9850
5	P2O5	0.207	mass%	0.00257	P-KA	2.3229	0.1721
6	SO3	1.66	mass%	0.00463	S-KA	15.1202	1.3821
7	K2O	1.08	mass%	0.00494	K-KA	8.1892	0.9019
8	CaO	46.4	mass%	0.01796	Ca-KA	298.9889	38.5889
9	TiO2	0.849	mass%	0.02787	Ti-KA	0.9168	0.7058
10	MnO	0.0449	mass%	0.00714	Mn-KA	0.3107	0.0374
11	Fe2O3	5.97	mass%	0.01010	Fe-KA	60.7740	4.9603
12	Rb2O	0.0063	mass%	0.00242	Rb-KA	0.8480	0.0052
13	SrO	0.194	mass%	0.00249	Sr-KA	27.4632	0.1616
14	ZrO2	0.0127	mass%	0.00329	Zr-KA	8.8292	0.0106
15	ReO2	0.0326	mass%	0.01006	Re-LA	0.4437	0.0271

### SQX Calculation Result

Sample : Ech 4		Date analyzed : 2020/ 9/29 10:49
Application : F-U_Solid_N_058	Sample type : Oxide Powder	Balance :
	Sample film corr. :	Matching library :
	File : Ech 4_Aboud_1	Impurity corr. :

No.	Component	Result	Unit	Det. limit	El. line	Intensity	w/o normal
1	Na2O	0.197	mass%	0.01861	Na-KA	0.1704	0.1621
2	MgO	1.81	mass%	0.01806	Mg-KA	3.9189	1.4877
3	Al2O3	14.8	mass%	0.01519	Al-KA	109.6298	12.1417
4	SiO2	36.1	mass%	0.02063	Si-KA	215.4603	29.7026
5	P2O5	0.211	mass%	0.00250	P-KA	2.1767	0.1733
6	SO3	0.742	mass%	0.00388	S-KA	6.2202	0.6104
7	Cl	0.0166	mass%	0.00424	Cl-KA	0.1073	0.0137
8	K2O	1.22	mass%	0.00469	K-KA	8.5451	1.0034
9	CaO	36.3	mass%	0.01610	Ca-KA	227.3203	29.8388
10	TiO2	1.03	mass%	0.02120	Ti-KA	1.2416	0.8449
11	Cr2O3	0.0495	mass%	0.00893	Cr-KA	0.2096	0.0407
12	MnO	0.0389	mass%	0.00757	Mn-KA	0.2993	0.0320
13	Fe2O3	7.39	mass%	0.00909	Fe-KA	83.2293	6.0814
14	ZnO	0.0177	mass%	0.00315	Zn-KA	0.7252	0.0146
15	Rb2O	0.0067	mass%	0.00232	Rb-KA	0.9501	0.0055
16	SrO	0.163	mass%	0.00234	Sr-KA	24.5038	0.1338
17	ZrO2	0.0197	mass%	0.01264	Zr-KB1	0.8407	0.0162

## SQX Calculation Result

Sample : Mahleb1		Date analyzed : 2019/ 1/27 01:56
Application : F-U_Solid_N_001	Sample type : Oxide Powder	Balance :
		Matching library :
	Sample film corr. :	Impurity corr. :
	File : Mahleb1_Aboud	

No.	Component	Result	Unit	Det. limit	El. line	Intensity	w/o normal
1	MgO	1.18	mass%	0.03577	Mg-KA	0.2816	0.9358
2	Al2O3	6.10	mass%	0.02828	Al-KA	4.9691	4.8202
3	SiO2	56.5	mass%	0.07368	Si-KA	38.4969	44.6398
4	P2O5	0.0697	mass%	0.00822	P -KA	0.0687	0.0551
5	SO3	0.724	mass%	0.01369	S -KA	0.5690	0.5714
6	Cl	0.0444	mass%	0.01645	Cl-KA	0.0257	0.0350
7	K2O	1.37	mass%	0.02263	K -KA	0.8932	1.0812
8	CaO	30.6	mass%	0.05176	Ca-KA	18.0653	24.1703
9	Fe2O3	3.00	mass%	0.02017	Fe-KA	4.1441	2.3662
10	SrO	0.157	mass%	0.00568	Sr-KA	3.1830	0.1240
11	ZrO2	0.223	mass%	0.03292	Zr-KB1	1.2744	0.1761

### SQX Calculation Result

Sample : Mahleb2		Date analyzed : 2019/ 1/27 02:04
Application : F-U_Solid_N_002	Sample type : Oxide Powder	Balance :
	Sample film corr. :	Matching library :
	File : Mahleb2_Aboud	Impurity corr. :

No.	Component	Result	Unit	Det. limit	El. line	Intensity	w/o normal
1	MgO	1.27	mass%	0.04820	Mg-KA	0.3070	1.1502
2	Al2O3	9.49	mass%	0.03788	Al-KA	8.0024	8.5927
3	SiO2	24.7	mass%	0.05152	Si-KA	17.6973	22.3293
4	P2O5	0.140	mass%	0.00942	P -KA	0.1918	0.1268
5	SO3	0.599	mass%	0.01033	S -KA	0.6570	0.5425
6	Cl	0.0380	mass%	0.01422	Cl-KA	0.0308	0.0344
7	K2O	0.738	mass%	0.01403	K -KA	0.6871	0.6684
8	CaO	54.3	mass%	0.06375	Ca-KA	40.8852	49.1228
9	Fe2O3	8.64	mass%	0.03182	Fe-KA	10.3495	7.8213
10	SrO	0.126	mass%	0.00749	Sr-KA	1.9999	0.1141
11	ZrO2	0.0296	mass%	0.00969	Zr-KA	0.9456	0.0268

### SQX Calculation Result

Sample : Mahleb3		Date analyzed : 2019/ 1/27 02:13
Application : F-U_Solid_N_003	Sample type : Oxide Powder	Balance :
		Matching library :
	Sample film corr. :	Impurity corr. :
	File : Mahleb3_Aboud	

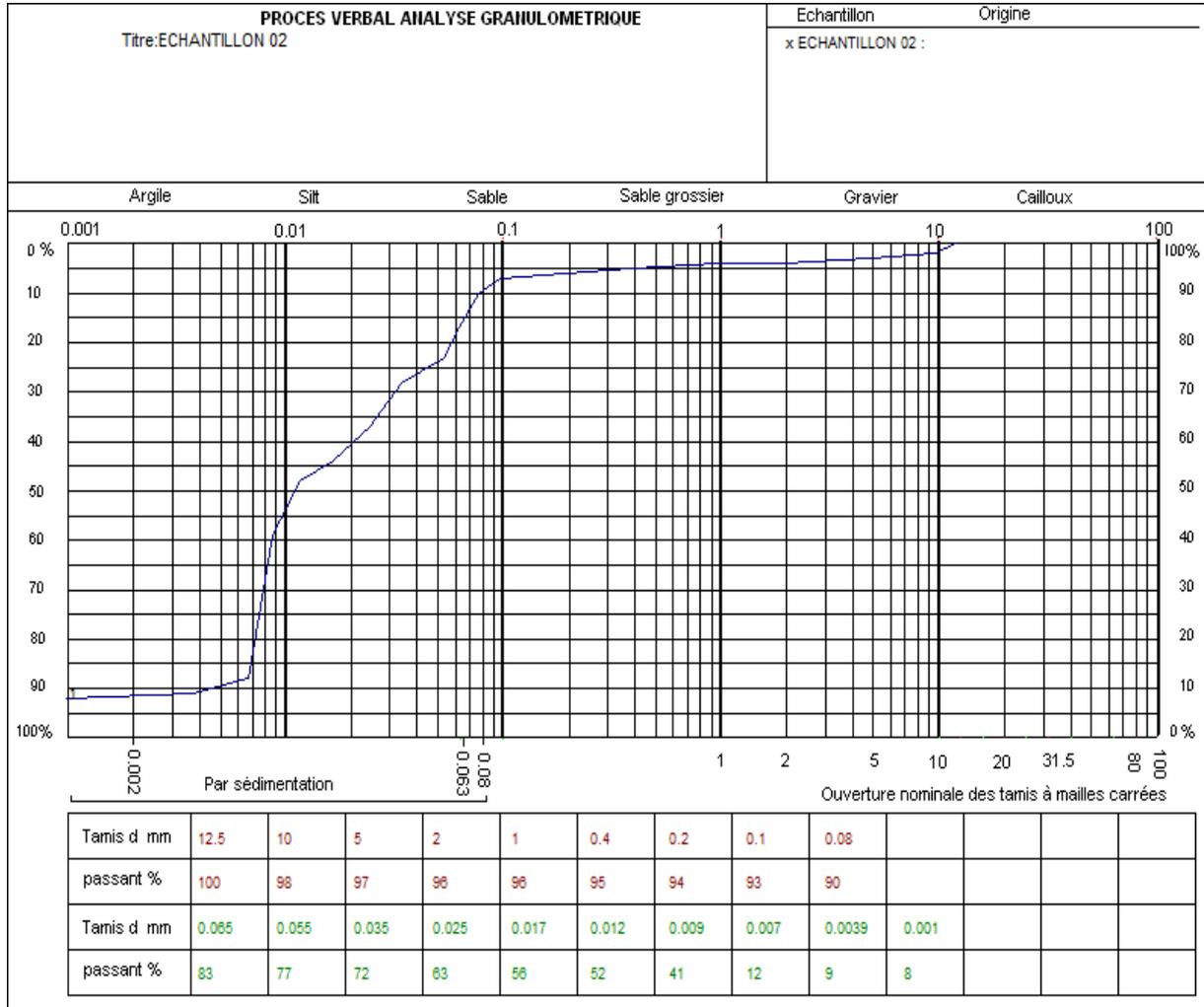
No.	Component	Result	Unit	Det. limit	El. line	Intensity	w/o normal
1	Na2O	0.340	mass%	0.07172	Na-KA	0.0332	0.3019
2	MgO	2.07	mass%	0.05148	Mg-KA	0.5273	1.8371
3	Al2O3	13.3	mass%	0.04188	Al-KA	11.5206	11.8097
4	SiO2	40.2	mass%	0.06887	Si-KA	27.7656	35.6681
5	P2O5	0.209	mass%	0.00894	P-KA	0.2437	0.1852
6	SO3	0.632	mass%	0.01213	S-KA	0.5899	0.5605
7	K2O	1.64	mass%	0.01712	K-KA	1.2849	1.4581
8	CaO	34.2	mass%	0.05130	Ca-KA	23.5064	30.3701
9	TiO2	1.14	mass%	0.13745	Ti-KA	0.1769	1.0131
10	Fe2O3	6.08	mass%	0.03110	Fe-KA	8.8272	5.3934
11	SrO	0.103	mass%	0.00653	Sr-KA	2.0510	0.0916
12	ZrO2	0.0405	mass%	0.00813	Zr-KA	1.4123	0.0360

### SQX Calculation Result

Sample : Mahleb4		Date analyzed : 2019/ 1/27 02:21
Application : F-U_Solid_N_004	Sample type : Oxide Powder	Balance :
	Sample film corr. :	Matching library :
	File : Mahleb4_Aboud	Impurity corr. :

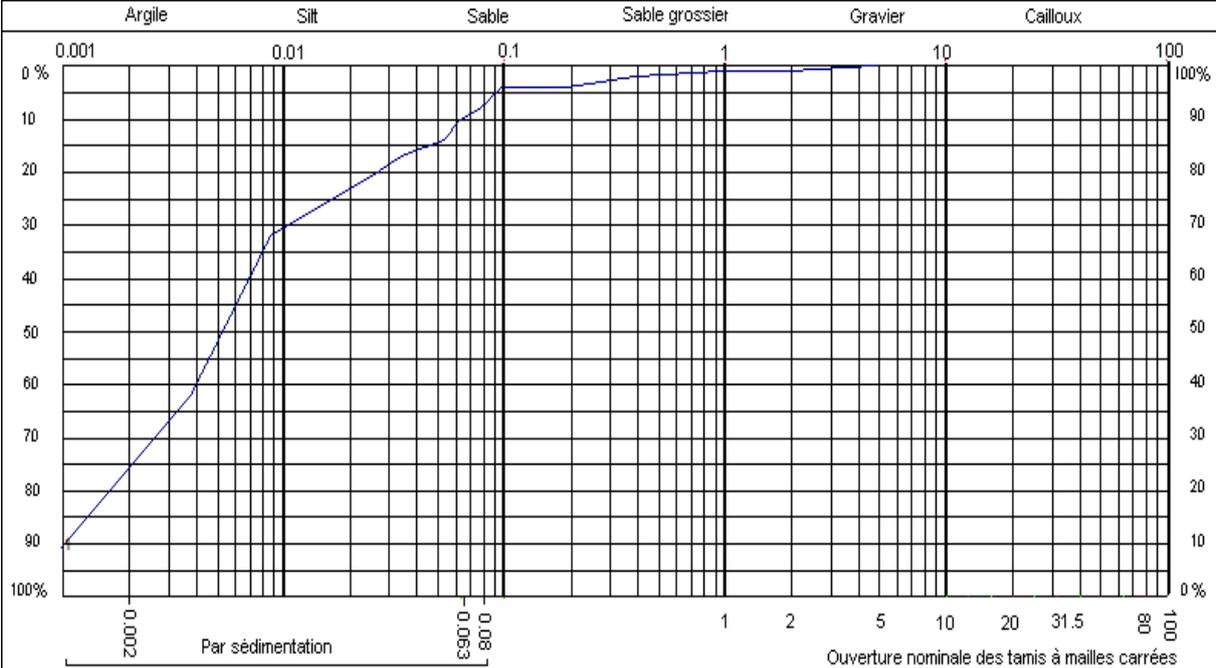
No.	Component	Result	Unit	Det. limit	El. line	Intensity	w/o normal
1	MgO	1.65	mass%	0.31518	Mg-KA	0.0232	1.3909
2	Al2O3	17.3	mass%	0.16616	Al-KA	0.8176	14.6245
3	SiO2	37.8	mass%	0.24712	Si-KA	1.2137	31.9008
4	SO3	8.35	mass%	0.13877	S -KA	0.3940	7.0477
5	CaO	26.9	mass%	0.27228	Ca-KA	1.0445	22.6933
6	Fe2O3	7.80	mass%	0.25968	Fe-KA	0.6363	6.5846
7	SrO	0.199	mass%	0.03182	Sr-KA	0.1944	0.1681

### Anexxe 03 :les resulats des essais physi-mécanique du sols de quelques echantillons



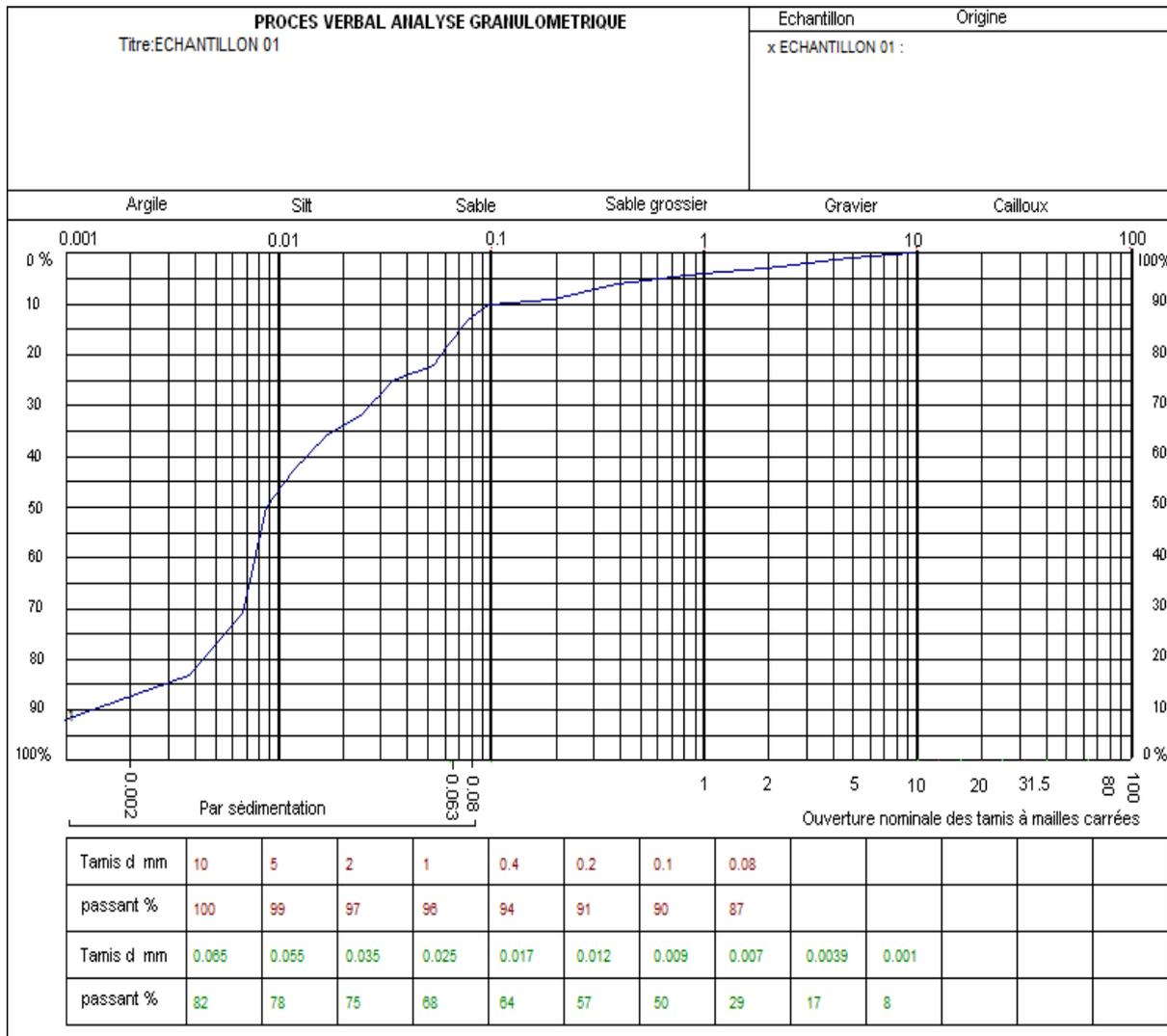
<b>% grave (2&lt;Ømm&lt;60)</b>	<b>01%</b>
<b>% Sable (0.06&lt;Ømm&lt;2)</b>	<b>10%</b>
<b>% Limon (0.002&lt;Ømm&lt;0.06)</b>	<b>65%</b>
<b>% Argile (Ømm&lt;0.002)</b>	<b>14%</b>
<b>% grave (2&lt;Ømm&lt;60)</b>	<b>01%</b>
<b>% Sable (0.06&lt;Ømm&lt;2)</b>	<b>10%</b>
<b>% Limon (0.002&lt;Ømm&lt;0.06)</b>	<b>65%</b>
<b>% Argile (Ømm&lt;0.002)</b>	<b>14%</b>
<b>% grave (2&lt;Ømm&lt;60)</b>	<b>01%</b>
<b>% Sable (0.06&lt;Ømm&lt;2)</b>	<b>10%</b>
<b>% Limon (0.002&lt;Ømm&lt;0.06)</b>	<b>65%</b>
<b>% Argile (Ømm&lt;0.002)</b>	<b>14%</b>
<b>% grave (2&lt;Ømm&lt;60)</b>	<b>01%</b>
<b>% Sable (0.06&lt;Ømm&lt;2)</b>	<b>10%</b>
<b>% Limon (0.002&lt;Ømm&lt;0.06)</b>	<b>65%</b>
<b>% Argile (Ømm&lt;0.002)</b>	<b>14%</b>

<b>PROCES VERBAL ANALYSE GRANULOMETRIQUE</b> Titre: ECHANTILLON 03	Echantillon Origine x ECHANTILLON 03 : -
---	---



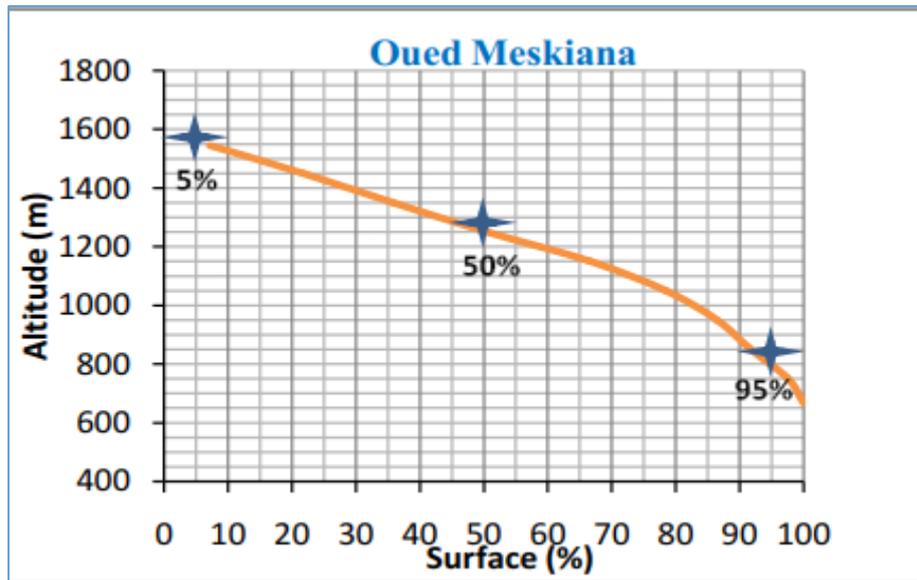
Tamis d mm	5	2	1	0.4	0.2	0.1	0.08						
passant %	100	99	99	98	96	96	92						
Tamis d mm	0.065	0.055	0.035	0.025	0.017	0.012	0.009	0.007	0.0039	0.001			
passant %	90	86	83	79	75	71	68	59	38	9			

<b>% grave (2&lt;Ømm&lt;60)</b>	<b>03%</b>
<b>% Sable (0.06&lt;Ømm&lt;2)</b>	<b>16%</b>
<b>% Limon (0.002&lt;Ømm&lt;0.06)</b>	<b>68%</b>
<b>% Argile (Ømm&lt;0.002)</b>	<b>13%</b>

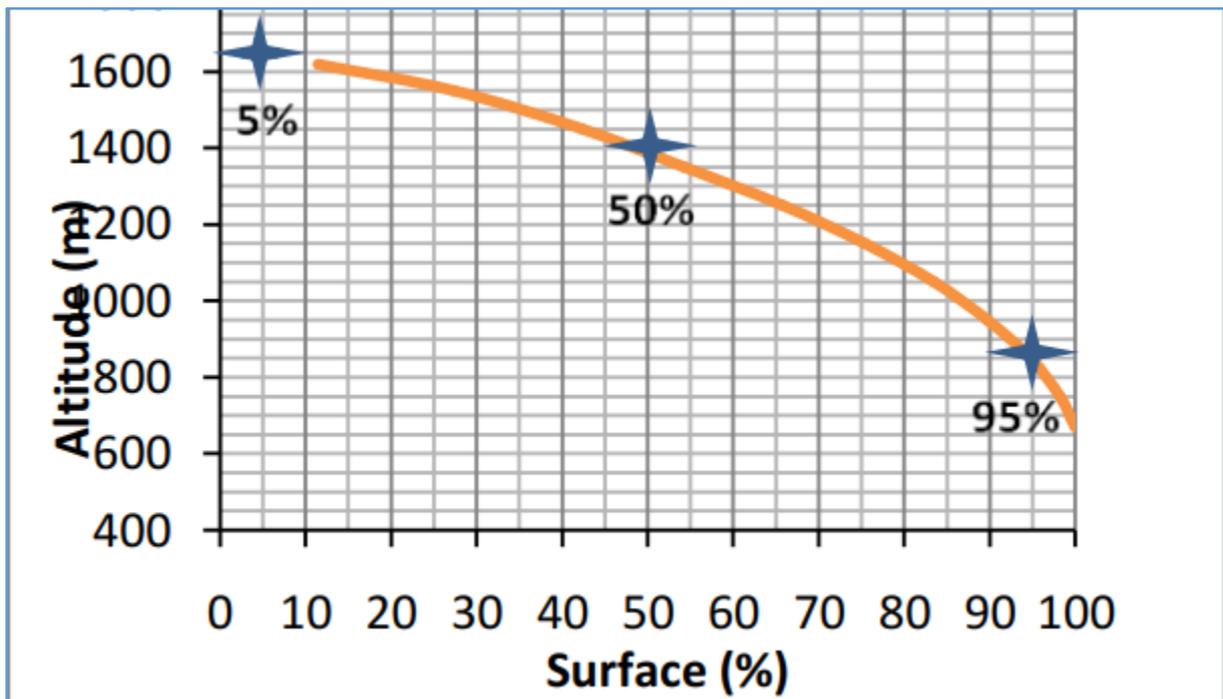


Annexe 04 : les courbes hypsométriques des deux bassins avec leur répartition hypsométrique

1/meskiana :



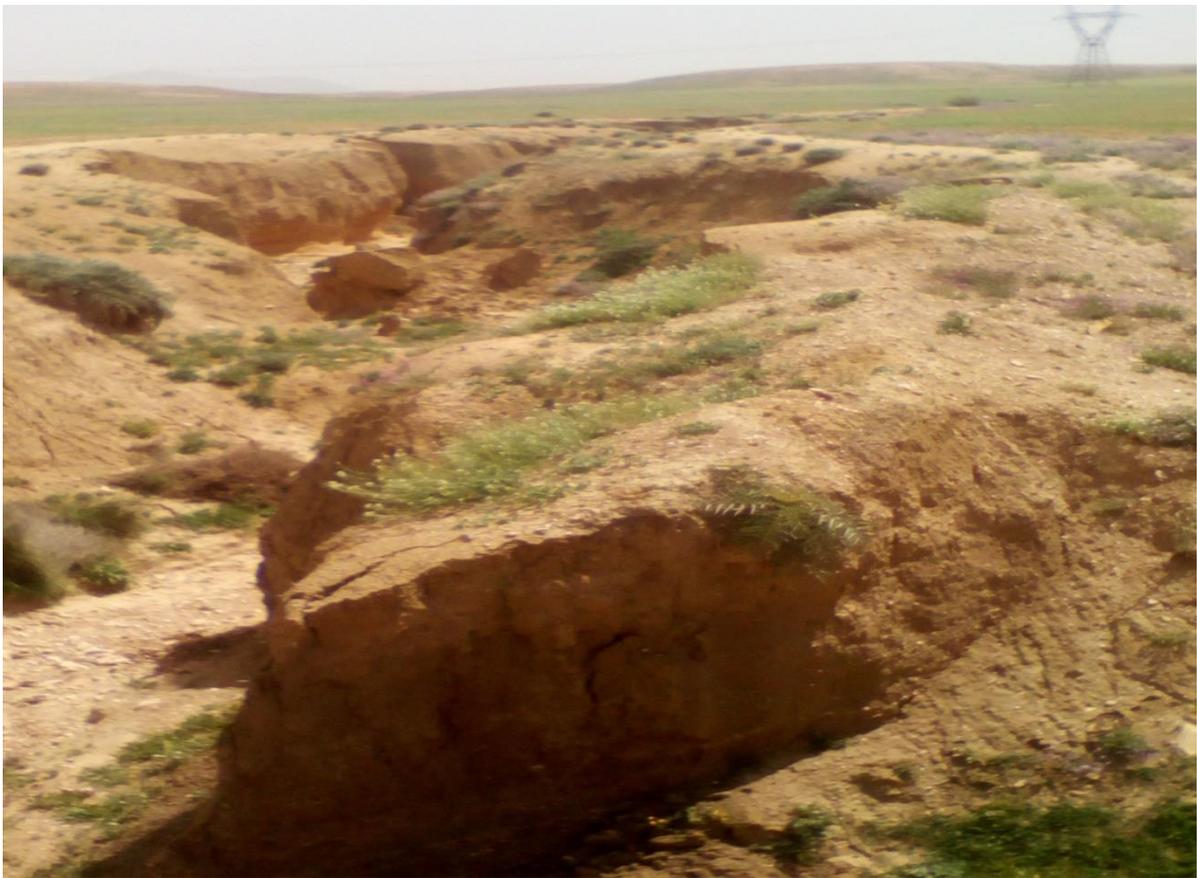
Tranches d'altitudes (m)	Alt moyenne	Ai (Km <sup>2</sup> )	Ai cumulées (Km <sup>2</sup> )	Ai %	% Ai cumulés	Dénivelé (m)
Sup 1500	1545.5	134.21	134.21	7.15	7.15	91
1500-1400	1450	273.67	407.88	14.57	21.72	100
1400-1300	1350	265.05	672.93	14.11	35.83	100
1300-1200	1250	275.8	948.73	14.68	50.52	100
1200-1100	1150	302.11	1250.84	16.09	66.60	100
1100-1000	1050	223.81	1474.65	11.92	78.52	100
1000-900	950	149.70	1624.35	7.97	86.49	100
900-800	850	98.67	1723.02	5.25	91.75	100
800-700	750	109.41	1832.43	5.82	97.57	100
Inf 700	667.5	45.51	1878	2.42	99.99	65



Tranches d'altitudes (m)	Alt moyenne	Ai (Km <sup>2</sup> )	Ai cumulées (Km <sup>2</sup> )	Ai %	% Ai cumulés	Dénivelé (m)
Sup 1600	1618.5	179.87	179.87	11.48	11.48	37
1600-1500	1550	247.88	427.75	15.82	27.30	100
1500-1400	1450	234.4	662.15	14.95	42.25	100
1400-1300	1350	189.72	851.87	12.11	54.36	100
1300-1200	1250	178.94	1030.81	11.42	65.78	100
1200-1100	1150	149.61	1180.42	9.55	75.33	100
1100-1000	1050	127.24	1307.66	8.12	83.45	100
1000-900	950	97.8	1405.46	6.24	89.69	100
900-800	850	79.3	1484.76	5.06	94.75	100
800-700	750	53.89	1538.65	3.44	98.19	100
Inf 700	669	28.32	1567	1.81	99.99	62

Annexe 05 :quelque photos de la zone d'étude





















## ***Résumé :***

L'érosion d'origine hydrique est un aléa naturel résultant de l'interaction d'un ensemble de facteurs d'origine géologique, topographique, climatique, environnementale et humaine.

Favorisés par les effets du changement climatique et exacerbés par les fortes précipitations, la sécheresse, le ruissellement, les propriétés du sol, et bien sur l'occupation des terres ; le bassin versant Mellégué (Nord-Est de l'Algérie) est touché par cette menace.

Le but de notre étude consistait à évaluer et cartographier la susceptibilité des sols de ce bassin versant à caractère semi-aride à l'érosion hydrique à l'aide des technologies spatiales : SIG-RS.

L'analyse multicritère basée sur le modèle AHP a permis de pondérer chaque facteur en fonction de son degré d'influence sur le phénomène de l'érosion hydrique. Le modèle empirique de Wischmeier RUSLE ,(Revised Universal Soil Loss Equation) considère (R) l'érosivité, (LS) la longueur et l'inclinaison de la pente ou la topographie, (K) l'érodabilité, (C) facteur de la couverture végétale et (P) les pratiques anti-érosives comme les principaux paramètres inducteurs et déclencheurs du phénomène. Pour le traitement des données, nous avons intégré la pente, les précipitations, les lithofaciès, Indice de végétation par différence normalisée (NDVI), densité de drainage et utilisation des terres. La quantification de la composition minéralogique de la surface du sol permet de distinguer les parties les plus sensibles à l'érosion. Cela permet d'estimer la perte de sol à travers le bassin versant à environ 7 t/ha/an. Nos recherches ont identifié les zones les plus érodées qui nécessitent une action immédiate. La compilation de systèmes d'information géographique et de techniques de télédétection (GIS-RS) avec des enquêtes de terrain permet une évaluation quantitative et rapide des changements spatiaux de l'érosion des sols. Il aide les gestionnaires à mettre en œuvre des plans d'atténuation de la dégradation des terres à moindre coût et avec une plus grande précision, et à protéger les ressources en terres et en eau au Moyen-Orient et en Afrique du Nord (MENA). Le modèle permet de simuler des scénarios de gestion alternatifs.

***Mots-clés :*** érosion d'origine hydrique, RUSLE, AHP, SIG, Mellégué.

**Abstract :**

Water-born erosion is a natural hazard resulting from the interaction of a set of geological, topographical, climatic, environmental, and human factors. Favored by the effects of climate change and exacerbated by heavy rainfall, drought, runoff, soil properties, and of course land use; the Mellegue watershed (north-eastern Algeria) is affected by this threat. The aim of our study consisted to assess and map the susceptibility of the soils of this semi-arid watershed to water erosion using spatial technologies: GIS-RS. The multi-criteria analysis based on the AHP model made it possible to weight each factor according to its degree of influence on the phenomenon of water erosion. Wischmeier's empirical model RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) considers (R) erosivity, (LS) length and steepness of slope or topography, (K) erodibility, (C) factor of vegetation cover and (P) anti-erosion practices as the main parameters inducing and triggering the phenomenon. For data processing, we integrated slope, rainfall, lithofacies, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), drainage density and land use. The quantification of the mineralogical composition of the soil surface makes it possible to distinguish the parts most sensitive to erosion. Its allows to estimate the loss of soil through the watershed at about 7 t/ha/year. Our research has identified the most eroded areas that require immediate action. The compilation of geographic information systems and remote sensing techniques (GIS-RS) with field surveys allows a quantitative and rapid assessment of spatial changes in soil erosion. It helps managers implement land degradation mitigation plans at lower cost and with greater accuracy, and protect land and water resources in the Middle East and North Africa (MENA). The model makes it possible to simulate alternative management scenarios.

**Key words:** Water-born erosion, RUSLE, AHP, GIS, Melléque.

## ملخص:

التعرية الناجمة عن المياه هي خطر طبيعي ناتج عن تفاعل مجموعة من العوامل الجيولوجية، الطبوغرافية، المناخية، البيئية و البشرية. إزدادت بفعل تأثيرات تغير المناخ وتفاقت بسبب هطول الأمطار الغزيرة والجفاف والجريان السطحي وخصائص التربة، وبالطبع استخدام الأراضي. يتأثر حوض ملاق (شمال شرق الجزائر) بهذا التهديد. تهدف دراستنا إلى تقييم ورسم خريطة تعرض تربة هذا الحوض شبه الجاف للتعرية المائية باستخدام التقنيات المكانية و نظم المعلومات الجغرافية.

أتاح التحليل متعدد المعايير المستند إلى نموذج AHP إمكانية وزن كل عامل وفقاً لدرجة تأثيره على ظاهرة الانجراف. نموذج Wischmeier التجريبي RUSLE (معادلة فقدان التربة العالمية المعدلة) يعتبر (R) التآكل ، (LS) طول وانحدار المنحدر أو التضاريس ، (K)التآكل ، (C)عامل الغطاء النباتي و (P) الممارسات المضادة للتآكل مثل العوامل الرئيسية التي تحفز وتطلق هذه الظاهرة. لمعالجة البيانات ، قمنا بدمج المنحدرات والأمطار والسحنة الصخرية ومؤشر الغطاء النباتي (NDVI) وكثافة الصرف واستخدام الأراضي. يجعل قياس التركيب المعدني لسطح التربة من الممكن تمييز الأجزاء الأكثر حساسية للتعرية. يسمح بتقدير فقدان التربة من خلال مستجمعات المياه بحوالي 7 طن / هكتار / سنة. حددنا المناطق الأكثر تآكلاً والتي تتطلب إجراءات فورية. يسمح تجميع نظم المعلومات الجغرافية وتقنيات الاستشعار عن بعد (GIS-RS) مع المسوحات الميدانية بإجراء تقييم كمي وسريع للتغيرات المكانية في تآكل التربة. يساعد على تنفيذ خطط التخفيف من تدهور الأراضي بتكلفة أقل وبدقة أكبر ، وحماية موارد الأراضي والمياه في الشرق الأوسط وشمال إفريقيا (MENA). يتيح النموذج محاكاة سيناريوهات الإدارة البديلة.

**الكلمات المفتاحية:** الانجراف الناتج عن الماء ، RUSLE ، AHP ، GIS ، ملاق.