

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم
UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS DE MOSTAGANEM



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Agronomiques
Filière : Sciences Agronomiques
Option : Sciences des sols et foresterie

THESE
PRESENTEE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME
DE DOCTORAT EN SCIENCES

Présentée par:
M. BAGHDADI Djilali

Thème

**Impact des facteurs écologiques sur la dégradation
des sols agricoles et forestiers méditerranéens du
bassin versant de l'Oued Mina – Algérie
Nord-Ouest**

Soutenue publiquement le 17 Octobre 2017 devant les membres de jury :

M. LARID Mohamed, Professeur, Université de Mostaganem, Président ;
M. MEDERBAL Khalladi, Professeur, Université de Tiaret, Rapporteur ;
M. CHOUIEB Mohamed, Maitre de conférences B, Université de Mostaganem, Co-Promoteur ;
M. KOURI Lakhdar, Professeur, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie ; Examinateur ;
M. DELLAL Abdulkader, Professeur, Université de Tiaret, Examinateur ;
M. BELKHODJA Moulay, Professeur, Université d'Oran 1, Examinateur.

Année Universitaire : 2016-2017

DEDICACES

JE DÉDIE CE MANUSCRITE À

**A MES TRÈS CHERS PARENTS QUI M'ONT TOUJOURS ENCOURAGÉ À POURSUIVRE
MES ÉTUDES,**

A MA FEMME QUI M'A DONNÉ COURAGE ET PATIENCE POUR

**PASSER TOUS LES MOMENTS DIFFICILES, ET QUI M'A PERMIS D'ACHEVER CE
TRAVAIL,**

A MES DEUX ENFANTS HAITEM ET IBTIHEL

À MES DEUX FRÈRES MHAMED ET AHMED, ET JE TIENS À LEURS PRÉSENTER

**MES HUMBLÉS ET SINCÈRES REMERCIEMENT AINSI QU'A TOUTE MA
RECONNAISSANCE ET PROFONDE GRATITUDE**

A MES AMIS:

KHALED, FARID, ABDESSLEM, AMINE, MILOUD, DJELILET

REMERCIEMENTS

*Mes remerciements sincères et respectueux s'adressent à **Mr LARID M.** Professeur à l'université Abdel Hamid Ben Badis de Mostaganem, qui m'a fait l'honneur d'accepter de présider la soutenance de cette thèse et lui demande d'accepter ma profonde reconnaissance.*

*J'exprime ma profonde reconnaissance et mes sincères remerciements à mon Directeur de thèse et Co promoteur, Monsieur **MEDERBAL K.**, et Monsieur **CHOUIEB M.**, Je les ai connus en 2001 quand j'étais encore étudiant en première année... une connaissance qui a bien évolué au fil des années d'études universitaires et qui s'est renforcée de plus en plus en m'inscrivant en thèse sous leur direction. Sans eux, je n'aurais pas pu atteindre ce jour, peut-être. Je leur exprime mes profondes gratitude.*

*Il m'est agréable d'adresser mes vifs et respectueux remerciements à : **Mr KOURI L.** Professeur à l'Ecole Nationale Supérieur d'Agronomie, **Mr DELLAL A.** Professeur à l'université d'Ibn Khaldoune Tiaret, **Mr BELKHODJA M.** Professeur à l'université d'Oran 1 Ahmed Ben Bella, qui m'ont fait l'honneur d'accepter d'examiner et d'évaluer mon travail, qu'ils veuillent accepter ma profonde reconnaissance.*

Enfin, je remercie toutes les personnes intéressées par mon travail, en espérant qu'elles puissent trouver dans mon rapport de thèse des explications utiles.

Résumé

Résumé

L'étude des processus de dégradation des sols présente un intérêt considérable en vue d'une utilisation optimale et durable des sols. La région d'étude subit les conditions du climat méditerranéen avec 5 à 6 mois secs et une forte pluviosité automnale. Sur le plan lithologique, cette zone est constituée essentiellement de marnes qui participent beaucoup à la production de sédiments en plaine. Le facteur écologique de type anthropique entraîne une surexploitation des ressources naturelles et une forte pression.

La méthodologie adoptée dans cette étude a permis de réaliser une carte du risque d'érosion à travers l'application du programme CORINE antiérosif, qui nous a permis de présenter les risques potentiels et actuels d'érosion sous forme d'un document cartographique en nous basant sur des données de télédétection et d'autres données exogènes et de réaliser une série de cartes thématiques suivie du croisement de ces dernières afin de déterminer les régions sujettes aux risques d'érosion.

L'utilisation des données de télédétection pour étudier et analyser la dynamique et l'occupation du sol du bassin versant de l'oued Minas'est révélée concluante. C'est une amélioration significative des résultats obtenus suite à l'utilisation des méthodes de classification traditionnelle. Les précisions globales obtenues sont de 99 % (1985), 98% (2002) et 98 % (2009). Les résultats des analyses des sols obtenus montrent que les sols de la partie sud du bassin versant sont souvent argileux (36 à 50 % d'argile) et non salés. Ceux de la partie nord sont argilo-sableux caractérisés par des teneurs très élevées en sels (CE : 1.27-6.6 mS/cm). Ces derniers sont occupés par l'agriculture ou abandonnés et colonisés par les halophytes. La présente étude fournit un document de base et apporte quelques réponses notamment en terme de choix des zones prioritaires d'intervention, et établit un document cartographique d'aide à la décision et aux propositions d'aménagement pour des fins de restauration des terres en voie de dégradation.

Mots clés :Dégradation, sols, érosion hydrique, salinité, SIG, télédétection, cartographie, sensibilité, bassin versant, Oued Mina, Algérie.

Abstract

The study of soil degradation processes is of considerable interest for the optimal and sustainable use of soils. The study area undergoes the conditions of the Mediterranean climate with 5 to 6 months dry, high autumn rainfall. In terms of lithology, this study area consists essentially of marls, which contribute significantly to the production of lowland sediments. The anthropogenic ecological factor leads to overexploitation of natural resources and strong pressure.

The methodology adopted in this study made it possible to map the risk of erosion through the application of the CORINE anti-erosive program, which is a coordinated information system on the state of the environment and natural resources. (Present and potential) risk of erosion in the form of a cartographic document. Based on remote sensing data and other exogenous data, a series of thematic maps was produced, These maps are cross-referenced in order to determine the regions subject to the risk of erosion.

The use of remote sensing data to study and analyze the dynamics and land use of the watershed of the wadi mina we have had suitable results. It is a significant improvement of the results obtained compared to the use of the traditional classification methods. The overall precisions obtained are 99% (1985), 98% (2002) and 98% (2009). The results of the analyzes of the soils obtained show that the soils of the southern part of the watershed are often clayey (36 to 50% clay) and unsalted, and those of the northern part are clayey-sandy characterized by very high contents (EC: 1.27 - 6.6 mS / cm). The latter are occupied by agriculture or abandoned and colonized by halophytes.

The present study provides some answers, particularly in terms of the choice of priority areas for intervention, and builds a cartographic document for decision-making and development proposals for For the restoration of land in the process of degradation.

Keywords :Degradation, Soils, Erosion, salinity, SIG, Remote sensing, Mapping, sensitivity, watershed, Wadi Mina, Algeria

ملخص

ان الدراسات الحديثة على التعرض لتغير المناخ في منطقة البحر الأبيض المتوسط تشير إلى وجود اتجاه لزيادة الجفاف هو ظاهرة معقدة مع لغير النظامية، بشكل عشوائي وانقطاع المكاني والزمني الخاص. بسبب حجمها. تسريع تآكل المياه والعدوانية، بل هو العائق الرئيسي لتطوير الزراعة وتشجيع الأنشطة الريفية

خطر تشخيص الجريان السطحي والتآكل على منحدر الفرعية حوض للواد مينا يتطلب فهم سلوك الهيدروديناميكية من التربة، على وجه الخصوص، وأصل ولادة الجريان السطحي وتسلسل قدرة التربة على اعتمادا على حالة السطح وأنواع التربة. دراسة عمليات التعرية هي من اهتمام كبير لاستخدام الأمثل والمستدام للأراضي. منطقة الدراسة تعاني ظروف مناخ البحر الأبيض المتوسط مع 5-6 شهور الجفاف، وسقوط الأمطار حاد. على خريطة الصخرية، وهذه منطقة الدراسة تتكون أساسا من المارل المشاركة بشكل كبير في إنتاج الرواسب في المناطق المنخفضة. العامل البيئي للبشرية المنشأ يسبب مثل هذا الاستغلال المفرط للموارد الطبيعية وارتفاع ضغط

يتكون هذا العمل من رسم خرائط استخدام الأراضي، وتقييم تآكل المياه في مستجمعات المياه من واد مينا في شمال الجزائر. كما يتضمن حصر للبيئة لإدماجه في قاعدة بيانات من أجل تعزيز المعلومات البيئية والزراعة والغابات. للقيام بذلك، ونحن نستخدم البيانات من الاستشعار عن بعد لتقييم ورسم خريطة للدول وجها لوجه السطوح إلى تآكل المياه ونظم المعلومات لإجراء التحليل المكاني مع البيئة المادية مزيج من البيانات المرجعية المكانية. ويقترح التوجيه أخيرا للتغلب على (GIS) الجغرافية القيود المتأصلة في هذا العمل. وإنشاء قاعدة بيانات

الكلمات المفتاحية: مينا - تدهور التربة - حوض مائي - عوامل التربة - نصف جاف - انظم المعلومات الجغرافية

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Répartition de la précipitation moyenne mensuelle et saisonnière.....	36
Tableau 2 : Distribution des jours de gelée durant l'année	38
Tableau 3 : Humidité relative moyennes mensuelles en % (Station de Relizane)	38
Tableau 4 : Vitesse moyenne mensuelle du vent (Station de Relizane)	39
Tableau 5 : Répartition altimétrique du bassin versant de l'Oued Mina.....	41
Tableau 6 : Répartition des classes de pentes dans le bassin versant de l'Oued Mina	43
Tableau 8 : Composition et répartition de la superficie totale agricole dans la wilaya de Relizane	45
Tableau 9 : Bilan de la production arboricole (99/2000) de la W.de Relizane	45
Tableau 10 : Effectifs des animaux en nombre de tête et par catégorie dans la wilaya de Relizane.....	45
Tableau 11 : Différentes classes de NDVI pour les 03 périodes en 1985, 2002 et en 2009 de Mina.....	48
Tableau 12 : Superficies des différentes classes de NDVI en 1985, 2002 et en 2009 de l'Oued Mina ...	49
Tableau 13 : Superficies des unités d'occupation du sol en 1985, en 2002 et en 2009 de Mina	49
Tableau 14 : Matrice de confusion de l'estimation de la classification de l'image TM de Landsat pour 1985.....	55
Tableau 15 : Matrice de confusion de l'estimation de la classification de l'image TM de Landsat pour 2002.....	55
Tableau 16 : Matrice de confusion de l'estimation de la classification de l'image TM de Landsat pour 2009.....	55
Tableau 17 : Superficies des unités d'occupation du sol en 1985, en 2002 et en 2009 de Mina	56
Tableau 18 : Occupation des sols dans la zone d'étude.....	61
Tableau 19 : Consistance du patrimoine forestier à la wilaya de Relizane.....	61
Tableau 20 : Répartition des terres dans la Wilaya de Relizane	62
Tableau 21 : Evolution de la population (1966-1998)	62
Tableau 22 : Classes hypsométrique du bassin versant	62
Tableau 23 : Caractéristiques physiques et géomorphologiques des sous bassins versants	68
Tableau 24 : Caractéristiques physiques et géomorphologiques des sous bassins versants codifiés	69
Tableau 25 : Coordonnées des stations (WGS84)	73
Tableau 26 : Part de chaque variable dans la construction du facteur	84
Tableau 27 : Caractéristiques du microsatellite algérien ALSAT1	97
Tableau 29 : Classes déduites de la classification par arbre de décision	111
Tableau 30 : Propriétés et classes d'érodabilité des sols de chaque unité spatiale.....	118
Tableau 31 : Précipitations moyennes mensuelles, la moyenne annuelle et de $\frac{(P_i)^2}{P}$	119
Tableau 32 : Indice xérothermique (p) de la période sèche	119
Tableau 33 : Classes des pentes.....	120
Tableau 34 : Risque potentiel d'érosion (R.P.E)	121

LISTE DES FIGURES

Figure 2 : Exemple de quelques types d'érosion hydrique (VUKASIN et al. ,1995).....	28
Figure 3 :Extraction des sous bassins versants de l'Oued Yellel	63
Figure 4 : Sous bassins versant de l'Oued Yellel	68
Figure 5 : Classification hiérarchique en fonction des sous bassins versant de l'Oued Yellel	69
Figure 6 : Classification hiérarchique en fonction des caractéristiques physiques et géomorphologique	70
Figure 7: Stations d'échantillonnage.....	74
Figure 8 : Composition de la fraction granulométrique de la zone d'étude.....	76
Figure 9: Variabilité de la composition granulométrique	77
Figure 10 : Coordonnées des variables sur l'axe 1 – 2	85
Figure 11 : Structures des variables sur l'axe 2 – 3	86
Figure 12 : Structures des variables sur l'axe 1 – 4.....	86
Figure 13 : Position des individus sur le plan 1 – 2.....	88
Figure 14: Position des individus sur le plan 2 – 3.....	88
Figure 15 : Position des individus sur le plan 1 – 4.....	89
Figure 16: Dendogramme de la CAH	89
Figure 17 : Procédure de la télédétection.....	96
Figure 18 : Algorithme de classification par arbre de décision adopté pour l'extraction des unités spatiales homogènes.....	109
Figure 19 : Triangle de la FAO orthonormé.....	115
Figure 21 : 1ér Cas : Erodabilité faible,	130
Figure 22 : 2éme Cas : Forte érodabilité,	130
Figure 23 : 3éme Cas : Forte érodabilité,.....	130
Figure 24 : 4éme Cas : Forte érodabilité, sols nus et l'agressivité de la pente , facteurs favorisant un risque actuel d'érosion très élevé.....	130

LISTE DES GRAPHIQUES

Graphe 1 : Variation des précipitations interannuelle.....	36
Graphe 2 : Précipitations moyennes mensuelles et saisonnières	37
Graphe 3 : Températures moyennes de la station de Relizane(1987-2009).....	37
Graphe 5 :Humidité (2001-2011)	39
Graphe 6 : Variation de la vitesse du vent (1987-2009)	39
Graphe 7 : Climagramme pluviothermique d'EMBERGER.....	40
Graphe 8 : Signature spectrale du couvert végétal (1).....	47
Graphe 9 : Signature spectrale de l'eau (2).....	48
Graphe 10 : Signature spectrale du sol nu (3)	48
Graphe 11 : Superficies des unités d'occupation du sol en 1985, en 2002 et en 2009 de l'Oued Mina.	56
Graphe 12 : Distribution d'argile dans la zone d'étude	77
Graphe 13 :Classification des valeurs de pH.....	78
Graphe 14: Classe de la conductivité électrique.....	78
Graphe 15: Classification de teneur en calcaire total de la zone	79
Graphe 16: Classification de teneur en matière organique.....	80
Graphe 17 : Distribution des classes de l'azote total	81
Graphe 18: Capacité d'échange cationique dans la zone d'étude.....	82
Graphe 19: Tracé des valeurs propres.....	84
Graphe 20 : Pics d'absorption de la végétation et de l'eau et distinction des deux domaines spectraux (visible et infrarouge)	103
Graphe 21 : Spectres de réflectance d'un sol limon sableux pour différentes humidités.....	104
(Bowers et Hanks, 1965).....	104
Graphe 21 : Relation linéaire simple entre l'NDVI et taux de recouvrement.....	126

LISTE DES CARTES

Carte 1 : Situation géographique du bassin versant de l'Oued Mina.....	35	
Carte 2 : Carte hypsométrique du bassin versant de l'Oued Mina	42	
Carte 3 : Modele Numérique des terrains (MNT) de la zone d'étude	43	
Carte 4 : Carte des pentes du bassin versant de l'Oued Mina	44	
Carte 5 : Vraies couleurs et composition colorée de la zone d'étude	47	
Carte 6 : Indice de végétation NDVI	50	
Carte 7 : Classification non supervisée de l'Oued Mina.....	51	
Carte 8 : Localisation des échantillons tests sur la zone d'étude.....	53	
Carte 9 : Occupation du sol du bassin versant de l'Oued Mina	54	
Carte 10 : Délimitation du bassin et sous bassins versants de Oued Yellel.....	60	
Carte 11 : Carte hypsométrique	Carte 12 : La carte des expositions.....	63
Carte 13 : Distribution de pH dans le sous bassin versant de Oued Yellel.....	90	
Carte 14 : Distribution de la matière organique dans le sous bassin versant de Oued Yellel.....	91	
Carte 15 : Distribution spatiale des valeurs du CaCO ₃ dans le sous bassin versant de Oued Yellel.....	92	
Carte 16 : Carte de salinité du sous bassin versant de Oued Yellel.....	92	
Carte 17 : Situation du sous bassin versant.....	108	
Carte 18 : Extrait de la carte géologique Bosquet Mostaganem.....	110	
Carte 19 : Indice de végétation issue des canaux rouge et infrarouge du satellite Landsat 5 (année 2010)	110	
Carte 21 : Classes des pentes de la zone d'étude.....	120	
Carte 22 : Classes du Risque Potentiel d'Erosion R.P.E.....	122	
Carte 23 : Composition colorée des trois bandes spectrales XS1, XS2, XS3 du satellite SPOT	123	
Carte 24 : NDVI pris des canaux rouge et infrarouge de l'image Landsat 5 TM	125	
Carte 25 : Classes du taux de recouvrement exprimé en pourcentage.....	127	
Carte 26 : Classes du risque actuel d'érosion (R.A.E).....	128	

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Direction du travail du sol influant sur l'érosion hydrique	8
Photo 2 : Erosion dans la zone d'étude	12
Photo 3 : Station choisie pour échantillonnage	58

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ACP Analyse en Composante principale

BGI : L'indice de BAGNOULS et GAUSSEN

BNEDER : Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural

CAH : Classification Hiérarchique Ascendante

D.F.P : Directions de la Formation Professionnelle

D.S.A : Direction des Services Agricoles

ENVI : Environnement for visualising image ;

FAO : Food and Agriculture Organisation (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture)

GPS : Global Positioning System;

IF : Indice de Fournier

Km : Kilomètre :

NDVI : Normalise DifferenceVegetation Index ('indice de végétation par différence normalisé)

ONS : Office National Des Statistiques

ONM : Office National de Météorologie

R.A.E : Risque Actuel d'Erosion

R.P.E : Risque Potentiel d'Erosion Des Sols

SFPT : la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection)

SIG : Système D'information Géographique

UTM :Universal Transverse Mercator ;

UV: Ultra violet

WGS 84 : World Geodetic System (révision de 1984)

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	I
REMERCIEMENTS.....	II
RESUME.....	III
ABSTRACT.....	IV
ملخص.....	V
LISTE DES TABLEAUX.....	VI
LISTE DES FIGURES.....	VII
LISTE DES GRAPHIQUES.....	VIII
LISTE DES CARTES.....	IX
LISTE DES PHOTOS.....	X
LISTE DES ABREVIATIONS.....	XI
Introduction générale.....	17
Problématique.....	18
Méthodes et objectifs de travail.....	19

PARTIE I

Revue bibliographique

Chapitre I : Généralités sur la dégradation des sols

Introduction.....	24
II. Quelques définitions.....	24
II.1. Définition de la dégradation des sols.....	24
II.2. Processus de dégradation.....	24
II.3. Risque de dégradation des sols.....	24
III. Grandes catégories de la dégradation des sols.....	24
III.1. Phénomène d'érosion hydrique des sols.....	24
III.1.1. Mécanisme d'érosion hydrique.....	26
III.1.2. Erosion hydrique et ses différentes formes.....	27
III.1.3. Différents types d'érosion.....	27
III.1.4. Causes de l'érosion.....	29
a) Facteurs climatiques.....	29
b) Facteurs pédologiques.....	29
c) Facteurs topographiques.....	29
d) Facteurs anthropiques.....	29
e) Nature et taux du couvert végétal.....	30
III.1.5. Formes majeures de l'érosion.....	30
III.1.5.1. GGGGGlissements de terrains.....	30
III.1.5.2. Eboulements ou « falls ».....	30
III.1.6. Idée générale sur l'érosion hydrique dans le bassin versant de Oued Mina.....	30
III.2. Dégradation chimique.....	30
III.3. Dégradation physique :.....	30
III.4. Dégradation biologique.....	31

III.5. Excès de sels	31
III.5.1. Origine et mécanisme de salinisation	31
III.5.2. Origine de la salinisation	31
a. Salinité primaire	32
b. Salinité secondaire	32
III.5.3. Effets de salinité sur le sol	32
a. Effets sur structure	32
b. Effets sur rétention de l'eau	32
Conclusion	33
Chapitre II : Cadre physique	
I. Introduction	35
II. Situation géographique	35
III. Climat	36
III.1. Choix de station météorologique	36
III.2. Précipitations	36
III.2.1. Variation des pluies interannuelles	36
III.2.2. Etude des précipitations moyennes mensuelles	36
III.3. Températures	37
III.4. Gelée	38
III.5. Humidité	38
III.6. Vent	39
III.7. Climagramme de LOUIS EMBERGER	40
IV. Géologie et la géomorphologie	40
IV.1. Relief	40
IV.2. Stratigraphie et lithologie	41
IV.3. Ressources en eaux	41
IV.4. Aspect topographique	41
IV.4.1. Répartition altimétrique	41
IV.4.2. Carte des pentes	42
V. Milieu humain	44
V.1. Données démographiques	44
V.2. Population et emploi	44
V.3. Activités socioprofessionnelles	45
V.3.1. Agriculture	45
V.3.3. Elevage	45
VI.1. Elaboration des compositions colorées	46
VI.2. Indices de végétation	48
VI.3. Classification non supervisée	49
VI.4. Reconnaissance et données de terrain	52
VI.5. Classification supervisée	52
VI.6. Performance et validation de la classification	55
VI.6.1. Matrice de confusion	55
VI.6.2. Etat des ressources de Oued Mina de 1985 à 2009	56
Conclusions	57

Chapitre III : Choix de l'entité spatiale

I. Introduction	43
II. Choix de l'entité spatiale d'intégration.....	59
II.1. Bassin versant.....	59
II.2. Bassin versant de Oued Yellel	59
III. Végétation et occupation des sols	61
III.1. Occupation des sols	61
III.1.1. Forêts	61
III.1.2. Agriculture	62
III.1.3. Population riveraine.....	62
IV. Topographie.....	62
IV.2. Classification des sous bassins versant en fonction des caractères physiques	68
IV.3. Classification hiérarchique ascendante par la méthode de WARD	69
Conclusion.....	70

PARTIE II**Outils, méthodologie, résultats et discussion****Chapitre I : Caractérisation des sols**

I. Introduction	73
I.1. Echantillonnage	73
I.2. Plan d'échantillonnage.....	74
I.3. Conditionnement de l'échantillon :	75
II. Résultats des analyses des sols.....	75
II.1. Triangle de texture.....	75
II.1.1. Variabilité de composition granulométrique.....	76
II.1.2. Variabilité de la fraction argileuse.....	77
II.2. Potentiel Hydrogène pH.....	78
II.4. Calcaire total	79
II.5. Matière organique.....	80
II.6. Azote total.....	81
II.7. Capacité d'échange cationique.....	81
III. Analyse en composante principale (ACP).....	82
III.1. Matrice de corrélation.....	83
III.2. Valeurs propres et vecteurs propres	83
III.3. Choix de nombre de facteurs :	83
III.4. Etude des variables.....	84
III.5. Représentation graphique	85
III.6. Etudes des individus.....	87
III.7. Classification Ascendante Hiérarchique.....	89
Conclusion.....	89

Chapitre II : SIG, télédétection conception et application

Introduction	95
--------------------	----

I. Concepts et définitions.....	95
I.1. Outil de télédétection : Qu'est-ce que la télédétection ?	95
I.1.1. Micro satellite ALSAT1	96
I.1.2. Satellite SPOT	97
I.2. Traitement des données satellitaires	99
I.2.1. Prétraitements	99
I.2.2. Traitements	99
a) Classification	99
b) Indices	100
c) Filtrage	101
d) Rééchantillonnage.....	101
I.3. Vérification des résultats de l'analyse	102
II. Suivi du taux de recouvrement végétal.....	102
II.1.1. Propriétés optiques des feuilles	102
II.1.2. Propriétés directionnelles.....	103
II.1.3. Propriétés optiques des sols.....	103
III. Systèmes d'information géographique (SIG).....	104
III.1. Définition d'un SIG.....	104
III.2. Fonctions d'un système d'information géographiques.....	105
III.3. Analyse spatiale	105
III.4. Etapes d'une analyse spatiale.....	105
III.4.1. Acquisition d'information sur le terrain.....	105
III.4.2. Représentation spatiale	106
IV. Applications.....	106
IV.1. Données utilisées	106
IV.2. Extraction des unités spatiales homogènes.....	106
IV.3. Travaux du terrain.....	112
IV.3.1. Prospection et reconnaissance.....	112
IV.3.2. Sortie de terrain.....	112
IV.3.3. Analyse de laboratoire.....	113
 Chapitre III : Application du programme CORINE antiérosif, Résultats et discussions	
I. Introduction	115
II. Méthodologie du programme.....	115
b) Classes d'érosivité des pluies (R)	116
c) Importance de la pente (S).....	117
II.2. Appréciation du risque potentiel d'érosion.....	117
III. Application du programme CORINE.....	117
III.1. Appréciation du risque potentiel d'érosion des sols (R.P.E).....	117
III.1.1. Classes d'érodabilité des sols (K)	117
a) Texture	118
b) Profondeur.....	118
c) Classes d'érosivité des pluies (R)	118
d) Classe des pentes (S).....	120
III.2. Appréciation du risque actuel d'érosion (R.A.E).....	122
III.2.1. Extraction du taux de recouvrement.....	122

a) Méthode des indices de végétation	123
III.3. Réalisation de la carte d'appréciation des risques actuels d'érosion	127
III.4. Discussions et conclusions.....	129
CONCLUSION GENERALE.....	129
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	129
ANNEXES	129

Introduction générale

Le problème de dégradation, se présentant comme un épuisement de la capacité des terres agricoles et constituant un phénomène dynamique répandu à l'échelle de la planète, apparaît sous l'influence combinée de conditions climatiques particulières et de mauvaises gestions du sol (Coote et al., 1982; Taibi et al., 1990 ; Wicherek et Laverdière, 1993). Il en résulte de sérieux problèmes tels que la réduction des terres arables, la diminution de la production agricole, la pollution des ressources en eau, l'envasement des barrages. Les études récentes sur la vulnérabilité aux changements climatiques dans la région méditerranéenne indiquent une tendance à un accroissement de l'aridité qui accélère l'érosion hydrique (De Ploey et al., 1991 ; Jofitic et al., 1992 ; Shaban et Khawlie, 1998) Ce dernier est un phénomène complexe par son caractère irrégulier, aléatoire et par sa discontinuité spatio-temporelle. En raison de son ampleur et son agressivité, elle constitue une contrainte majeure au développement de l'agriculture et à la promotion des activités rurales (Achite et al, 2006).

Durant le 20ème siècle, la dégradation des sols a dramatiquement augmenté partout dans le monde. Environ 85% des phénomènes de dégradation des terres sont associés à l'érosion des sols, dont la plupart se sont produites durant des dernières décennies, causant ainsi une réduction de 17% dans la productivité des terres (Oldeman et al., 1990 ; Angima et al., 2003). Dans un aperçu sur l'érosion et la sédimentation mondiale, Pimental (1995) a déclaré que plus de 50% des pâturages et environ 80% des terres agricoles dans le monde souffrent d'une érosion significative. À l'échelle mondiale, près de deux milliards d'hectares sont affectés par la dégradation du sol provoquée par l'activité humaine (Organisation des Nations Unies, 2000). Chaque année, quelque 20 millions d'hectares supplémentaires atteignent un niveau de dégradation trop important pour permettre une production agricole ou sont victimes de l'expansion urbaine anarchique (AEE, 2002).

En Algérie du Nord, particulièrement l'Ouest 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 (Dakich et al., 1997). 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 (Hadjiat, 1997).

En général, l'érosion spécifique varie entre 2000 et 4000 t/km².an (Demmak, 1982), L'Algérie est, de ce fait, l'un des pays les plus menacés dans le monde par l'érosion. 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 l'Aménagement du territoire, 2000).

Le développement économique et social demeure tributaire, pour une grande part, d'une utilisation rationnelle de deux principales ressources, l'eau dont la mobilisation insuffisante actuellement demande à être d'avantage maîtrisée et étendue, et le sol dont la mise en valeur est plus que jamais impérative. Or, ces deux potentialités sont menacées par l'érosion hydrique qui en a fait des facteurs limitant.

La dégradation des sols dans l'Algérie en général et l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Mina en particulier, restent encore très mal connues, malgré les diverses études réalisées

(Kouri, 1993; Gomer, 1994; Touaïbia, 2000). Son caractère irrégulier et aléatoire, et sa discontinuité spatio-temporelle la rendent complexe. (Touaïbia, 2000)

Le bassin versant de l'Oued Mina répond à notre objectif en raison de sa forte érodabilité et de la disponibilité des données pluviométriques et hydrométriques. Le caractère semi-aride du climat du sous bassin versant de l'Oued Mina accentue le phénomène de l'érosion hydrique des sols. Actuellement, la végétation profondément modifiée par l'homme et par le pâturage, couvre mal le sol durant les pluies d'hiver. Que ces massifs arborés, naturels ou plantés, soient minés par le feu, par l'exploitation excessive des riverains ou par le surpâturage, il en sortira peu de terre érodée mais beaucoup de ruissellement qui, sur les versants pentus et les terrains cultivés, forment des rigoles évoluant rapidement en ravines.

La zone d'étude est particulièrement déshéritée et nécessite une priorité absolue dans les interventions de protection et de mise en valeur des terres. Elle se caractérise par l'importance des terres nues et un relief accidenté dû au réseau hydrographique mal hiérarchisé dont la plupart sont intermittents et demeurant à sec rendant la zone sujette aux phénomènes de l'érosion hydrique. Les parcours accusent aussi un degré de dégradation très avancé résultant de grandes zones érodées.

La zone d'étude pose un problème par ses caractéristiques, sur le plan géologique, les conditions des substrats sont assez défavorables et nous distinguons une prépondérance des marnes avec conglomérats par endroits. Sur le plan pédologique, les sols sont peu profonds et peu évolués, donc il y a une grande sensibilité à leur dégradation qui provoque des dégâts aux terres agricoles. Cependant, on sait que le sol est une ressource naturelle non renouvelable à l'échelle de temps historique, et un moyen de production pour une grande partie de l'humanité

L'objectif de cette étude est de développer une méthode, basée sur l'intégration des images satellitales et de données cartographiques dans un système d'information géographique (SIG) pour l'identification et la cartographie, des zones à risques de dégradation des sols, du sous bassin versant élémentaire de l'Oued Mina.

En effet, les cartes représentent un moyen puissant comme sources d'information disponibles sur la nature et les propriétés des sols.

Ces cartes sont maintenant largement diffusées et utilisées sous forme de bases de données géographiques sur le sol (Gaultier et al., 1993, Brabant, 1993 ; King et al., 1994; Bornand et al., 1994), grâce au développement des systèmes d'information géographique et des systèmes de gestion de base de données relationnelles (FAO., 1989 ; Walter et al., 1997 ; Burrough, 1986), qui se sont avérés dans ce cas comme des outils puissants à l'information et à la prise de décision. C'est dans cette perspective générale que nous nous sommes engagés avec ce projet pour aboutir, enfin à :

- la caractérisation globale de ces espaces fragilisés du point de vue écologique et pédologique,
- la réalisation d'un système d'informations géographiques (carte de risque à l'érosion),
- la création d'une base de données agro-pédologique,

En résumé dans cette étude, nous élaborerons un Système d'Aide à la Décision sur les terres dégradées pour aider les aménagistes à prendre des décisions sur les sites à protéger contre l'érosion.

Notre étude a, aussi, pour objet de déterminer une méthode de qualification et de cartographie de l'érosion hydrique, dans le bassin versant de l'Oued Mina. La méthode est inspirée du programme européen de lutte contre l'érosion, dans le bassin méditerranéen connu par le

programme CORINE antiérosif (un système d'information coordonnée sur l'état de l'environnement et des ressources naturelles) qui simplifie l'Equation Universelle des Pertes en Sol. En nous basant sur des données de télédétection et d'autres données exogènes (climatiques, géologique, pédologiques...), nous avons réalisé une série de cartes thématiques. Le résultat du croisement de ces cartes, nous détermine les régions sujettes aux risques fort, moyen, ou faible d'érosion, ce qui pourra être ensuite un bon document cartographique d'aide à la décision, et aux propositions d'aménagement pour des fins de restauration des terres en voie de dégradation.

Les différentes étapes de la réalisation de cette étude ainsi que les résultats obtenus et leurs discussions seront établis dans le présent rapport comme suit :

- La première partie correspondra à une revue bibliographique sur les généralités concernant la thématique étudiée. Cette partie comportera trois chapitres :
 - un chapitre qui donne des généralités sur les sols et ses formes de dégradation, avec la concentration sur l'érosion hydrique et la salinité car notre zone d'étude est plus sujette à ces deux phénomènes ;
 - Le deuxième chapitre commence par une documentation succincte concernant la zone d'étude, à savoir la géographie, la géologie, l'hydrologie, le climat, la pédologie, l'occupation des sols, les activités humaines, ainsi que d'autres données intervenant d'une manière ou d'une autre dans le phénomène étudié, et la réalisation d'une carte de changement de l'occupation des sols ;
 - Dans le troisième chapitre, nous choisirons l'entité spatiale d'intégration qui doit permettre la délimitation de l'extension spatiale des systèmes érosifs, et qui offre l'avantage de visualiser les risques à l'échelle où se déroulent les processus d'érosion.

- La deuxième partie est consacrée à la description détaillée de la méthodologie adoptée, tout en mettant la lumière sur le modèle adopté et les techniques utilisées ; avec les résultats obtenus avec leurs discussions, elle comportera trois chapitres :
 - Le premier chapitre consiste à caractériser les sols du sous-bassin versant de l'Oued Yellel avec les résultats obtenus accompagnés de leurs discussions.
 - Le deuxième chapitre concerne les outils utilisés pour réaliser cette étude, et les résultats d'application de ces outils ;
 - Le troisième chapitre consiste à évaluer, qualitativement, les risques potentiels d'érosion des sols en premier lieu, en deuxième lieu d'apprécier les risques actuels d'érosion des sols, en se basant sur des données descriptives.
 -

- Enfin, une conclusion générale résumera l'essentiel des parties précédentes ainsi que les recommandations et perspectives à prendre en considérations dans une éventuelle étude.

Problématique

Durant ces deux dernières décennies, les zones semis arides d'Algérie ont été marquées par une dégradation intense affectant les sols. L'une des causes majeures de sa dégradation est l'érosion hydrique, ce phénomène se développe lorsque les eaux de pluie, ne pouvant plus s'infiltrer, ruissellent sur la parcelle en emportant les particules de terre. Ce refus du sol d'absorber les eaux en excédent apparaît lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol, ou lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée par la nappe. Ces deux types de ruissellement apparaissent généralement dans des milieux très différents, bien que l'on observe parfois une combinaison des deux (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 : l'érosion de versant diffuse en rigoles parallèles et l'érosion linéaire en concentrée de thalweg.

Les nombreuses études entreprises dans ces régions ont permis d'évaluer et de cartographier les ressources naturelles disponibles. Des études diachroniques ont été réalisées dans le but de quantifier l'intensité de leur dégradation et de définir les facteurs qui en sont responsables.

Dans la présente étude nous nous intéresserons à la cartographie et à la qualification des risques d'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Mina, cas du sous bassin versant de l'Oued Yellel qui se heurte à des manifestations de ce phénomène.

Le processus érosif dépend d'une panoplie de facteurs qui interagissent entre eux et qui sont selon (Wischmeier et Smith, 1978) : «les

données naturelles au sens large à prendre en compte pour étudier les phénomènes érosifs. Ils font maintenant l'objet d'un consensus dans le regroupement des quatre grands domaines physiques : le sol, l'occupation du sol, la topographie, et le climat ». Lorsqu'on aborde le thème de l'érosion des sols et de la dégradation des terres, il est important donc de considérer les quatre facteurs physiques de base qui conditionnent le régime érosif, à savoir: l'érosivité du climat, l'érodibilité des sols, la topographie, la nature et la densité du couvert végétal.

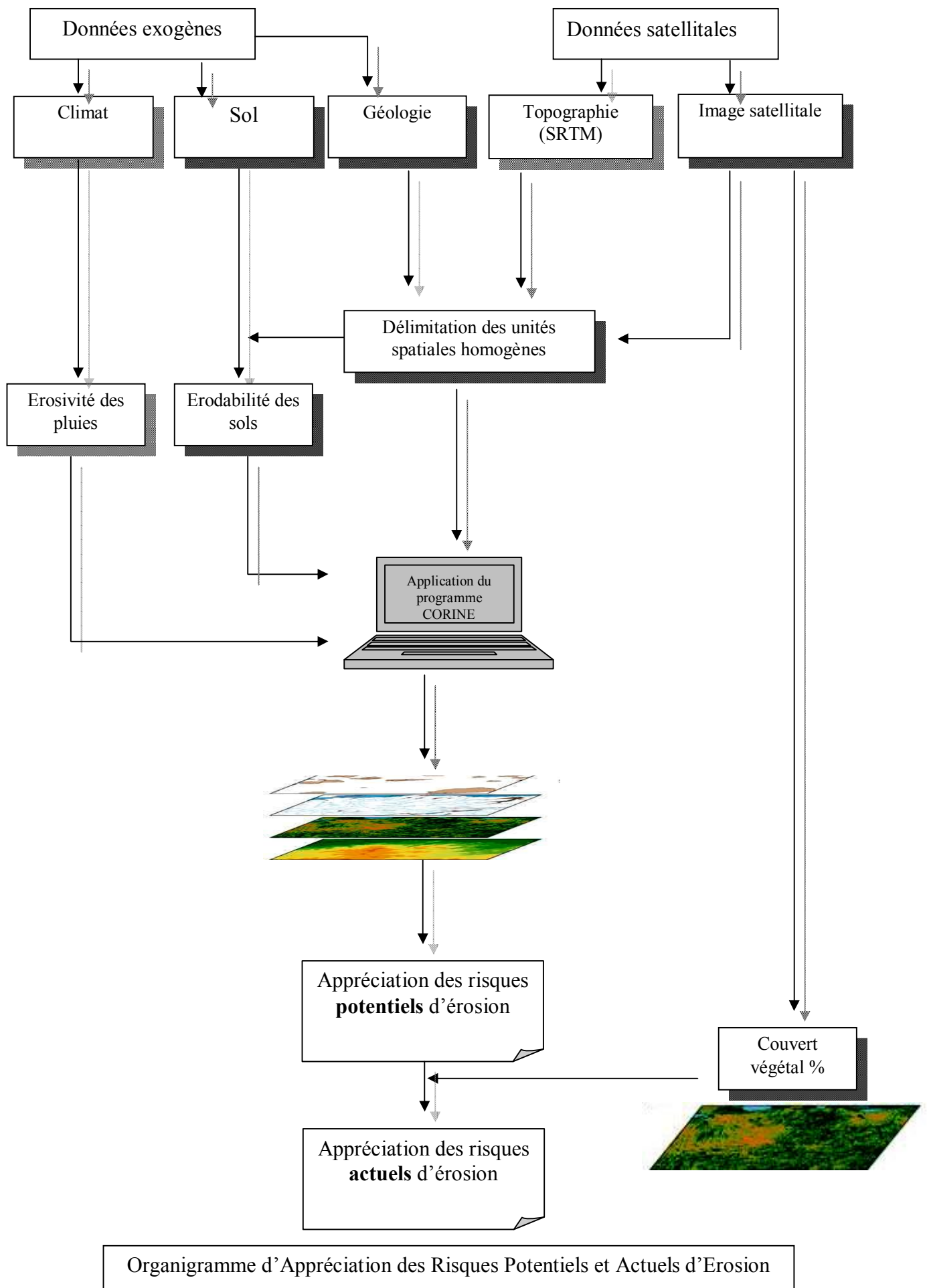
Comme nous l'avons cité, les processus érosifs dépendent d'une multiplicité de facteurs interagissant entre eux, et sont, de ce fait, complexes à être modélisés dans un programme méthodologique qui fait l'objet d'un regroupement des quatre grands domaines susdits.

Pour cela, notre choix est fixé sur l'application d'une méthode qualitative d'appréciation des risques d'érosion selon le programme CORINE, qui est un système d'information coordonnées sur l'état de l'environnement et des ressources naturelles ; ce programme permet de présenter les risques (potentiels et actuels) d'érosion sous forme d'un document cartographique qui contribue ensuite à proposer des systèmes anti-érosifs adaptés aux différentes situations, par souci de conservation des sols.

L'application de tel programme exige un traitement d'une grande quantité de données qui présente une contrainte massive devant l'étudiant. Cette donnée est manquante, et surtout dans les régions semi arides. Puisque la plupart des inventaires cartographiques des ressources naturelles se font aujourd'hui par télédétection, le procédé à cette technique et l'utilisation de l'imagerie satellitale présente une très bonne astuce, à cause de son avantage majeur comme étant un document sous forme digitale, et que les techniques d'ordinateur peuvent être utilisées, pour l'extraction automatique de l'information ainsi qu'à l'introduction directe de cette information dans un Système d'information géographique.

Les SIG sont l'outil informatique permettant de collecter, de gérer, d'analyser et de restituer des données géographiques (Burrough 1986). L'utilisation d'un tel outil nous permettra de dégager ou de préciser des concepts généraux dans le domaine de la géographie appliquée à la cartographie des sols, et plus particulièrement dans le cas de notre travail la réalisation de la carte des risques potentiels et actuels d'érosion dans le site test.

Méthodes et objectifs de travail



PARTIE I

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I.

DEGRADATION DES SOLS

I. Introduction

Le sol est la couche de terre meuble de l'écorce terrestre où peuvent pousser les plantes. Il est donc essentiel à la vie. Il provient en général de l'altération sur place de la roche mère sous-jacente, sous l'influence de facteurs physiques, chimiques et biologiques.

Les sols se forment en des milliers d'années à travers l'altération des roches. Cette évolution s'explique par les conditions climatiques, par l'apparition de la végétation ainsi que par l'activité des organismes vivant dans le sol et à sa surface (humains compris). Cependant, les principales propriétés des sols, comme la structure, la porosité, l'activité biologique et les teneurs en certains éléments nutritifs, peuvent évoluer très vite (Ruellan et al., 2008).

L'Homme a besoin du sol pour satisfaire ses besoins vitaux, donc pour s'alimenter et se loger. Depuis que l'Homme existe, le sol l'accompagne et est présent au quotidien et partout. Les Hommes se sont sédentarisés à proximité de sols fertiles ; des civilisations se sont construites et détruites en fonction de l'évolution des sols résultant des activités humaines. Le sol constitue pour l'Homme le support de toutes ses activités et ses infrastructures et constitue aussi ses champs, ses sources, son alimentation (Ruellan et al., 2008).

La dégradation des sols touche de vastes superficies de notre zone, elle se produit par certaines conditions défavorables, bien définies. Le climat, le sol, la topographie, sont relativement stables, ce qu'il faut préciser ce sont les conditions relatives à la végétation, à l'utilisation des terres et à l'aménagement.

Cette étude présente le large sens de dégradation des sols, mais nous avons abordé l'étude préliminaire de la salinité et l'érosion hydrique car notre zone d'étude est beaucoup plus sujette à ces deux types de dégradation.

II. Quelques définitions

II.1. Définition de la dégradation des sols

La dégradation du sol est un processus qui diminue la capacité actuelle ou potentielle du sol de produire (quantitativement et/ou qualitativement) des biens ou services. La dégradation du sol n'est pas nécessairement continue. Elle peut avoir lieu pendant une période relativement brève entre deux états d'équilibre écologique. (FAO, 1980)

II.2. Les processus de dégradation

Ce sont des phénomènes qui causent une diminution de la qualité des sols. Ce sont des processus dynamiques qui réagissent donc à une modification de la qualité et de la productivité des sols. (FAO, 1980)

II.3. Risque de dégradation des sols

C'est la diminution de la productivité actuelle ou potentielle, suite à un ou plusieurs processus de dégradation qui pourraient se produire dans de mauvaises conditions d'aménagement.

III. Grandes catégories de dégradation des sols

III.1. Phénomène d'érosion hydrique des sols

L'érosion hydrique qu'elle soit pluviale ou fluviale s'accompagne par une mobilisation des alluvions apportés par l'écoulement à des époques géologiques antérieures. En cas d'un couvert végétal discontinu ou totalement absent, le ruissellement dû aux eaux de pluie et surtout à la suite

d'averses torrentielles qui découpent progressivement les horizons supérieurs du sol, jusqu'à atteindre parfois la roche mère. Le long du versant, la lame d'eau en mouvement déploie une force après sa concentration en lui permettant d'arracher les obstacles (grains de sables, végétaux, etc.).

«Une fois détachée, la particule est mise en mouvement par le rejaillissement de la goutte de pluie sur la surface du sol et est entraînée par l'écoulement le long de la pente» (Meyer et al. 1975). Les obstacles arrachés, emportés par l'eau, se mélangent à elle. La faculté d'érosion augmente avec l'épaisseur de la lame d'eau ruisselée donc avec la forte intensité de pluie et la longueur du bassin versant.

La capacité de transport des particules solides varie dans l'espace et dans le temps avec le débit liquide, sa vitesse d'écoulement et la nature granulométrique des matériaux. Les matériaux arrachés au sol finissent par atteindre le réseau hydrographique.

Erosion au bassin méditerranéen : les études récentes sur la vulnérabilité aux changements climatiques dans la région méditerranéenne indiquent une tendance à un accroissement de l'aridité qui accélère l'érosion hydrique.

L'érosion des sols par la pluie et le ruissellement est un phénomène largement répandu dans les différents pays méditerranéens qui continue à prendre des proportions considérables en particulier sur les pentes à cause de la nature torrentielle des pluies, de la forte vulnérabilité des terrains (roches tendres, sols fragiles, pentes raides et couvert végétal souvent dégradé), du surpâturage et de l'impact défavorable des activités humaines : déforestation, incendies et mauvaise conduite des travaux agricoles, urbanisation chaotique, exploitation des carrières, ...etc.

Erosion en Algérie : le degré de sensibilité à l'érosion hydrique est très élevé en Algérie septentrionale. Elle menace gravement les potentialités en eaux et en sols. Selon les résultats de l'étude «Inventaire des terres et forêts» (BNEDER, 1982, Mahieddine 1997), traduisant le degré de sensibilité des sols à l'érosion en fonction de la pente et de la nature du substrat, il ressort qu'au niveau national près de 4.000.000 ha potentiellement touchés par la dégradation liée à l'érosion, se répartissent comme suit :

- 2.110.000ha de terres labourables, soit 53%
- 830.000ha de parcours, soit 21%
- 430.000ha de maquis clairs, soit 11%
- 250.000ha de forêts claires, soit 6%
- 220.000ha d'alfa, soit 5%
- 60.000ha de bad-lands, soit 4%

Par rapport à la superficie totale de chaque région, les superficies menacées sont concentrées dans la région Nord (70%), contre 23% seulement pour la région des Hauts Plateaux. Les forêts sont très âgées et dans un état de dégradation avancé. Elles se caractérisent par leurs répartitions très inégales selon les régions. Le couvert végétal sur les zones marneuses est pratiquement inexistant, le ruissellement et l'érosion hydrique sont largement favorisés ; les terrains marneux sont les plus grands fournisseurs de sédiments aux lacs de barrage.

En Algérie, les conséquences de l'érosion hydrique sont désastreuses et spectaculaires, offrant un paysage nu et sillonné par un ravinement intense, particulièrement dans les régions montagneuses à réseau d'écoulement dense, menacées d'un envasement précoce des barrages en exploitation.

L'érosion, phénomène très complexe, liée à des facteurs naturels et anthropiques difficilement maîtrisables, évolutif aussi bien dans l'espace que dans le temps, affecte beaucoup les infrastructures hydro agricoles, de telle sorte qu'il est parfois quasiment impossible d'y remédier.

Avec une érosion spécifique moyenne annuelle variant entre **2000** et **40000 km²**, l'Algérie se classe parmi les pays les plus érodables du monde (Demmak, 1982).

III.1.1. Mécanisme de l'érosion hydrique

L'érosion du sol provoque le déplacement de particules d'un endroit à un autre. Dans la plupart des cas, l'érosion des terres agricoles est causée par l'eau, par le vent ou par la méthode de travail du sol. En règle générale, les terres mal gérées et non protégées sont les plus vulnérables à l'érosion.

Plusieurs facteurs influencent l'ampleur de l'érosion hydrique : la longueur et la raideur de la pente, la texture du sol (limoneux, sable fin ou autre), l'étendue du couvert végétal, l'importance et le moment des grosses averses de pluie ainsi que les mesures de protection du champ. La figure 1 montre un champ non protégé à pente raide, doté d'un sol vulnérable à l'érosion.

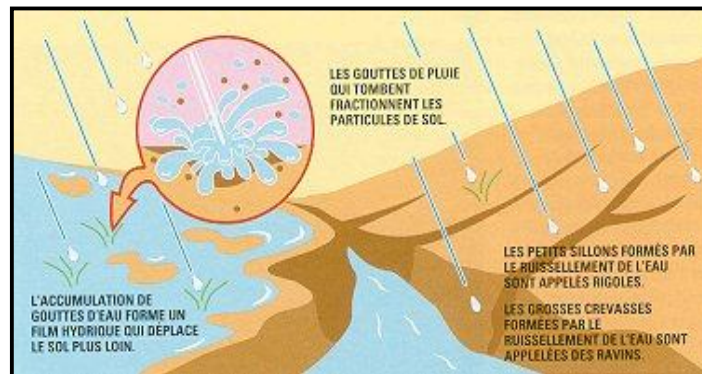


Figure 1: Mécanisme de l'érosion hydrique(Source site d'internet <http://roche-sedimentaire.e-monsite.com/blog/i.html>)

Les champs en pente raide dotés d'un sol limoneux sont vulnérables à l'érosion causée par l'eau et le travail mécanique. De bonnes pratiques de gestion peuvent minimiser l'érosion de ces sols tout en maintenant les rendements. Par contre de mauvaises pratiques de gestion entraînent une érosion continue, une réduction des rendements et, tôt ou tard, la destruction des qualités du sol qui le rendent cultivable.



Photo1 : Direction du travail du sol qui influe l'érosion hydrique(photo prise par D. BAGHDADI)

Un sous-sol de couleur claire à la surface de monticules est un signe évident d'érosion par le travail mécanique du sol, du vent et de l'eau. Le travail du sol et les conditions climatiques peuvent accélérer les pertes de sols.

De larges entailles provoquées par l'érosion, que les engins agricoles ne réussissent plus à traverser, s'appellent ravins. Et au cours d'un orage, la force de l'eau qui coule rapidement peut entraîner des particules de sol dans des ruisselets qu'on appelle rigoles.

III.1.2. Erosion hydrique et ses différentes formes

On donnera le nom d'érosion du sol à tout enlèvement de la matière des sols sous l'effet d'agent externes: eau et vent. L'érosion est l'ensemble des actions physiques, chimiques et organiques qui aboutissent à la destruction des roches et au nivellement progressif du terrain.

D'après J. Greco (1966), l'érosion est l'usure de la partie superficielle de l'écorce terrestre. Dans la zone d'étude, l'érosion est préoccupante, elle est favorisée par les pentes abruptes, des pluies irrégulières et violentes ainsi que par la nature du substratum lithologique.

III.1.3. Différents types d'érosion

Les différents types d'érosion qui dominent sont les suivants:

a) Erosion en rigoles (griffe) : Elle se manifeste par le ruissellement et la formation de stries, de griffes, et de rigoles parallèles. C'est l'érosion en griffe ou en ruisselets (rill-érosion). Le profil forme est en V ou en U, généralement, les griffes sont formées au niveau des jachères nues.

b) Erosion en ravines (Gully érosion) : Ils sont très courants à travers notre zone et peuvent évoluer sous divers processus: ruissellement concentré de roches tendres et glissements de terrain sur marnes, plus creusement des tunnels qui s'effondrent et forment des ravins.

La première manifestation bien visible du ruissellement est la formation des stries, de griffes, de rigoles parallèles. C'est l'érosion en griffes ou en ruisselets, ces filets convergent, se réunissent et deviennent ravines.

Si le sol est cultivé, ces ravines disparaissent au premier labour. Par contre, si le terrain est abandonné les rigoles se transforment en ravines plus ou moins profondes qui s'approfondissent à chaque pluie. Les eaux qui y coulent sont boueuses, lourdes, rapides.

L'approfondissement des ravines remonte de bas vers le haut de la pente. Ces ravines ont au début un profil en V puis plus tard quand le fond attaque la roche mère plus dure, l'attaque des versants l'emportant sur l'enfoncement, leur profil tend vers le U.

c) Erosion en nappe (sheet - érosion): L'érosion en nappe se traduit par un appauvrissement de l'horizon humifère et par un amincissement du sol, les croupes de collines blanchissent.

Les horizons supérieurs qui sont en général de couleur foncée, sont érodés les premiers, les horizons inférieurs les plus claires, apparaissent en surface.

d) Erosion en masse: Elles sont représentées par les glissements de terrains et la solifluxion. Ces mouvements sont particulièrement fréquents par ces phénomènes présentent un paysage bosselé, une succession de replats, d'abruptes et de contre pente.

On distingue les formes suivantes:

- Les glissements (slumping): les glissements de terrain ont des conséquences d'ordre géologique mais participent aussi aux modifications et disparitions des sols. Quand le sol argileux est saturé d'eau au printemps, en général, sur les pentes, on constate que des loupes de terre plus ou moins importantes se détachent.
- La solifluxion: c'est un déplacement qui affecte une masse boueuse découlée d'un soubassement stable. Les matériaux fins étant facilement entraînés par les eaux. Donc, elle n'affecte que les

matériaux à forte capacité d'absorption.

e) **L'érosion par suffusions:** Ce sont des tunneling dus à une infiltration importante des eaux qui créent un rongement interne des terrains, aboutissant à des ravines par effondrement ou affaissement.

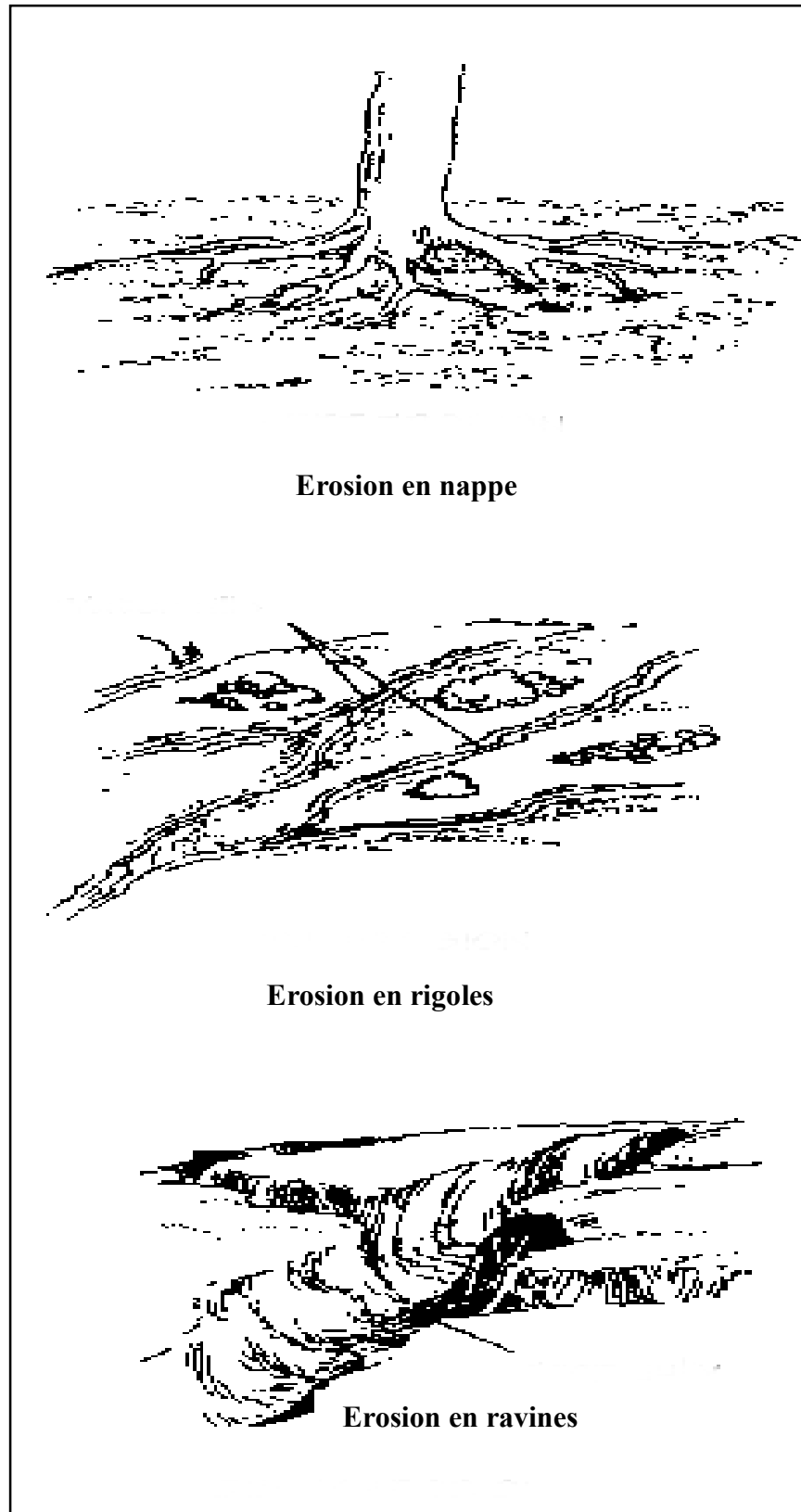


Figure 2 : Exemple de quelques types d'érosion hydrique (Vukasinet al.,1995)

III.1.4. Causes de l'érosion

L'érosion hydrique des sols dépend de plusieurs facteurs. Il est possible de les regrouper en trois facteurs : climatique, pédologique, anthropique.

Selon P. Henensal, 1986, les risques climatiques sont en relation avec la pluviométrie mais dépendent de la fréquence des phénomènes météorologique extrême. Donc, le risque d'érosion en un lieu donné est évidemment lié aux précipitations en ce lieu.

a) Facteurs climatiques

Selon Strakel, 1976 les érosions les plus importantes sont dues aux phénomènes météorologiques pluviométriques les plus extrêmes suivants :

- **Hauteurs de pluies** : pour une même averse, il faut une hauteur de pluies minimum de 20 à 30 mm pour qu'il y ait ruissellement ;
- **Intensité des pluies** : les phénomènes d'érosion se déclenchent fréquemment lorsque l'intensité pluviale est de 1.5 mm/minute et toujours au-dessus de 2 mm/mn ;
- **Fréquence des pluies** : les averses sont plus dangereuses lorsqu'elles suivent à intervalle rapproché car elles tombent sur un sol qui n'a pas eu le temps de se ressuyer ;
- **Répartition des pluies** : les premières pluies de la saison pluvieuse sont généralement plus violentes et plus fréquentes que les suivantes.

Par ces caractéristiques, le climat est particulièrement agressif. Les pluies peuvent être considérées comme dangereuses dans leurs conséquences quand elles atteignent ou dépassent 30mm en 24h.

D'autre part, les pluies torrentielles présentent toujours des périodes de pointe dont l'intensité agit sur la masse des eaux en mouvement donc, sur la puissance de destruction. Ces pluies tombent sur des sols pauvres en humus, celui-ci se décomposant quand il est exposé au soleil, la sécheresse contribue à désagréger les éléments du sol.

b) Facteurs pédologiques

Il est bien évident que le risque d'érosion sera d'autant plus grand quand les sols seront érodables. Mais l'érodabilité d'un sol est une notion complexe puisque pour être érodés, les particules de ce sol doivent être détachées et ensuite transportées.

Suivant la nature du sol, les propriétés qui conditionnent la sensibilité d'un sol à l'érosion sont essentiellement :

- **La stabilité structurale** : présence de la matière organique. Elle est mesurée par l'indice de HENNIN et varie entre 0.3 et 1 (bonne stabilité égal à 1) ;
- **La perméabilité « k »** : La perméabilité d'un sol peut être appréciée par son coefficient de « p » k qui peut varier de 0 sol imperméable à 2.5 bonne perméabilité ;
- **La nature du substrat** : roche sédimentaire tendre : argile, marne sont particulièrement sensibles à l'érosion. Une roche perméable résiste mieux qu'une roche imperméable. Calcaire fissuré, sable, le sol caillouteux en surface résiste mieux à l'érosion.

c) Facteurs topographiques

L'érosion peut se manifester sur des pentes très faibles car elle dépend avant tout de l'agressivité des pluies, elle croît cependant rapidement avec la pente et sa longueur.

d) Facteurs anthropiques

De nombreux exemples montrent que les risques anthropiques de l'érosion dépendent en premier lieu

de la démographie et de l'état du développement économique, de la société en générale et des communautés rurales en particulier. L'homme a besoin de terres de culture, de terre de parcours, il en crée au détriment de la couverture végétale

e) Nature et taux du couvert végétal

Une couverture complète et permanente constitue une meilleure protection contre l'érosion.

III.1.5. Formes majeures de l'érosion

III.1.5.1. Glissements de terrains

Un glissement est la décente érosif et assez rapide des matériaux le long d'un versant. Il peut parfois présenter des aspects catastrophique selon la surface d'un glissement :

- a) **Plan de stratification parallèle au versant** : on aboutit à un glissement le long de la surface de la stratification. Ce type de glissement en planche, la partie qui glisse garde la forme d'une planche sans beaucoup se perturber. Cette partie glisse à une épaisseur faible et uniforme.
- b) **Glissement sans stratification en plan homogène** : Ils sont localisés dans une formation argileuse ou marneuse saturée d'eau, où l'on remarque une formation cicatrice d'arrachement concave.
- c) **Glissement sous forme de faille** : Ils sont localisés dans les montagnes à pente raide dans les roches meubles dans un climat humide.

Il faut noter que l'ensemble de la masse n'est pas imbibé d'eau . Dans certains cas, seuls les plans de glissement sont imbibés d'eau.

III.1.5.2. Eboulements ou « falls »

Processus qui ne touchent que les versants formés de roches cohérentes mais lithologiquement variées avec des différences dans la dureté. La masse rocheuse se trouve en sur plan au-dessus du vide, ce qui entraîne une rupture brutale et . Des débris, plus ou moins grossiers, se détachent des parois rocheuses et tombent par gravité. Ces débris peuvent avoir des dimensions variables : de la taille de cailloux à celle de gros blocs. Ils sont anguleux et n'ont pas ou peu de matrice (matrice formation fine qui accompagne souvent ces éléments détritiques de la dimension de cailloux.

III.1.6. Idée générale sur l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Mina

Plus de 64% des terres du bassin versant de l'Oued Mina sont sensibles à l'érosion et par conséquent, sujets à la désertification (carte de sensibilité à l'érosion CTS 1998). Pour cela, l'érosion dans la zone d'étude n'est pas préoccupante, elle englutit le reste des terres agricoles sur les berges des oueds et les versants sous formes de ravin et en masse (photo 2). Elle est favorisée par les pentes abruptes, des pluies irrégulières et violentes, ainsi que par la nature du substratum lithologique.

III.2. Dégradation chimique

Cette catégorie englobe des processus tels que le lessivage des bases et l'apparition des phénomènes toxiques autres que ceux qui sont dus à l'excès de sels.

III.3. Dégradation physique :

La dégradation physique concerne les modifications défavorables des propriétés physiques du sol, notamment de la porosité, de la perméabilité, de la densité apparente et même de la stabilité de la structure.

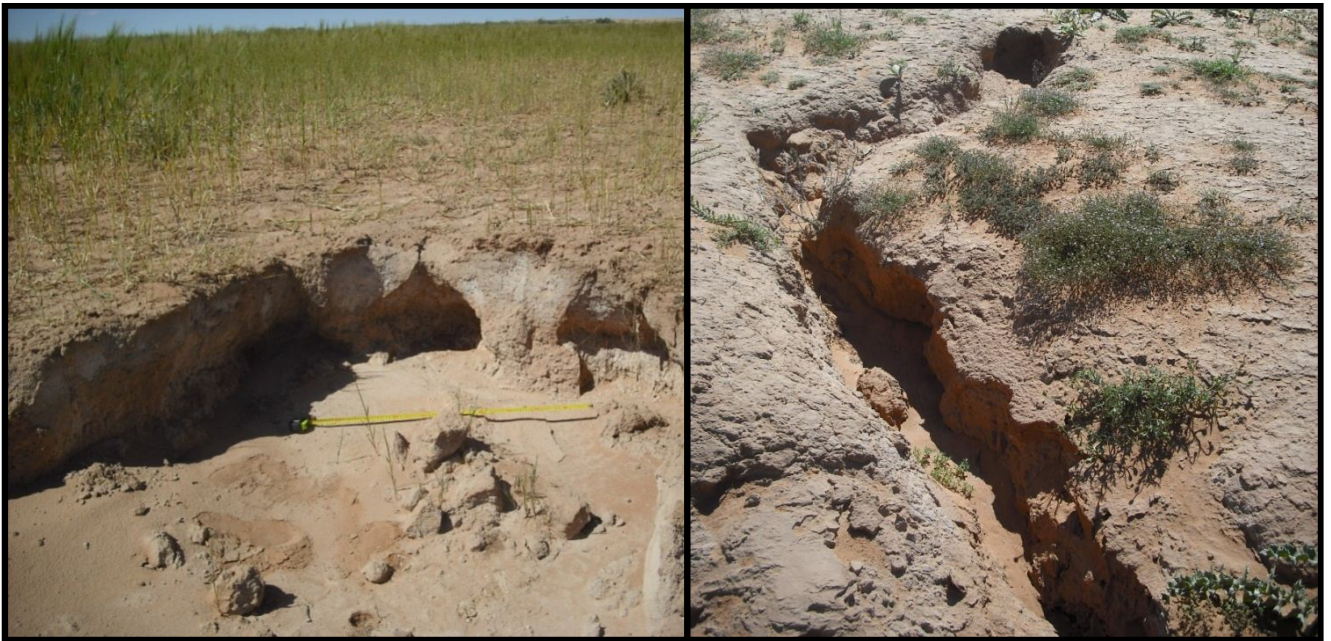


Photo 2 : Erosion dans la zone d'étude(Photo D. BAGHDADI)

III.4. Dégradation biologique

La dégradation biologique concerne des processus qui augmentent les taux de minéralisation de l'humus.

III.5. Excès de sels

Cette catégorie englobe la salinisation et l'alcalinisation

III.5.1. Origine et mécanisme de salinisation

Le terme « Salure » désigne non seulement la concentration en chlorure de sodium mais aussi celle des autres composés solubles.

Le terme « salé » implique la seule présence de chlorure de sodium et le terme « salin » celle des autres chlorures et sulfates.

En ce qui concerne le terme « salant » il est utilisé :

- ❖ Soit pour dénommer une terre affectée par la salure.
- ❖ Soit pour désigner les composés solubles qui sont présent dans le sol sans préjuges de leur nature minéralogique ou chimique.

En agriculture, les deux éléments qui sont sujets à la salinisation sont :

- ✓ l'eau d'irrigation.
- ✓ le sol.

III.5.2. Origine de la salinisation.

Parmi les facteurs les plus importants qui sont à l'origine de la salinisation des sols, on trouve l'aridité du climat, la géomorphologie, la topographie et l'hydrologie du terrain. Les caractérisations physico-chimiques du sol et les techniques d'aménagement des sols et des eaux sont aussi des paramètres à prendre en considération.

En utilisant les régimes hydrographiques liés au climat (Précipitation), à la topographie (pente) et au sol (texture et conductivité hydraulique), en association avec l'existence de nappe et de la nature des sels s'y trouvant, Legoupil (1974) distingue :

a. La salinité primaire.

Cette salinisation primaire est due aux sels se formant in situ au cours du processus d'altération des roches. La migration et le dépôt de ces sels solubles dépendent de l'intensité et de la répartition des précipitations, du degré de porosité du sol, et des autres caractéristiques du milieu naturel.

L'accumulation de ces sels solubles dans la nappe souterraine influe sur la qualité de l'eau à des degrés variables selon la salinité naturelle du sol et les matériaux géologiques avec lesquels l'eau souterraine a été en contact. La salinité du sol s'explique par le dépôt, dans le profil, de ces sels dissous dans l'eau, dans les régions côtières.

L'intrusion des eaux salées et la submersion des terres basses par l'eau de mer provoquent respectivement, la salinisation de l'eau souterraine et celles des sols

b. la salinité secondaire.

La salinisation secondaire des sols irrigués s'explique par l'irrigation avec une eau de mauvaise qualité.

Un lessivage insuffisant, un drainage déficient, des infiltrations à partir des canaux et des zones adjacentes ; la présence d'un niveau phréatique élevé et un taux d'évapotranspiration important sont des processus qui participent à des degrés différents à cette salinisation secondaire.

II.2.5.3 Mécanisme de salinisation.

Selon Gaucher et Burdin 1974, le mécanisme de salinisation peut être divisé en trois parties :

- Présence d'une réserve de salant qui peut contaminer d'autres milieux (mer, couches salifères, émanations volcaniques).
- Un processus ou un ensemble de processus assurant la contamination.
- Présence d'un type de salure qui dépend de la nature des évaporites de la réserve et des processus chimiques capables d'intervenir dans la phase intermédiaire :
 - Salure marine : chlorures de sodium dominant.
 - Salure géologique : plusieurs composés.

III.5.3. Effets de la salinité sur le sol.

a. Effets sur la structure.

Selon Duthil (1971), la stabilité structurale décroît lorsque le taux de Na⁺ et K⁺ échangeable atteint 12 à 15% et la structure est plus stable lorsqu'elle est saturée en Ca⁺ et Mg⁺⁺.

b. Effets sur la rétention de l'eau.

La présence des sels hygroscopiques dans les sols salés provoque une élévation du potentiel osmotique de la solution du sol. Dans ce cas, la réserve d'eau n'est pas toujours disponible pour les plantes (Halitim ; 1973).

Selon Horton (cité par Gupta et al ; 1990), la capacité de rétention en eau augmente dans l'ordre Na>Mg>Ca>K.

Conclusion

En termes de conclusion, on porte à signaler que ce chapitre fournit, à travers une synthèse bibliographique, un point des connaissances actuelles sur le phénomène d'érosion, son processus et son action en termes de granulométrie des fragments de terre mobilisés. Les différents agents érosifs ont été évoqués et l'ensemble des processus et facteurs érosifs qui prennent place de l'érosion hydrique ainsi que ses différents types sont présentés.

CHAPITRE II.

CADRE PHYSIQUE

I. Introduction

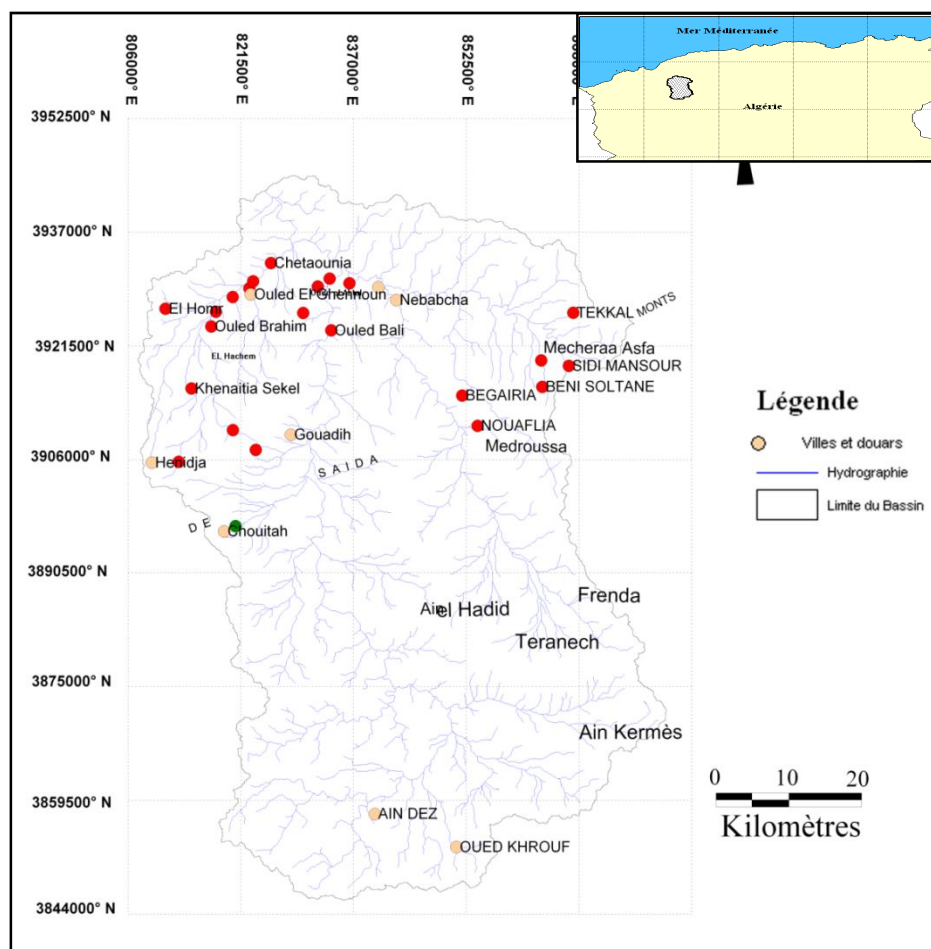
Dans ce chapitre, nous allons procéder à l'étude de la géomorphologie et la climatologie du bassin versant de l'Oued Mina dans le but de mieux comprendre la région avec toutes ses complexités. Cette zone répond à notre objectif en raison de son lieu stratégique et son importance hydraulique et biologique.

II. Situation géographique

Le bassin versant de l'Oued Mina est situé à environ 300 km à l'Ouest d'Alger, entre $0^{\circ} 20'$ et $1^{\circ} 10'$ de longitude Est et entre $34^{\circ} 40'$ et $35^{\circ} 40'$ de latitude Nord (figure 3). Il atteint une superficie de 4900 km² (Kouriet Vogt, 1993). Il fait partie du plus grand bassin versant de l'Algérie du Nord, l'Oued Chélif qui est d'une superficie totale de 43 750 km². Il s'allonge sur 128 km du Sud au Nord, depuis une vingtaine de kilomètres de Chott chergui jusqu'au Bas Chélif, et sur environ 55 kilomètres de l'Ouest à l'Est, entre le massif de l'Ouersenis et celui de BeniChougranne.

Il est constitué de hauteurs allant de 100 à 1300 m. Il n'offre que des plateaux disséqués, à forte déclivité, ne laissant que 12% environ aux plaines.

Le bassin versant de L'Oued Mina est composé, selon les délimitations oro-hydrographiques retenues par l'A.N.R.H (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques), de cinq sous bassins. Les superficies varient de 460 km² à la station de Sidi Abdelkader el Djilali, à 4168 km² à la station de l'Oued ElAbtal, qui contrôle 87% de la surface totale. L'Oued Mina est parmi les principaux affluents de L'Oued Cheliff, il parcourt une distance de 90 km environ entre les barrages de Bakhadaet Sidi M'hamed Ben Aouda, avec une orientation NE-NO.



Carte 1 : Situation géographique du bassin versant de l'Oued Mina

III. Climat

III.1. Choix de la station météorologique

Pour l'évaluation climatique du bassin versant de l'Oued Mina, nous avons utilisé les données de la station météorologique de Relizane (304540, 275.43 m) parce qu'elle présente des données complètes et fiables. Nous n'avons pas utilisé d'autres données en raison de la difficulté de leur acquisition pour certaines stations et le grand nombre de lacunes pour d'autres.

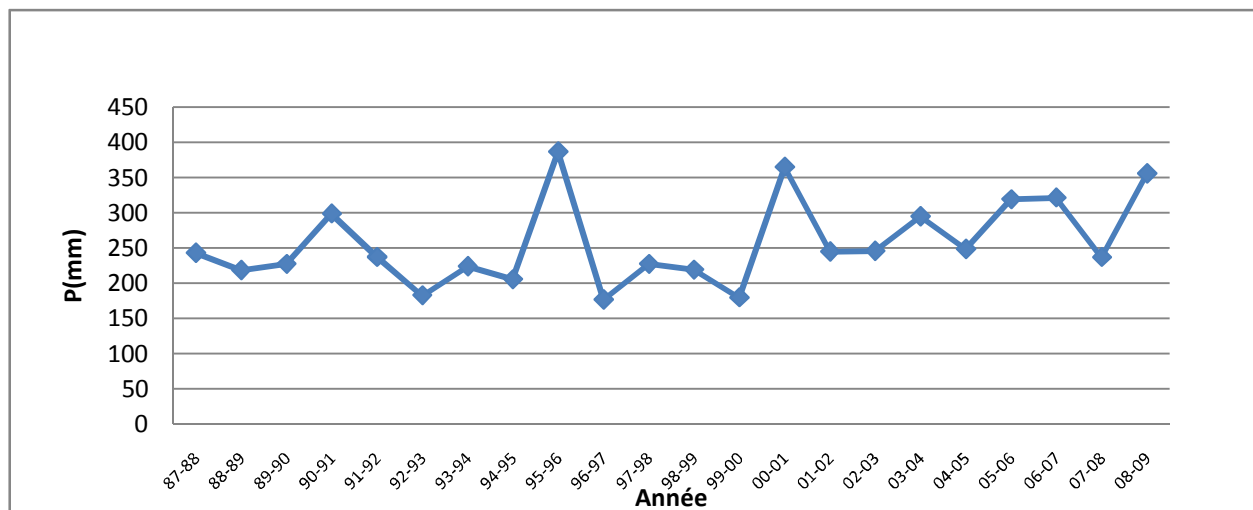
III.2. Précipitations

Le terme de (précipitation) désigne toutes les eaux qui se condensent dans l'atmosphère et tombent à la surface de la terre : pluie, neige, grêle, brouillard, rosée ...etc.

La pluie a une importance de premier ordre et c'est de la quantité d'eau atteignant le sol que dépend l'approvisionnement en eau de la végétation, des nappes souterraines, des barrages...etc.

III.2.1. Variation des pluies interannuelles

La figure 5 montre l'évolution de la pluviométrie annuelle sur la période de 1987 - 2009, où l'on remarque que les hauteurs maximales des précipitations atteignent 398.54 mm au cours de l'année 1996 - 1997, tandis que les hauteurs minimales sont de l'ordre de 350.18 mm au cours de l'année 2000-2001 et l'année 2008 et 2009



Graphique 1 : Variation des précipitations interannuelle

Selon les données de la station météorologique de Relizane, la moyenne de la pluviométrie pour la période s'étalant entre 1987 et 2009 est en moyenne de 257.54 mm /an.

(Vogt Et Paschen, 1996) ont précisé que la hauteur des pluies varie en fonction de facteurs géographiques, elle décroît du littoral vers l'intérieur, croît avec l'altitude et l'exposition face aux flux dominants. Les versants à exposition d'Ouest à Nord sont beaucoup plus arrosés. La zone des marnes tertiaires du bassin versant de l'oued Mina est défavorisée ; il s'agit du rebord Sud-Est du massif de Béni Chougrane, particulièrement sec (250-300 mm), et de la retombée Sud-Ouest de l'Ouarsenis, un peu plus arrosée (350 à 550 mm selon l'altitude).

III.2.2. Etude des précipitations moyennes mensuelles

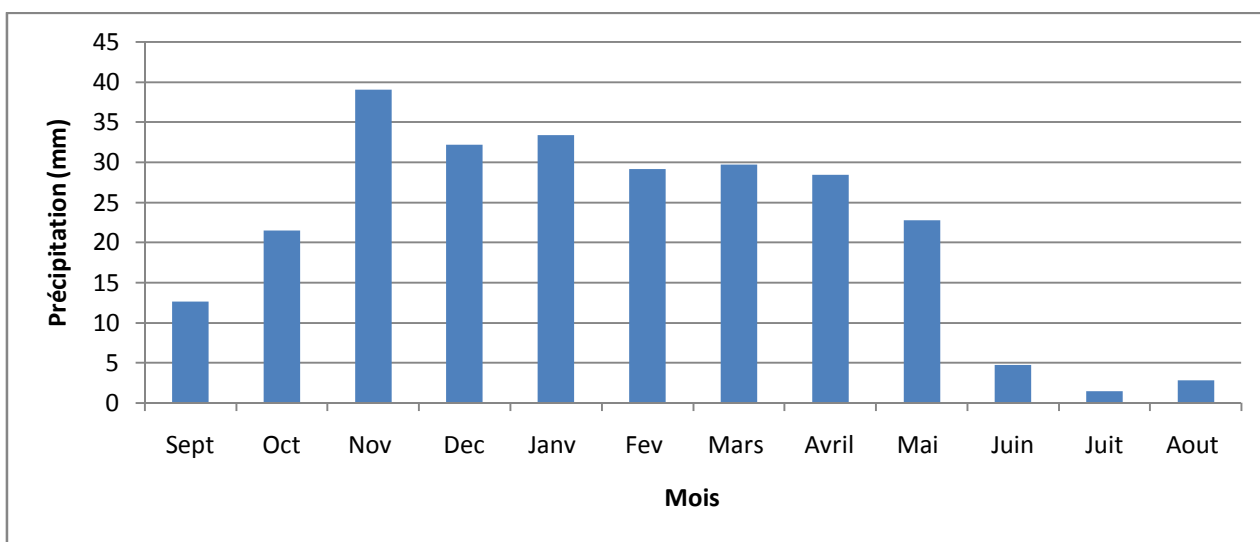
La zone d'étude reçoit une précipitation moyenne annuelle de 257.54 mm (1988-2009). Le maximum des précipitations moyennes mensuelles pour la station de Relizane correspond au mois de Novembre avec 39.05 mm, et le minimum au mois de juillet avec 1.47mm.

La saison pluvieuse correspond à la période allant du mois de décembre à février avec 36.73 % des précipitations annuelles, les mois de septembre à novembre reçoivent 29.39 % ; la période sec reçoit

3.51 %

Tableau 1 : Répartition de la précipitation moyenne mensuelle et saisonnière

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Précipitations en (mm)	12,59	21,47	39,05	32,15	33,32	29,12	29,66	28,39	22,75	4,73	1,47	2,83
Moyenne saisonnière (mm)	73.11			94.59			80.80			9.03		
%	29.39 %			36.73 %			26.64%			3.51 %		

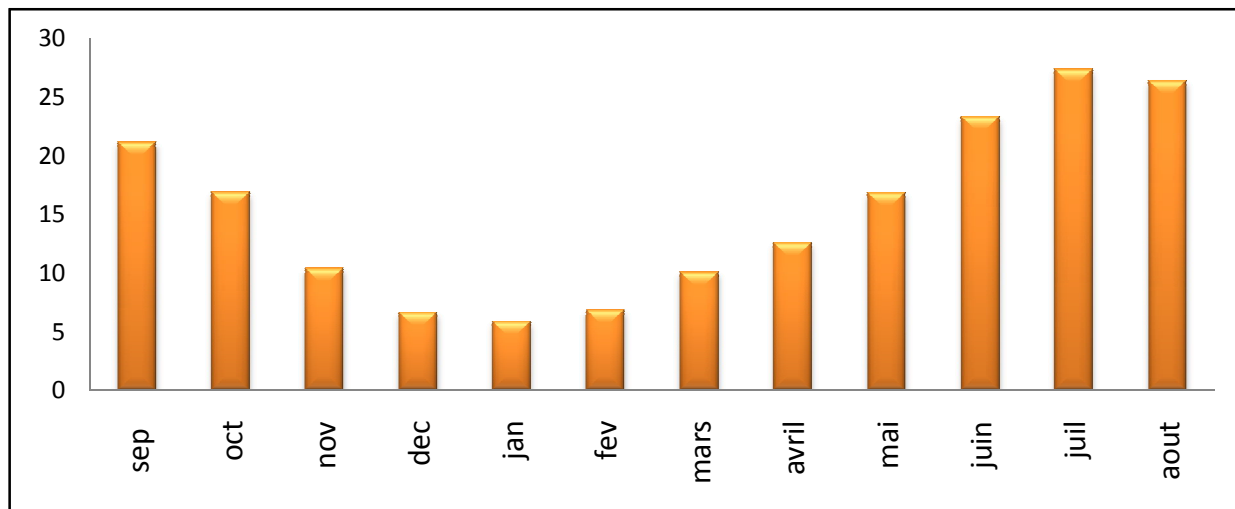


Graphique2 : Précipitations moyennes mensuelles et saisonnières

III.3. Températures

La température représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère.

Le mois le plus froid est celui de janvier avec une moyenne de 6°C. Les températures extrêmement basses peuvent atteindre 5°C. Les mois les plus chauds sont les mois de juillet et d'août avec une moyenne de 31°C et avec des maximas journaliers de 50°C (graphie 3).



Graphique3 : Températures moyennes de la station de Relizane (1988-2009)

III.4. Gelées

Généralement, elles résultent de 2 types de phénomènes qui selon le cas, prennent une importance relativement différente :

- Refroidissement général de l'atmosphère par l'arrivée d'une masse d'air froide.
- Refroidissement nocturne accru par un rayonnement net, négatif intensifié à une grande transparence de l'atmosphère (absence de nuage) ou par une faible vitesse du vent.

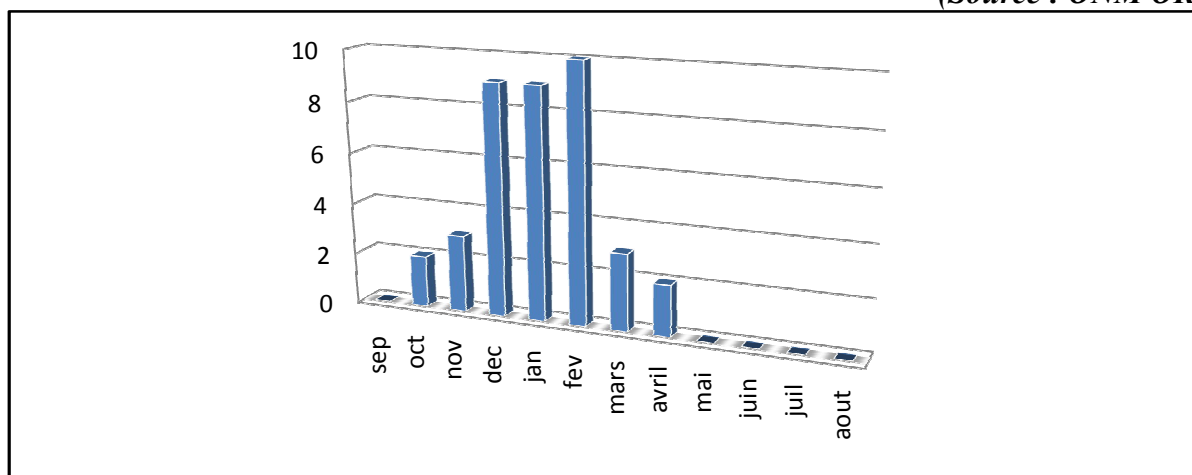
En fin d'hiver ou au début du printemps, les gelées dites de « rayonnement » ou gelées blanches résultent surtout des pertes de chaleur par rayonnement ou parfois par évaporation. Si la région est soumise, au même moment, à un temps relativement frais (de 0 à 5°); la température près du sol peut alors descendre au-dessous de 0°. Il y a alors risque de gelées.

Du fait de la continentalité du climat de la région, le risque de gelée existe pendant une bonne période de l'année. Les gelées qui sévissent chaque année engendrant des dégâts considérables aux cultures. Le nombre moyen annuel de jours de gelées blanchâtre est environ 40.

Tableau 2 : Distribution des jours de gelée durant l'année

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Nombre de jour de gelée	0	2	3	9	9	10	3	2	0	0	0	0

(Source : ONM ORAN)



Graphique 4 : Nombre de jours de gelée (1987-2009)

Nous remarquons que le plus grand nombre de jours de gelée se rencontrent durant les mois de décembre, janvier et février, il est moyen durant les quatre mois d'octobre, novembre, mars et avril.

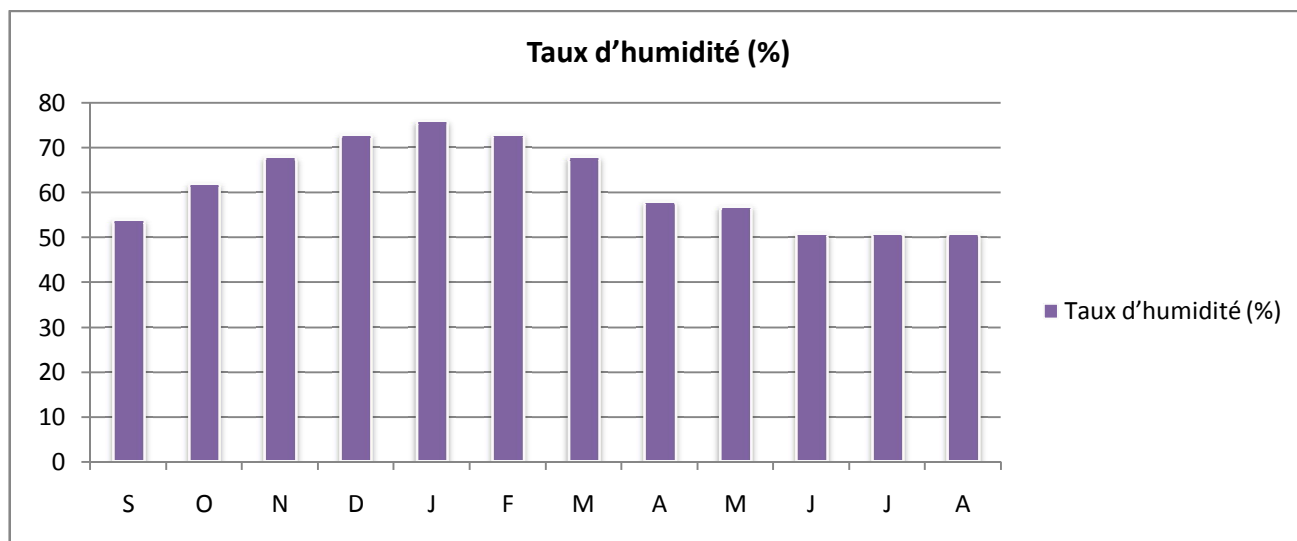
III.5. Humidité

L'humidité relative est l'un des paramètres principaux du cycle hydrologique, source de toutes les précipitations. Dans notre région, elle est généralement élevée, en hiver lorsque les températures sont minimales et basses en été (graphe 5).

Tableau 3 : Humidité relative en moyennes mensuelles en % (Station de Relizane)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Taux d'humidité (%)	54	62	68	73	76	73	68	58	57	51	51	51

(Source : ONM ORAN)



Graphique5 :Humidité (1987-2009)

III.6. Vent

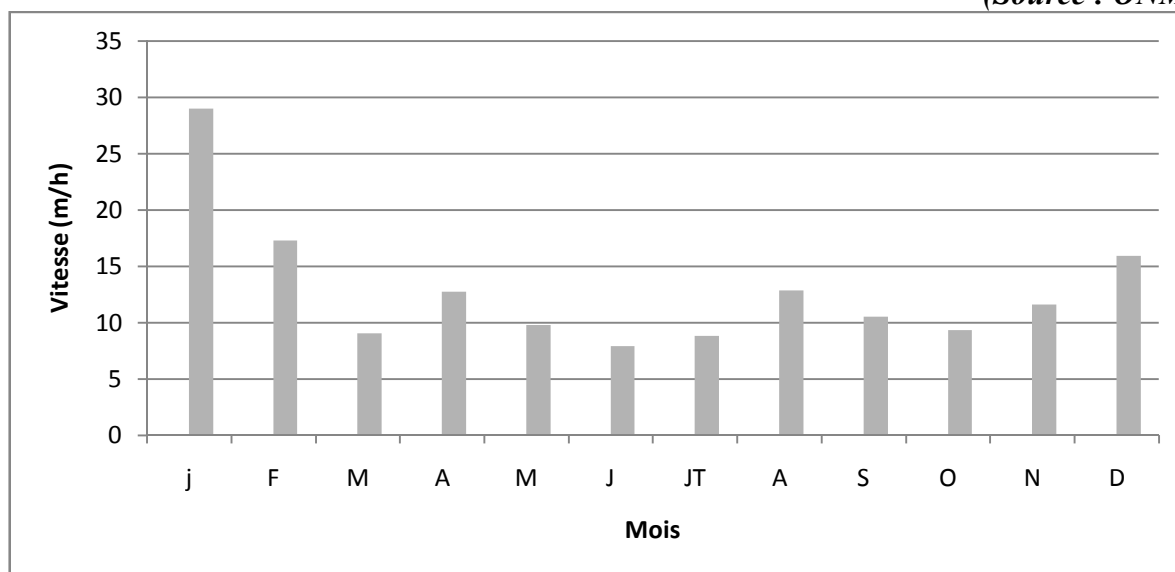
Le vent est un des éléments les plus caractéristiques du climat. Il agit sur la vie et le développement des plantes. De plus, le vent peut être un facteur déclenchant ou favorisant la propagation des feux de forêts .

La fréquence moyenne annuelle des vents est de 18.04. La fréquence moyenne mensuelle de la période comprise entre les mois de février à décembre est inférieure à la moyenne annuelle ; sauf le mois de janvier la fréquence est supérieure à la moyenne annuelle (graphe 6).

Tableau 4 :Vitesse moyenne mensuelle du vent (Station de Relizane)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Vitesse du vent (m/s)	11.54	12.91	15.75	16.23	15.95	15.59	15.77	14.23	13.95	12.95	12.44	12.08

(Source : ONM ORAN)



Graphique6 : Variation de la vitesse du vent (1987-2009)

III.7. Climagramme de L. EMBERGER

Pour déterminer les climats de la zone méditerranéenne, L. EMBERGER a proposé la détermination d'un quotient pluviométrique Q_2 , qui dépend des précipitations moyennes annuelles et des moyennes de températures minimal et maximal, respectivement des mois les plus froids et les plus chauds. Il propose donc la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{2000 P}{(M + m)(M - m)}$$

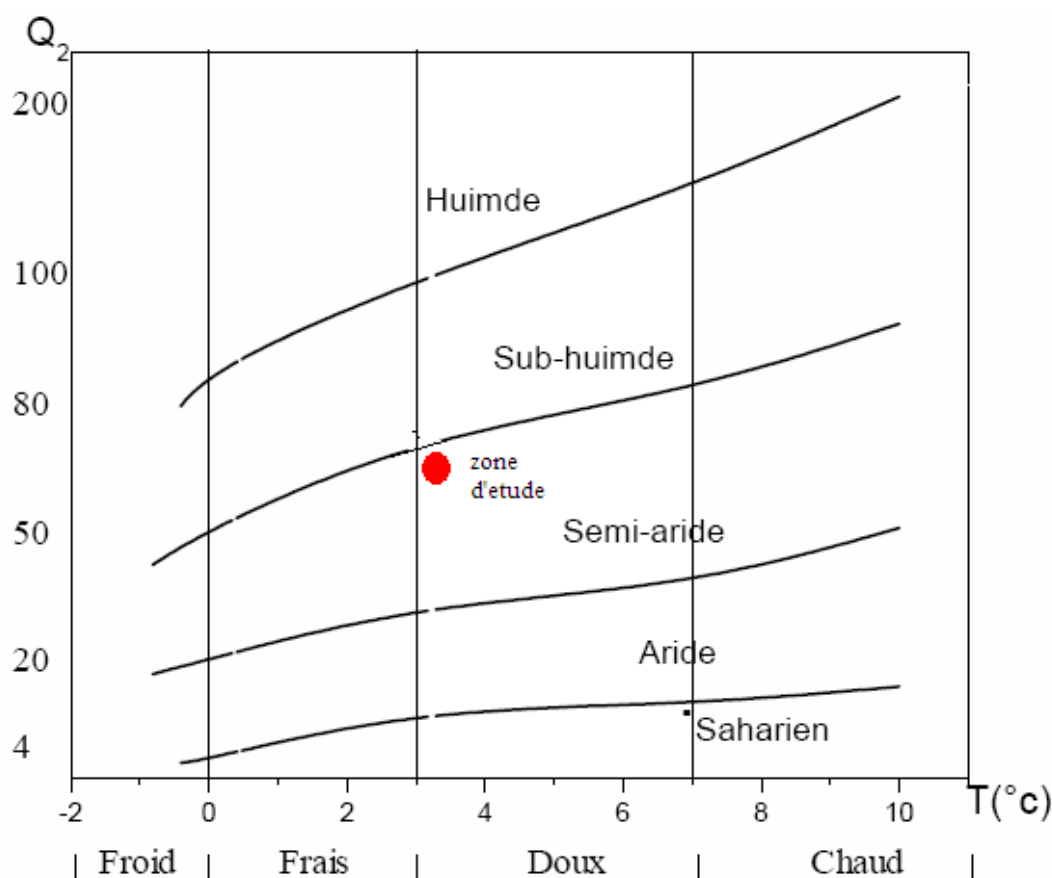
Où :

P : précipitation moyenne annuelle (mm) ;

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud (degrés/Kelvin) ;

m : moyenne des minima du mois le plus froid (degrés/Kelvin).

La lecture du climagramme pluviothermique sur la figure ci-dessous permet de dire que le climat de la région est semi-aride (pluies en hiver, sécheresse en été) (graphe 7).



Graphique7 : Climagramme pluviothermique d'EMBERGER

IV. Géologie et la géomorphologie

IV.1. Relief

Le bassin de l'Oued Mina s'étend sur deux unités naturelles dissemblables. + :

- Au Sud, les plateaux telliens contenant aussi les monts de Frenda et de Saïda, d'une altitude de 900 à 1300 m, où affleurent souvent des calcaires ;
- Au Nord, un ensemble de chaînes et de bassins, en général d'altitude inférieure à 900 m, dans une structure géologique complexe, individualisé en blocs, dont l'Ouarsenis est un des plus

marquants. Ils sont caractérisés par l'abondance des affleurements de marnes, très sensibles à l'érosion hydrique.

IV.2. Stratigraphie et lithologie

Le bassin versant de l'Oued Mina comprend deux parties distinctes du point de vue géologique et lithologique:

- la partie méridionale, de roches d'âge jurassique, composées de calcaires et marnes armées de nombreux bancs de calcaire et de grès; ceux-ci limitent l'incision des ravins.
- la partie septentrionale au nord de l'Oued Mina, avec une extension au sud dans la partie aval de l'Oued Haddad, est constituée de roches d'âge tertiaire (Eocène, Oligocène et Miocène): il s'agit d'épaisses masses de marnes, souvent chlorurées dans lesquelles les calcaires et les grès sont épisodiques. Les ravinements peuvent s'y développer librement sans obstacles lithologiques. Dans le bassin versant de l'Oued Haddad; les grès calcaires forment fréquemment des entablements diaclases, les eaux d'infiltration s'y concentrent et favorisent ainsi le ravinement des marnes en aval (Kouri et Vogt, 1993).

IV.3. Ressources en eaux

L'Oued de la Mina drainant un bassin versant de 1268,8 km² a comme principaux affluents :

- Oued Lanssat,
- Oued El ansseur,
- Oued Bousslit,
- Oued Yellel, Oued Kalaa et Oued Elhalouf.

IV.4. Aspect topographique

IV.4.1. Répartition altimétrique

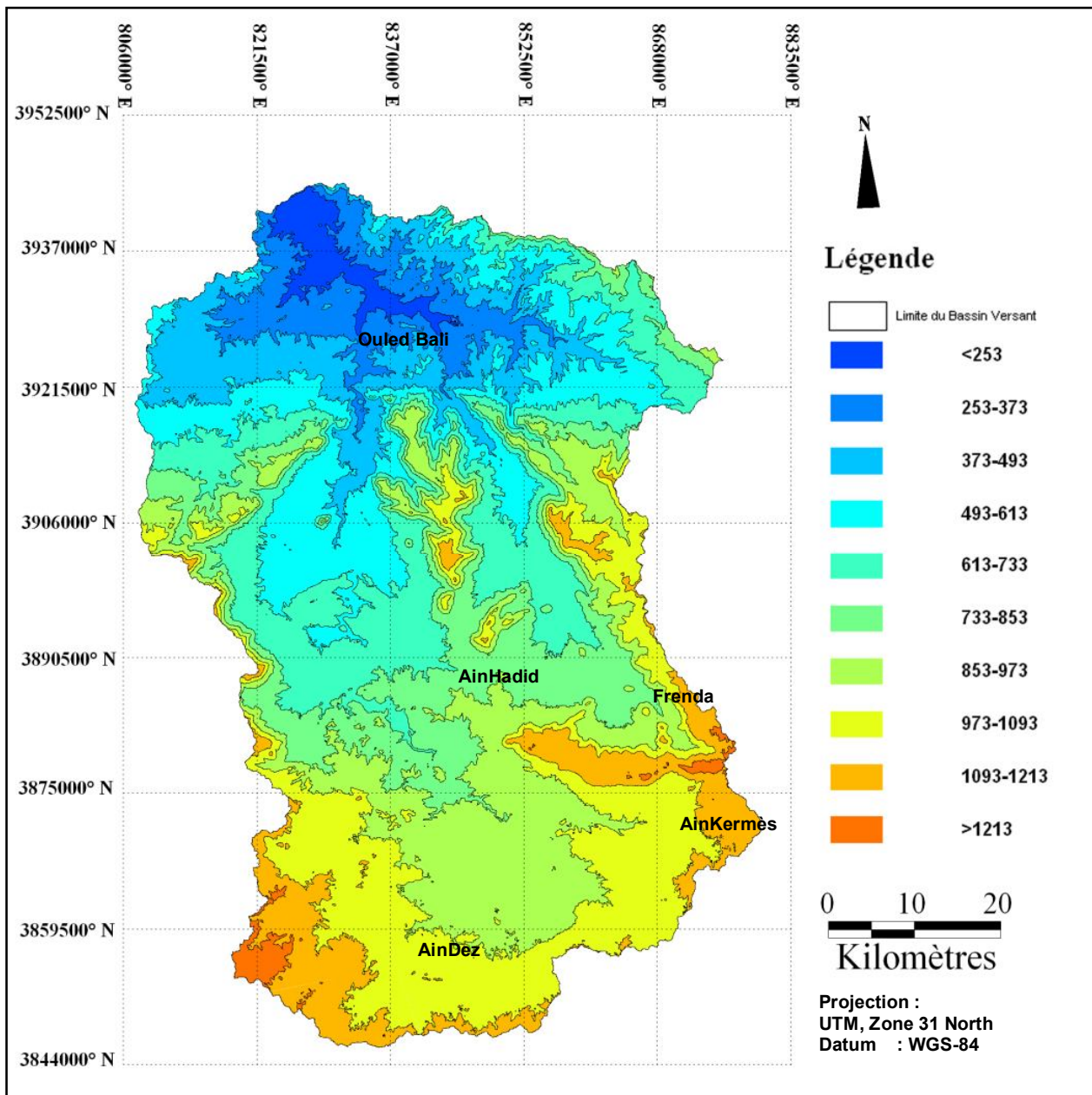
Le relief est indiqué sur la carte topographique par la disposition et la valeur des courbes de niveau (carte 2). L'étude topographique (Meddi, 1992) a permis de ranger le bassin étudié dans la classe de relief fort, selon la classification de l'ORSTOM (Dubreuil et Guscafre, 1971).

Tableau 5 : La répartition altimétrique du bassin versant de l'Oued Mina

Altitude (m)	Surface partielle (Km ²)	Surface partielle cumulée (Km ²)	% de surface partielle	% des surfaces partielles cumulées
<253	101,5	101,5	2,11	2,11
253-373	283,4	384,9	5,90	8,01
373-493	440,2	825,1	9,16	17,17
493-613	589,5	1414,6	12,27	29,44
613-733	714,9	2129,5	14,88	44,31
733-853	641,5	2771	13,35	57,66
853-973	784,3	3555,3	16,32	73,98
973-1093	834,8	4390,1	17,37	91,35
1093-1213	373,5	4763,6	7,77	99,12
>1213	42,1	4805,7	0,88	100,00

Le tableau donne des valeurs numériques lorsqu'on fait la classification des hauteurs qui caractérisent notre relief du bassin. On remarque que les hauteurs entre (700 et 1000mm)

representent la majorité de la surface du bassin, ce sont elles qui influent à 90% sur le regime climatique.



Carte 2 : Carte hypsométrique du bassin versant de l'Oued Mina

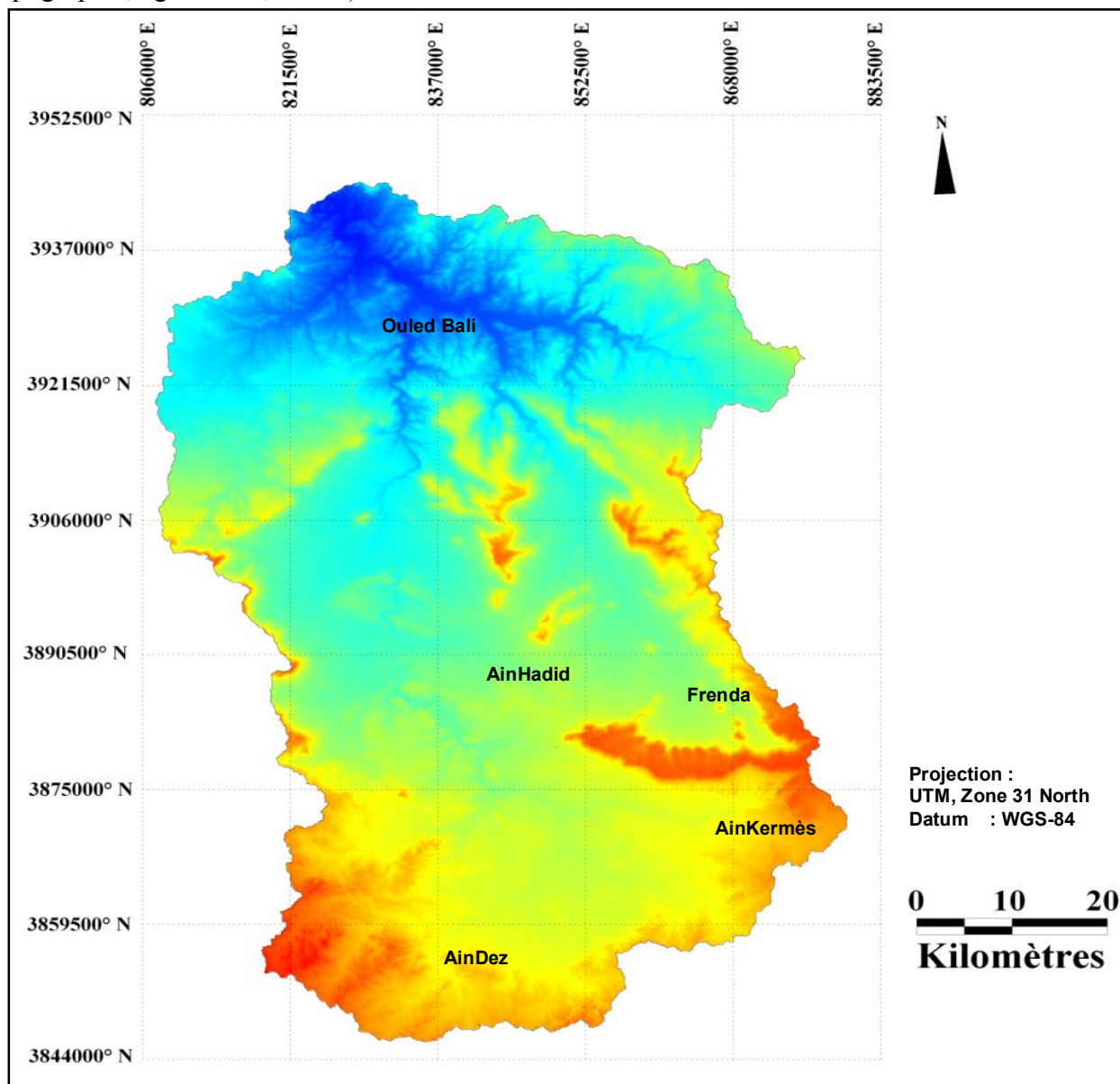
Nous remarquons que les altitudes les plus élevées se trouvent dans la partie Ouest du bassin, l'importante altitude du bassin (700-1000 m) se trouve dans les parties sud du bassin.

IV.4.2. Carte des pentes

La carte des pentes est considérée comme une couche importante dans le domaine des aménagements de territoire en générale, et dans les études de bassins versants en particulier.

Elle est l'élément de base pour l'analyse des caractéristiques physiques qui déterminent l'aptitude des diverses zones. En effet, la potentialité et les limites d'utilisation du territoire dépendent, dans leur majeure partie, de la pente puisque celle-ci contribue à la détermination des possibilités d'érosion en relation avec d'autres facteurs de mécanisation des cultures, de modalités d'irrigation, de possibilités de pâturage, de l'installation et de développement de la végétation de reforestation.

Son extraction automatique à partir du MNT (carte 3) permet le calcul de la pente en chaque pixel du bassin. La couche résultante n'est pas figée, on peut à tout moment, par une analyse monocouche, d'établir une classification des pentes selon la problématique étudiée (géologie, topographie, agronomie, ...etc.).

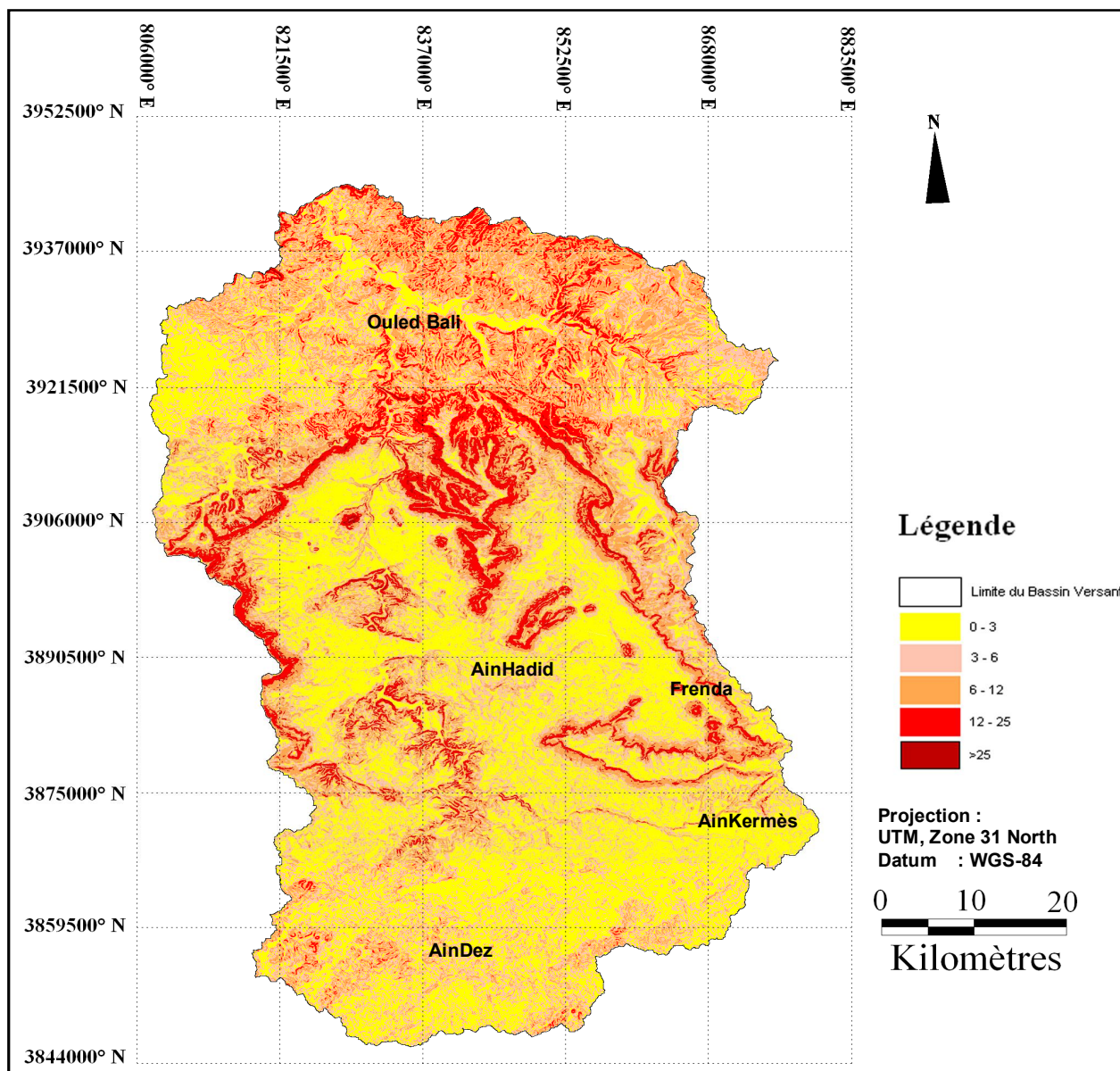


Carte 3 : Modèle Numérique des Terrains (MNT) de la zone d'étude

La carte des pentes subdivise le territoire d'étude en cinq classes (tableau 6).

Tableau 6 : Répartition des classes de pentes dans le bassin versant de l'Oued Mina

Classe de pentes	Superficie (Km ²)	Pourcentage (%)	Type de terrain
0 – 3 %	1738	36,17	Plaine-plateau tellien
3 – 6 %	1488	30,96	Plateau tellien
6 – 12 %	1109	23,08	Ouarsenis
12 – 25 %	457,9	9,53	Mont de Frenda(Tiaret) et de Saida
>25%	12,61	0,26	Mont de Frenda (Tiaret) et de Saida



Carte 4 : Carte des pentes du bassin versant de l'Oued Mina

V. Milieu humain

V.1. Données démographiques

Les données démographiques présentent une importance fondamentale dans la planification agricole et rurale. Le recensement de la population de 1998 fait ressortir 639.253 habitants au niveau de la wilaya de Relizane.

V.2. Population et emploi

Selon les estimations de l'emploi et de la formation professionnelle (D.E.F.P) de la wilaya de Relizane, le secteur primaire (agriculture) est le secteur qui occupe le plus d'effectifs. En 1998 ce secteur employait 31.4 % de la population active pour l'ensemble de la wilaya.

Le secteur du commerce arrive en deuxième position en occupant 30.5% de la population active pour l'ensemble de la wilaya. Ensuite, on a le secteur des services et administration, le secteur des btp avec 20.1 % et enfin, l'industrie occupant 10.7 %.

Tableau 7 : Structure de l'emploi (situation Juin 1998) Source : DEFP de la wilaya de Relizane

Secteur d'activité	Nombre d'occupés	Taux %
Agriculture	41 600	31.4
Industrie	10 764	8.12
B.t.e	20 184	15.23
Commerce	30 512	23.02
Service des administrations	29 440	22.21
Total	132 500	100

V.3. Activités socioprofessionnelles

V.3.1. Agriculture

La principale activité agricole pratiquée au niveau de notre étude est la céréaliculture. Viennent ensuite, d'autres spéculations d'importance moindre telles que les cultures maraîchères, l'arboriculture, l'olivier.

Tableau 8 : Composition et répartition de la superficie totale agricole dans la wilaya de Relizane

Terres labourables		Terres irriguées		Arboriculture fruitière		Vignoble	
Hectares	%	Hectares	%	Hectares	%	Hectares	%
211 736	43.74	13 464	2.78	24 782	5.12	1 018	0.38

Source : D.S.A de Relizane (1998)

On constate que le total des terres utilisées par l'agriculture est de 251.800 ha représentant 52,02 % de la superficie totale du territoire de la wilaya de Relizane.

V.3.2. Arboriculture.

La superficie des arbres fruitiers a connu une réduction importante sous l'effet des actions anthropiques.

Tableau 9 : Bilan de la production arboricole (99/2000) de la W.de Relizane

	Superficie totale (ha)	Production (qx)
Agrumes	2947	199450
Olivier	2969	109950
Noyaux	786	38040
Rustique	776	/
Vigne	1018	25080

Source : D.S.A de Relizane (2000)

V.3.3. Elevage

Le système d'élevage est traditionnel, extensif ou semi-extensif en général; une majorité du cheptel appartient au secteur privé, les grandes exploitations pilotes détiennent une partie des effectifs. L'élevage constitue pour beaucoup de producteurs une source de revenu très importante où l'élevage ovin domine.

Tableau 10 : Effectifs animaux en nombre de têtes et par catégorie dans la wilaya de Relizane

Communes	En nombre de têtes				Nombre de ruches
	Ovins	Caprins	Bovins	Animaux de trait	
Relizane	2280	304	567	10348	12
Ben Daoud	1252	203	355	11205	25
El Matmar	2892	378	762	23320	215
Hillil	1087	298	411	12378	187
Oued El Djemaa	1925	209	326	1429	110

D'après les statistiques, il est recensé au niveau de la wilaya de Relizane 214.500 têtes d'ovins. Les communes où il est recensé les plus importants effectifs sont par ordre décroissant : El Matmar (2892 têtes) et Relizane (2280 têtes).

La commune qui entre dans la zone d'étude est Yellel avec 1087 têtes. 22.400 têtes de bovin ont été recensées au niveau de la wilaya de Relizane se concentrant dans les communes d'El Matmar avec 762 têtes et Relizane avec 567 têtes. La commune qui entre dans la zone d'études est Yellel avec 411 têtes.

Les caprins se trouvent surtout dans les communes d'EL Matmar avec 378 têtes et Relizane 340 têtes. La commune qui entre dans la zone d'études est Yellel avec 298 têtes.

Les animaux de trait destinés essentiellement au transport des personnes et de marchandises, se localisent dans les communes d'El Matmar (23.320 têtes) et de Ben Daoud avec (11205 sujets). Yellel avec 19325 sujets entre dans la zone d'études.

V.3.3. Surpâturage

C'est un facteur principal de dégradation du milieu biotique et édaphique par le passage répété des troupeaux et le prélèvement excessif par rapport à la production annuelle.

VI. Végétation et occupation des sols

Dans ce chapitre nous allons parler de tous les résultats auxquels nous avons aboutis pour les différents traitements et analyses effectués sur les images satellite utilisées pour la détection du changement de l'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Mina.

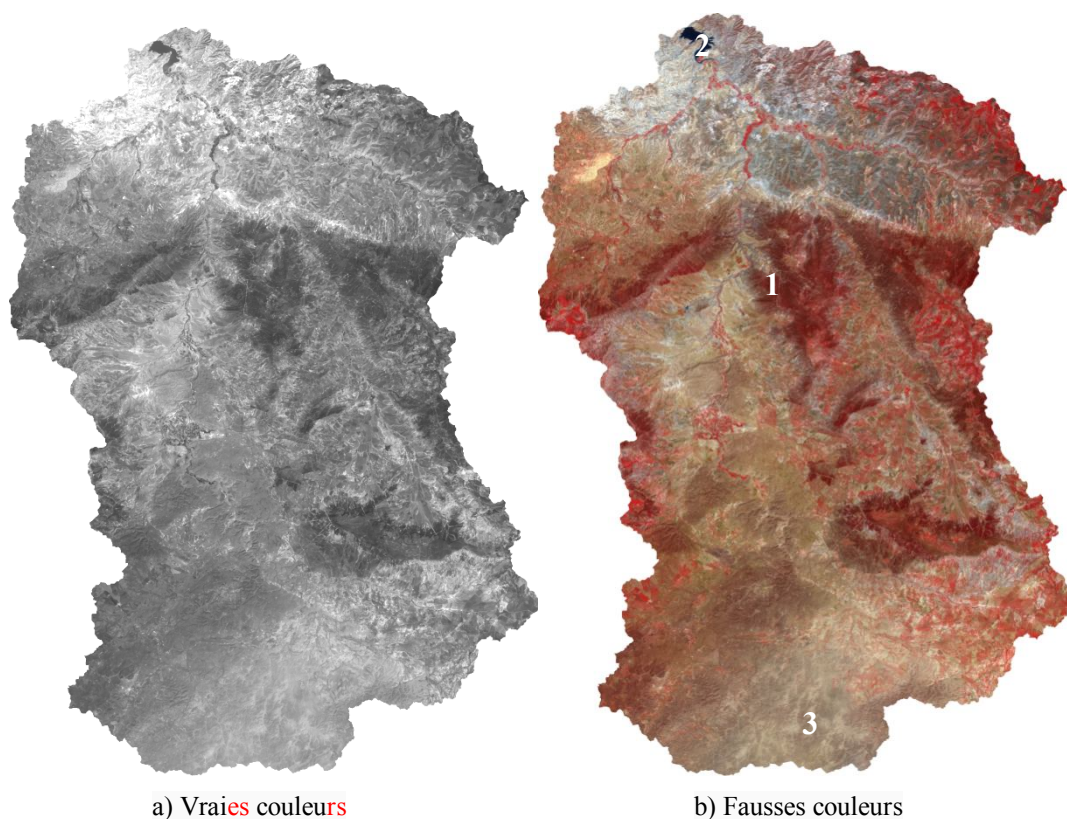
VI.1. Elaboration des compositions colorées

Une composition colorée a été faite par la superposition des trois canaux proches : infrarouge, rouge et vert et des données avec l'affectation des trois couleurs primaires dans l'ordre respectif, rouge, vert et bleu. Ce traitement a permis de faire ressortir les différents thèmes existants à savoir:

- L'activité chlorophyllienne en rouge ;
- Les sols nus en clair ;
- Les plans d'eau en sombre, etc.

Ce traitement numérique permet de mettre en évidence le maximum de thèmes. Il facilite le choix des points d'appui pour localisation des échantillons pour la classification supervisée de l'image.

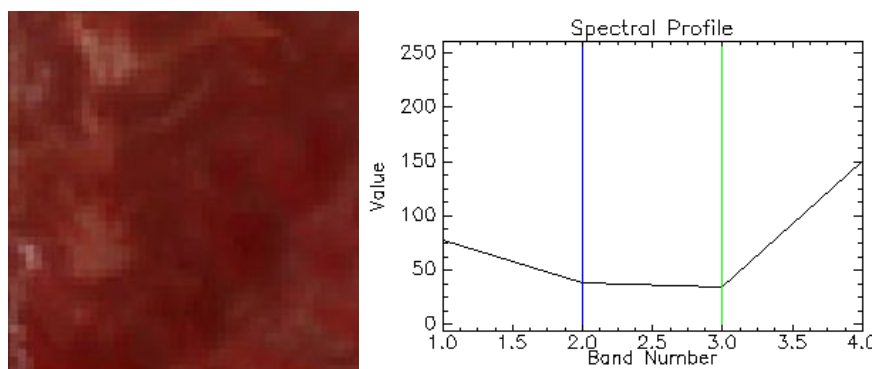
Le résultat final de cette composition est représenté sur la carte 5.



Carte 5 :Vraies couleurs et Composition colorée de la zone d'étude

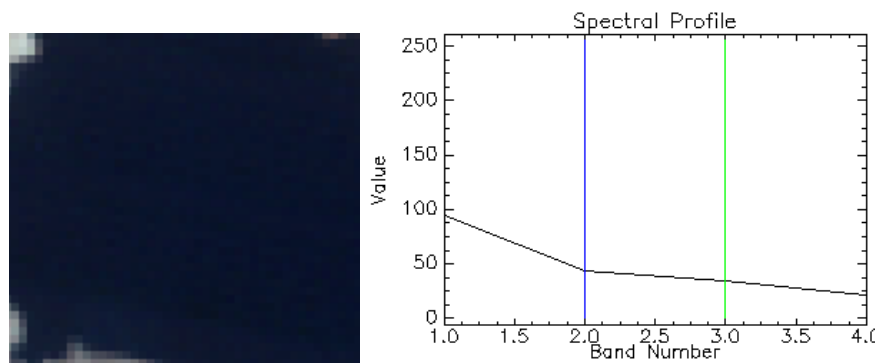
Chaque élément peut être repéré par une signature spectrale qui lui est propre. Les figures de la page suivante rassemblent quelques signatures de notre zone d'étude.

La végétation est caractérisée par une faible réflectance dans le visible et une réflectance élevée dans le proche infrarouge (graphe 8).



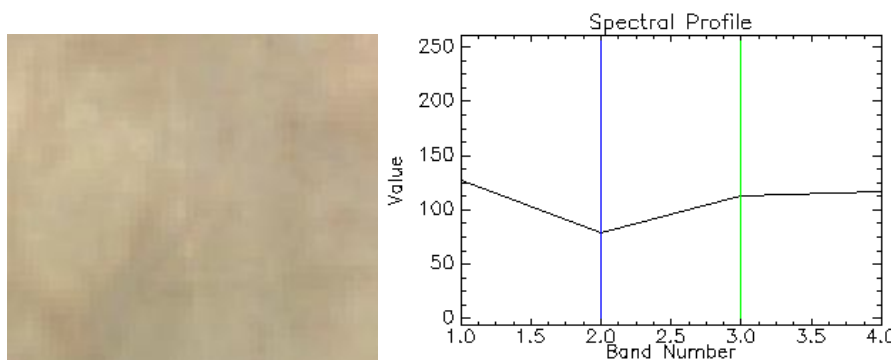
Graphe 8 : Signature spectrale du couvert végétale (1)

L'eau a une réflectance très faible dans toutes les longueurs d'onde, elle absorbe, cependant, un peu moins les ondes les plus courtes, d'où sa couleur bleue. Néanmoins l'eau de notre zone d'étude a une forte réflectance de la bande rouge à cause de la turbidité de cette dernière, plus elle contient de matériaux sédimentaires, plus sa réflectance augmente dans toutes les longueurs d'onde et notamment pour les ondes les plus longues - rouge (graphe 9).



Graph 9 : Signature spectrale de l'eau (2)

La signature spectrale des sols est en général caractérisée par une augmentation progressive de la réflectance depuis les longueurs d'onde du visible jusqu'à celles de l'infrarouge (graphe10).



Graph 10 : Signature spectrale du sol nu (3)

VI.2.Indices de végétation

Pour cartographier cet indicateur, nous avons effectué une classification automatique de l'image NDVI par la fonction "Density Slice" du logiciel ENVI.

Le NDVI a été généré à partir de l'image Landsat pour les 03 périodes. Cet indice est calculé par le rapport entre les bandes infra rouge et rouge. Les fortes valeurs du NDVI indiquent une végétation active et saine, tandis que la diminution et la baisse de ces valeurs signifient une régression et même une absence totale de la couverture végétale.

La classification du NDVI facilite la visualisation des changements, mais pour des raisons de confusion, on a donné, à chaque image des classes bien distinctes. Chaque classe exprime une réalité de terrain comme le mentionne le tableau suivant :

Tableau 11 : Différentes classes de NDVI pour les 03 périodes en 1985, 2002 et 2009 de l'Oued Mina

Image Mai 1985		Image Juin 2002		Image Juin 2009	
Classes	Réalité	Classes	Réalité	Classes	Réalité
-0.27 à -0.07	Eau	-0.36 à -0.14	Eau	-0.19 à -0.04	Eau
-0.07 à +0.12	Sol nu	-0.14 à +0.06	Sol nu	-0.04 à +0.09	Sol nu
+0.12 à +0.32	Végétation peu dense	-0.06 à +0.27	Végétation peu dense	+0.09 à +0.24	Végétation peu dense
+0.32 à 0.52	Végétation dense	-0.2 à +0.48	Végétation dense	+0.24 à +0.38	Végétation dense

Les résultats du traitement permettent de déduire la forte variation de NDVI sur la période de 1985 à 2009, avec une dégradation claire de la densité du couvert végétal.

Le Tableau ci-dessous représente les superficies de NDVI pour chaque classe générée à partir des images Landsat.

Tableau 12 : Superficies des différentes classes de NDVI en 1985, 2002 et en 2009 de l'Oued Mina

Classes	Superficie en 1987		Superficie en 2002		Superficie en 2009	
	en Km ²	en %	en Km ²	en %	en Km ²	en %
Eau	6,96	0,14	6,89	0,14	10,89	0,23
Sol nu	3365,07	69,86	3517,90	73,03	3877,64	80,51
Couvert peu dense	1356,60	28,16	1256,08	26,08	857,86	17,81
Couvert dense	88,13	1,83	36,22	0,75	70,21	1,46
Total	4817	100	4817	100	4817	100

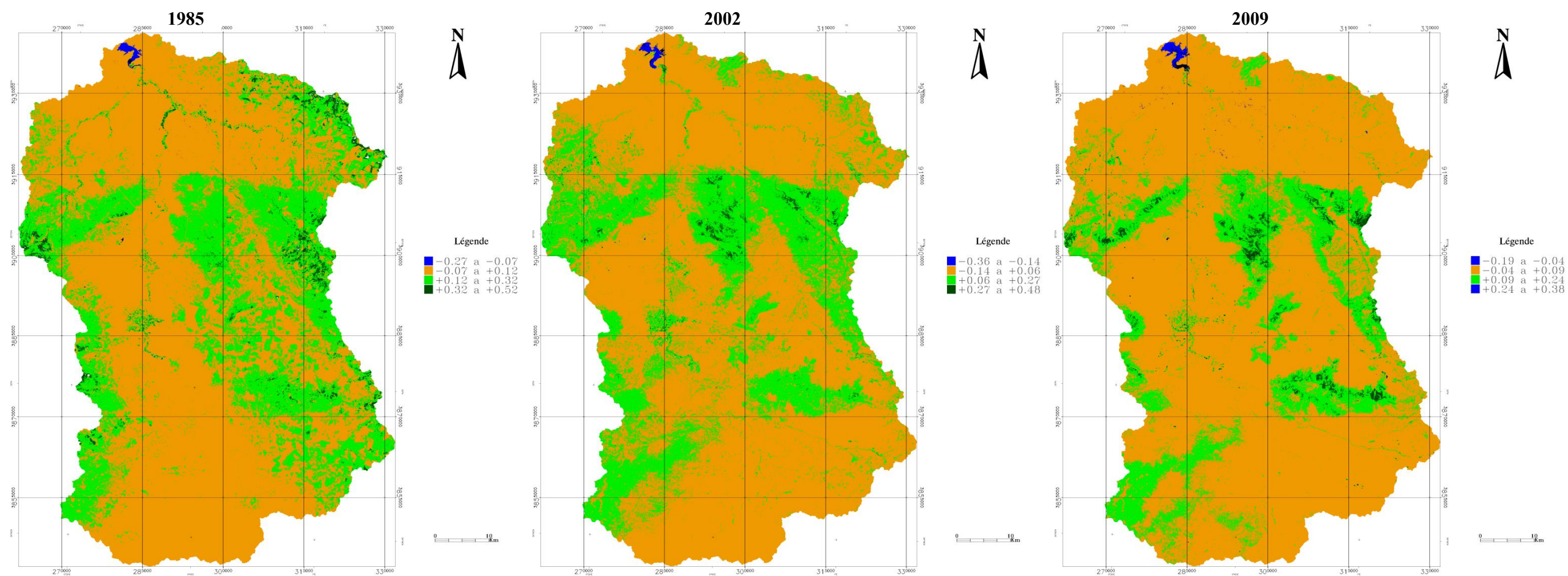
Les cartes (figure 19) de la page suivante représentent une classification de NDVI générée à partir des images Landsat.

VI.3. Classification non supervisée

Après le traitement des images nous avons procédé à la classification dite non supervisée sans l'intervention de la réalité de terrain. Elle se base sur l'arrangement des pixels selon des valeurs radiométriques homogènes. Le tableau suivant représente les superficies des unités d'occupation du sol regroupant 4 classes ayant des caractéristiques spectrales différentes (carte 7).

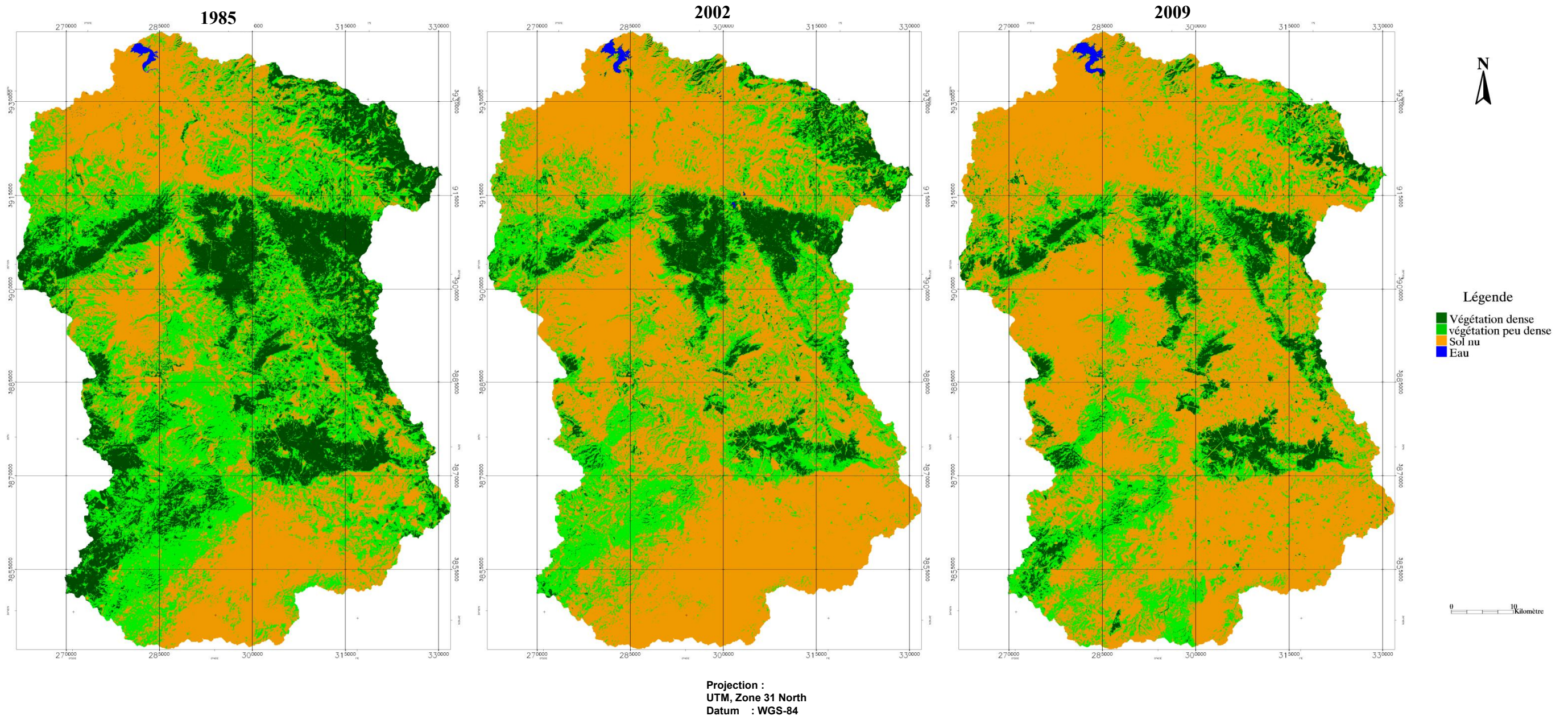
Tableau 13 : Superficies des unités d'occupation du sol en 1985, en 2002 et en 2009 de l'Oued Mina

Type d'occupation	Superficie en 1987		Superficie en 2002		Superficie en 2009	
	en Km ²	en %	en Km ²	en %	en Km ²	en %
Végétation dense	880,5	18,28	528,13	10,96	503,37	10,45
végétation faible	1240,0	25,74	1325,59	27,52	1157,40	24,03
Sol nu	2690,4	55,85	2954,00	61,33	3145,48	65,30
Eau	5,9	0,12	8,83	0,18	10,36	0,22
Total	4817	100	4817	100	4817	100



Projection :
UTM, Zone 31 North
Datum : WGS-84

Carte 6 : Indice de végétation NDVI



Carte 7 : Classification non supervisée de l'Oued Mina

VI.4.Reconnaissance et données de terrain

Deux missions de reconnaissance de terrain ont été effectuées au mois de septembre pour le repérage et la connaissance d'un certain nombre de parcelles représentatives des différents types d'occupation du sol que l'on rencontre sur la zone d'étude.

Bien que l'enquête de terrain ait été réalisée, il y a eu, quand même, plusieurs difficultés liées à cette mission, dont les principaux sont :

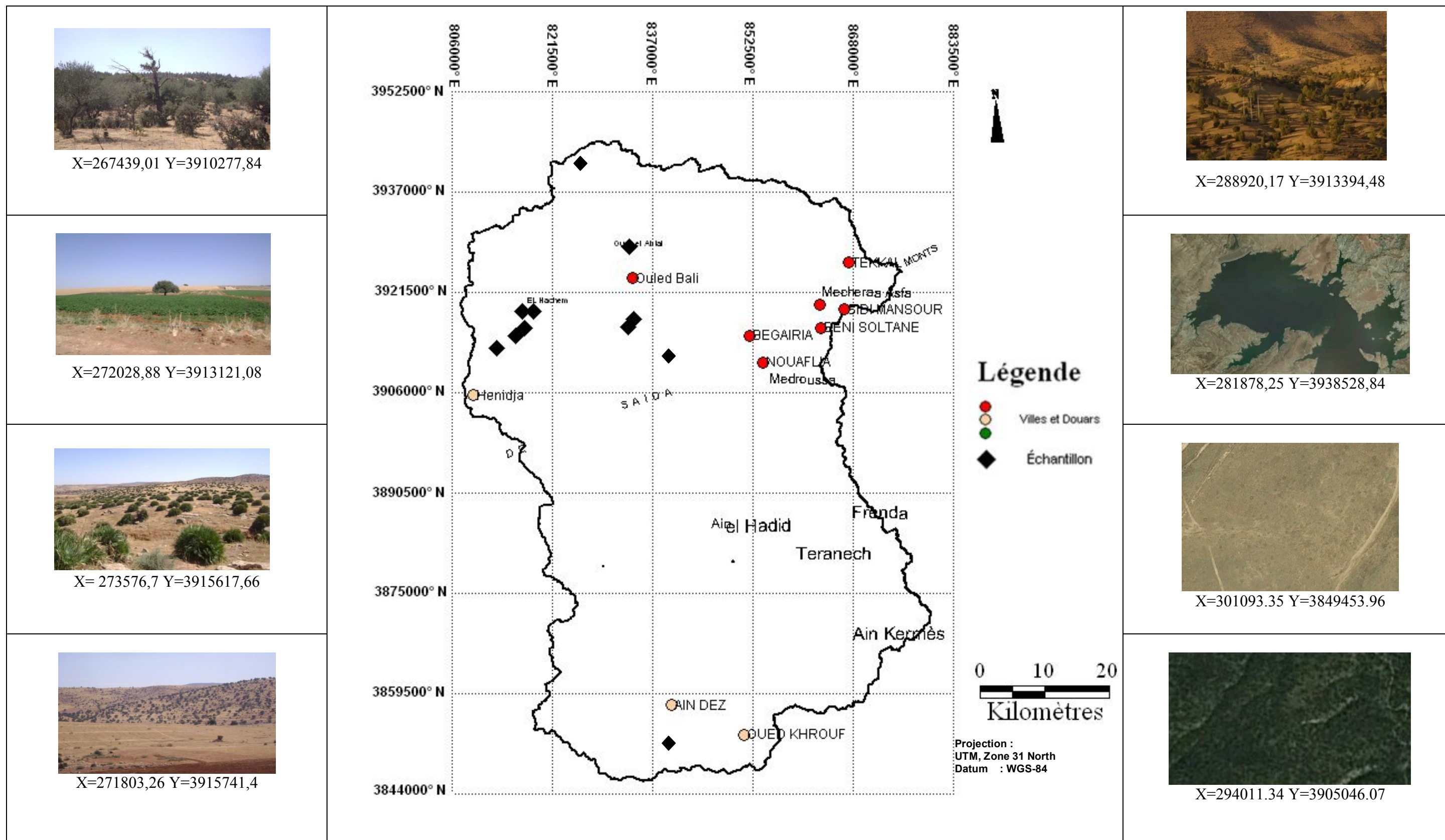
- la mission sur le terrain a été effectuée durant le mois septembre, alors que les images ont été prises durant le mois de mai et de juin
- les endroits difficiles d'accès, notamment les espaces montagneux et la bande frontalière n'ont pas été concernés par cette mission.

Pour certaines régions du bassin nous n'avons pas pu faire une visite de terrain. Nous avons utilisé des images Spot (Google Earth) de haute résolution pour réaliser notre vérification du terrain (carte 8).

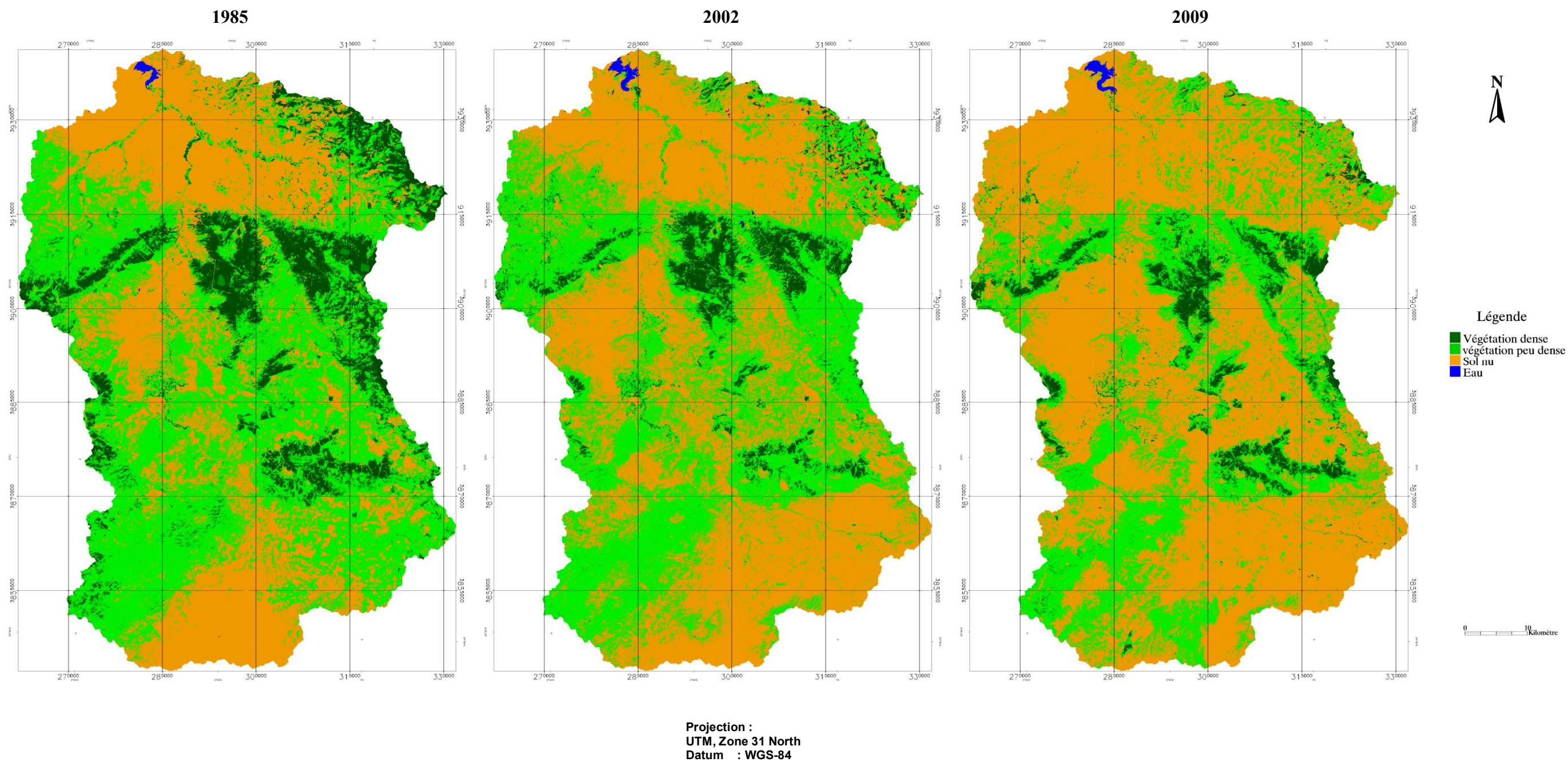
VI.5. Classification supervisée

Afin de mener à bien notre classification supervisée, nous avons choisi des régions d'intérêt qui correspondent aux échantillons que nous avons recueillis sur le terrain. Pour les régions qui n'ont pas été échantillonnées, nous avons utilisé des images Google Earth de haute résolution ainsi que toutes les informations tirées de notre analyse précédente (NDVI, Classification non supervisée).

Nous avons choisi 4 classes représentant les 4 types d'occupation du sol retenu dans l'étude. La figure 22 montre le résultat de la classification supervisée appliquée respectivement sur les images de mai 1985, juin 2002 et juin 2009.



Carte 8 : Localisation des échantillons tests sur la zone d'étude



Carte 9 :Occupation du sol du bassin versant de l'Oued Mina

VI.6. Performance et validation de la classification

VI.6.1. Matrice de confusion

Il est possible d'évaluer les performances de cette classification en estimant le pourcentage de pixels correctement classés à l'intérieur de chaque polygone comme test de vérité de terrain.

Cette évaluation a été complétée par les visites de terrain déjà effectuée précédemment. Toutefois, pour les zones non investiguées, nous nous sommes basé sur une interprétation visuelle effectuée sur l'image classée et sur la composition colorée, sur l'indice de végétation NDVI et les images haute résolution Spot. Grâce à cette interprétation, nous avons pu extrapoler pour ces zones présentant des critères de similitudes (teinte de couleur, signature spectrale) qui s'approchent des zones ayant subi une reconnaissance de terrain. Les tableaux 11, 12 et 13 illustrent cette performance et son analyse a permis de dire que les trois périodes sont très bien classées et le pourcentage de précision statistique est supérieur à 98%.

Tableau 14 : Matrice de confusion de l'estimation de la classification de l'image TM de Landsat pour 1985

Classe	Eau	Sol nu	Végétation peu dense	Végétation dense	Total
Eau	2821	0	0	0	2821
Sol nu	0	22766	68	1	22835
Végétation peu dense	0	4	12285	157	12446
Végétation dense	0	0	113	6527	6640
Total	2821	22770	12466	6685	44742

Tableau 15 : Matrice de confusion de l'estimation de la classification de l'image TM de Landsat pour 2002

Classe	Végétation dense	Eau	Sol nu	Végétation peu dense	Total
Eau	1740	1	0	0	1741
Sol nu	48	24813	72	0	24933
Végétation peu dense	0	262	6615	56	6933
Végétation dense	0	0	23	2833	2856
Total	1788	25076	6710	2889	36463

Tableau 16 : Matrice de confusion de l'estimation de la classification de l'image TM de Landsat pour 2009

Classe	Végétation dense	Eau	Sol nu	Végétation peu dense	Total
Eau	3530	0	0	0	3530
Sol nu	0	18810	123	0	18933
Végétation peu dense	0	83	9415	200	9698
Végétation dense	0	0	264	8787	9051
Total	3530	18893	9802	8987	41212

VI.6.2. Etat des ressources de l'Oued Mina de 1985 à 2009

Le tableau 17 présente les superficies d'occupation du sol pour le bassin versant de l'Oued Mina, respectivement en 1985, 2002 et 2009.

Tableau 17 : Superficies des unités d'occupation du sol en 1985, en 2002 et en 2009 de l'Oued Mina

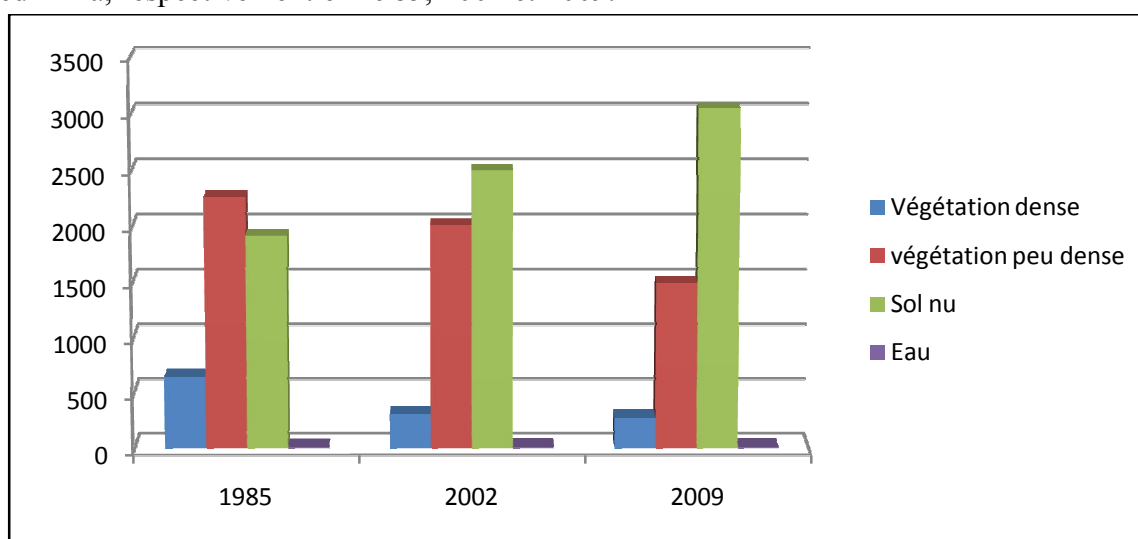
Type d'occupation	Superficie en		Superficie en		Superficie en	
	1985		2002		2009	
	en Km ²	en %	en Km ²	en %	en Km ²	en %
Végétation dense	644,03	13,37	302,36	6,28	273,80	5,68
végétation peu dense	2255,84	46,84	2007,55	41,68	1487,89	30,89
Sol nu	1910,61	39,67	2496,83	51,84	3044,28	63,20
Eau	6,08	0,13	9,81	0,20	10,59	0,22
Total	4817	100	4817	100	4817	100

La superficie totale du territoire étudié est de 4817 ha. La carte d'occupation des sols de 1985 montre une couverture végétale appréciable (carte 9). La végétation dense occupait 644 ha soit 13% du terroir. La végétation moins dense représentait 2255 ha et les sols nus atteignaient les 1910 ha.

En 2002, les zones de couverture végétale se sont rétrécies. La végétation dense est réduite et les surfaces n'accédaient plus qu'à 302 ha soit 6% du territoire, soit une perte de plus de 50%. Beaucoup de régions ont perdu de leur végétation comme le nord-est du bassin et se sont transformées en zones nues. Les zones nues ont atteint 2496 ha soit 51% de l'ensemble de la superficie du terroir avec une augmentation de près de 24 % par rapport à 1985.

En 2009, les zones de végétation dense couvraient 273 ha, soit une perte de 09 % par rapport à l'année 2002 et une perte totale avoisinant les 57 % depuis 1985, et 1487 ha pour la végétation peu dense. Ceci est traduit par une régression de 23 % par rapport à la période de 2002 et une perte totale de 34 % par rapport à l'année 1985.

Le graphe 11 présente l'histogramme des superficies d'occupation du sol pour le bassin de l'Oued Mina, respectivement en 1985, 2002 et 2009.



Graphique11 : Superficies des unités d'occupation du sol en 1985, en 2002 et en 2009 de l'Oued Mina

L'occupation du sol a connu des variations importantes entre les différentes dates. De 1985 à 2009, le couvert végétal a connu une dégradation importante et cela est dû probablement à plusieurs paramètres :

- la sécheresse qu'a connue la région dans les dernières décennies combinée à des mutations d'origine anthropique,,
- l'évolution et l'extension du tissu urbain,
- les incendies répétés qui sont favorisés par le stress hydrique prolongé, conjugué aux pratiques d'élevage extensif.

Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons essayé en utilisant des données de télédétection d'étudier et d'analyser la dynamique et l'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Mina. Grâce à l'utilisation des logiciels SIG, nous sommes arrivés au bon contrôle du processus de classification. Nous avons eu des résultats convenables. C'est une amélioration significative des résultats qui a été obtenue par rapport à l'utilisation des méthodes de classification traditionnelle. Les précisions globales obtenues sont de 99 % (1985), 98% (2002) et 98 % (2009).

Ces informations sont très utiles dans un contexte de gestion intégrée des ressources naturelles au Oued Mina. Nous avons ainsi obtenu des données quantitatives sur l'occupation du sol de l'ensemble du bassin pour une période de 25 ans. Il ressort en premier lieu une extension importante des sols nus. Il résulte également une diminution significative du couvert végétal dense s'agissant d'un problème causé par les incendies et la sécheresse des années (1990) outre l'expansion urbaine et, en deuxième lieu, une augmentation de la lame d'eau qui atteint presque le double du début de la date d'étude.

Cependant, par rapport à une région où l'occupation du sol est complexe et entremêlée comme celle de la zone d'étude, les images de résolution spatiale grossières (30 m) montrent quelques limites. Avec cette résolution spatiale, certaines classes n'ont pas bien été discriminées, la confusion est inévitable. L'absence actuelle d'une base de données détaillées et consécutives ne permet pas de réaliser une analyse quantitative mais une évaluation qualitative.

Enfin, cette étude offre des perspectives très encourageantes pour des travaux plus orientés vers le développement de systèmes automatisés de gestion intégrée et d'outils pour mieux évaluer les impacts des changements de l'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Mina. Elle permettra, aussi, de mettre à jour leurs bases de données numériques.

CHAPITRE II.

CHOIX DE L'ENTITÉ SPATIALE

I. Introduction

Dans ce chapitre , nous choisirons l'entité spatiale d'intégration qui doit permettre la délimitation de l'extension spatiale des systèmes érosifset qui offre l'avantage de visualiser les risques à l'échelle où se déroulent les processus d'érosion.

II. Choix de l'entité spatiale d'intégration

L'unité spatiale choisie doit permettre la délimitation de l'extension spatiale des systèmes érosifs qui offrent l'avantage de visualiser les risques à l'échelle où se déroulent les processus d'érosion, cette entité spatiale est « le sous bassin versant ».

II.1. Bassin versant

Le bassin versant ou bassin d'alimentation est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par les cours d'eau et ses affluents en amont de cette section. Tous les écoulements qui prennent naissance à l'intérieur de cette surface topographique passent obligatoirement par la section de mesure pour poursuivre leur trajet en aval.

Chaque bassin versant est séparé des autres par une ligne de partage des eaux. Cette limite est déterminée sur carte topographique. En commençant par l'exutoire, on trace à main levée des segments perpendiculairement aux courbes de niveau en passant par les crêtes, aboutissant automatiquement à l'exutoire.

II.2. Bassin versant de l'Oued Yellel

Le bassin versant de l'Oued Mina fait partie du plus grand bassin versant de l'Algérie du nord à savoir l'Oued Cheliff. (Touaibia et Achite, 2000).

Le sous bassin versant élémentaire de l'Oued Yellel est l'un des principaux sous bassins versants qui constituent le grand bassin de la Mina. Vu cette importance, nous avons choisi cette région pour qu'elle soit notre objet d'étude dans le cadre de la réalisation de la carte des zones sensibles à l'érosion hydrique.

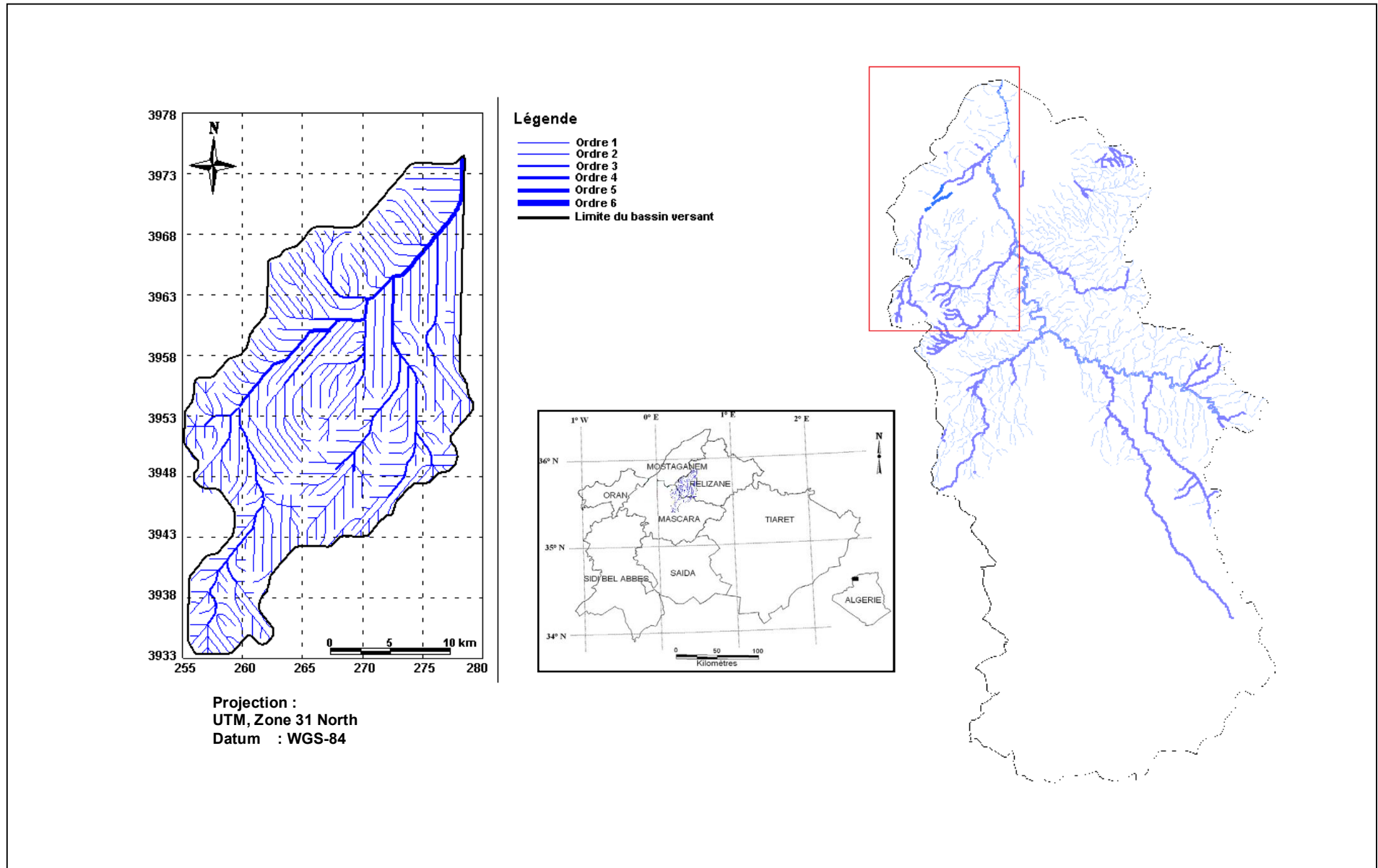
Les coordonnées géographiques sont :

$$\begin{array}{ll} X1 = 283,5 & X2 = 322,0 \\ Y1 = 259,0 & Y2 = 285,0 \end{array}$$

La partie centrale de ce bassin se trouve dans le nord de l'Oued Mina, qui coule vers le nord et se jette dans l'Oued Chelif.

La partie Ouest s'étend à gauche et à droite de la route d'Oran et comprend le voisinage immédiat de Matmar.

La partie Est s'étend à gauche et à droite de la route de Chlef et comprend les environs de la localité de Oued Djema.



Carte 10 : Délimitation du bassin et sous bassins versants de l'Oued Yellel

III. Végétation et occupation des sols

III.1. Occupation des sols

Les sols dans la zone d'étude sont soit occupés par l'agriculture, soit abandonnés pour être occupés par la végétation halophyte. L'agriculture concerne essentiellement les cultures céréalières en sec.

Tableau 18 : Occupation des sols dans la zone d'étude

Zone Occupation des sols	Sidi M'hamed Ben Aouda	
	Superficie (Km ²)	Pourcentage (%)
Zones irriguées	8,89	6,41
Cultures annuelles	-	-
Cultures annuelles et pâturages rocheux	-	-
Champs résiduels sur collines	0,88	0,63
Champs résiduels entre ravines	70,33	50,63
Zones ravinées	18,99	13,69
Pâturage sur terrain rocheux	13,50	9,73
Reboisement	18,72	13,49
Eau libre	7,45	5,37
Total	138,76	100,00

(Source : Conservation des forêts de la wilaya de Relizane)

III.1.1. Forêts

L'espace territorial de la Wilaya de Relizane est subdivisé en deux grands ensembles physiques :

- la partie montagneuse occupe 70 % du territoire de la Wilaya constituée par :
 - ❖ Les Monts de l'Ouarsenis : 255.200 ha soit 53 % ;
 - ❖ Les Monts des BeniChougrane : 40.000 ha soit 8 % ;
 - ❖ Les Monts du Dahra : 43.600 ha soit 9 %.
- La partie plaine représente 30% du territoire de la Wilaya.

Tableau 19 : Consistance du patrimoine forestier dans la wilaya de Relizane

Désignation	Essence principale	Superficie(Ha)	Taux(%)
Forêts	Pin d'Alep	28 469	55
	Eucalyptus	2 934	5.7
	Chêne liège	880	1.7
	Thuya	587	1.1
	Chêne vert	440	0.8
	Chêne Kermès, Oléastre et Cyprès	195	0.4
Total Forêts		33 505	
Maquis	Thuya et Oléastre	12 300	23,7
Forêts dégradées	Pin d'Alep, chêne liège et Thuya	5 989	11.6
Total Général		51 794	100

(Source : Conservation des forêts de la wilaya de Relizane)

III.1.2. Agriculture

La principale activité agricole pratiquée au niveau de notre zone d'étude est la céréaliculture. Viennent ensuite, d'autres spéculations d'importance moindre telles que les cultures maraîchères et l'arboriculture.

Tableau 20 : Répartition des terres dans la Wilaya de Relizane

Répartition des terres	Superficie (Ha)
Superficie totale	484000
Superficie agricole totale (S.A.T)	348951
Superficie agricole utile (S.A.U)	281875
Forêts	51794
Terres irriguées	18472

(Source : DSA de Relizane, 2007)

III.1.3. Population riveraine

Le taux de croissance de la population à la commune de Sidi M'Hamed Ben Aouda était négatif pour la période 1966-1998. C'est-à-dire que la population a diminué dans cette période.

Tableau 21 : Evolution de la population (1966-1998)

Commune	1966	1977	1987	1998	Densité Hab. /Km ²
Sidi M'hamed Ben Aouda	6388	7749	7933	6159	28

(Source : ONS)

IV. Topographie

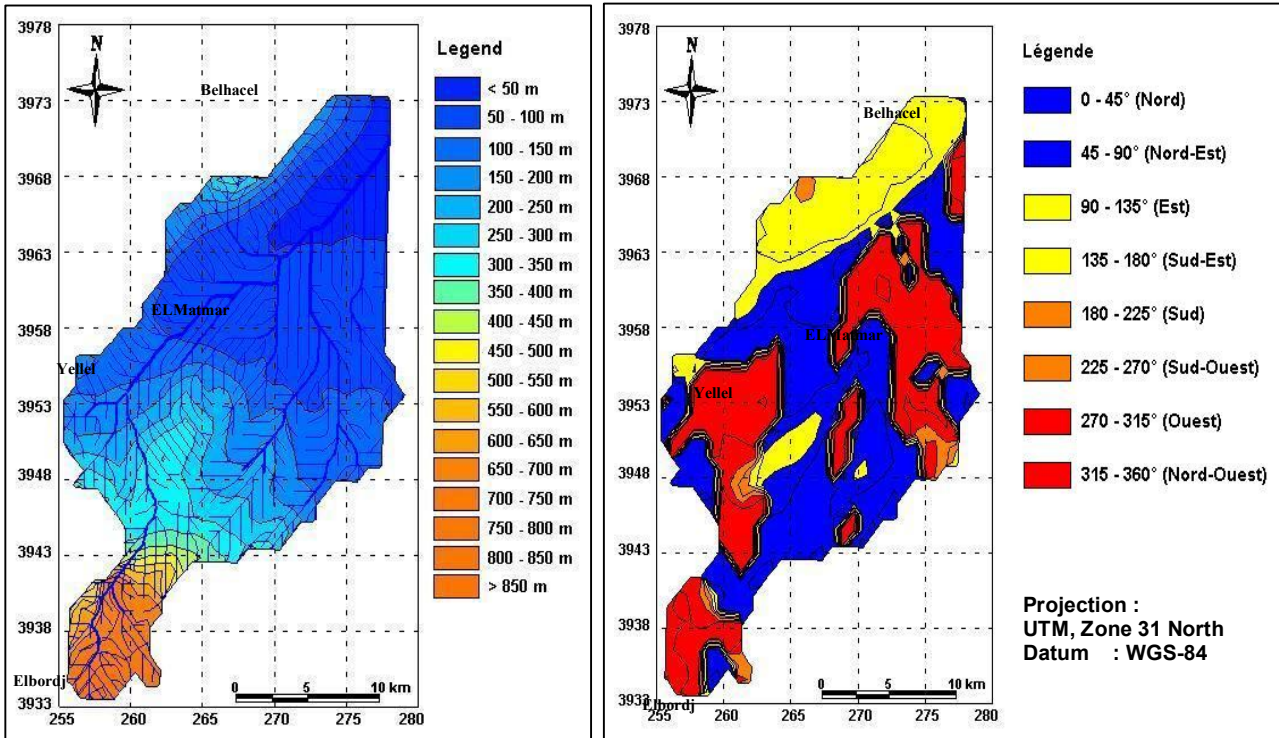
L'hypsométrie consiste à joindre les points d'égales altitudes. Dans le cas où elles sont rapprochées, la pente est raide. Au contraire lorsqu'elles sont éloignées la pente est faible et le terrain a un aspect plat.

La carte hypsométrique est obtenue à partir du MNT du bassin versant. Elle est la manière la plus facile et la plus répandue pour représenter et refléter le relief. (carte 11).

Le tableau suivant montre que la majorité du terrain du bassin versant est caractérisée par des altitudes basses qui varient entre 0 et 100 m. Une petite partie Sud est caractérisée par des altitudes très élevées plus de 800 m d'altitude.

Tableau 22 : Classes hypsométrique du bassin versant

Classe hypsométrique	Superficie (km ²)	Pourcentage (%)	Classe hypsométrique	Superficie (km ²)	Pourcentage (%)
0-50	42,51	14,19	450-500	3,03	0,48
50-100	159,0	32,02	500-550	3,92	0,62
100-150	86,89	15,36	550-600	4,71	0,75
150-200	58,45	10,53	600-650	5,47	0,87
200-250	42,06	8,25	650-700	9,24	1,46
250-300	34,72	5,50	700-750	11,10	1,76
300-350	36,28	5,75	750-800	4,41	0,70
350-400	7,048	1,12	800-850	0,62	0,10
400-450	3,34	0,53			



Carte 11 : Carte hypsométrique **Carte 12 : Carte des expositions**

L'influence de l'orientation des versants est déterminée par l'intermédiaire des facteurs tels que l'ensoleillement et l'humidité.

La carte des expositions (carte 12) nous permet de déterminer l'orientation du relief, le comportement de l'occupation des sols et surtout le réseau hydrographique. Huit (08) classes sont considérées (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO).

IV.1. Différents sous bassins versant et leurs caractéristiques

L'extraction des sous bassins versant se fait avec la fonction extract, les résultats obtenus sont les suivants

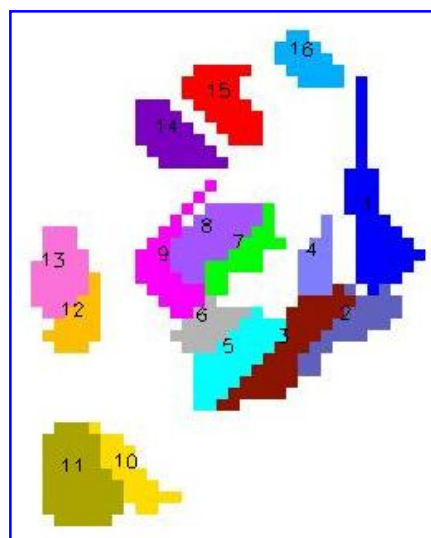
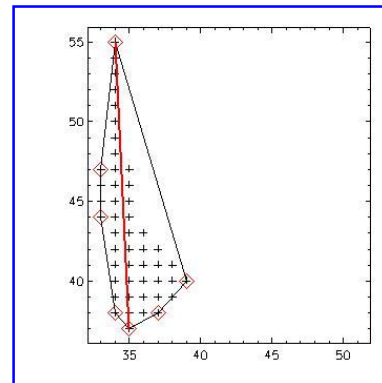
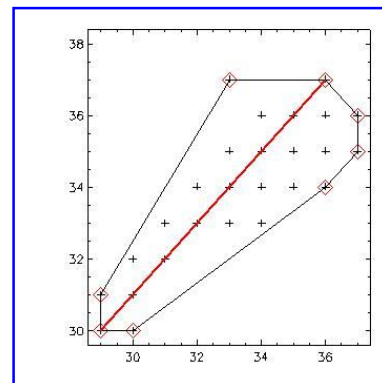


Figure 3 : Extraction des sous bassins versants de l'Oued Yelle

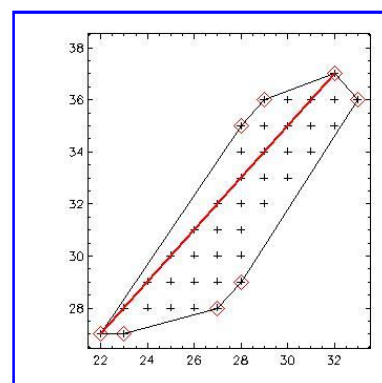
Données du bassin 1	
Superficie du bassin	33.4072 km ²
Superficie de coque	45.2350 km ²
Rapport de superficie	0.738524
Diamètre	16.691251 km
Indice de forme	0.34628276
Indice de forme coque (Hull)	0.40294751



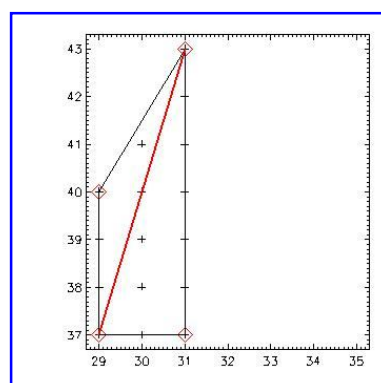
Données du bassin 2	
Superficie du bassin	18.1132 km ²
Superficie de coque	23.6863 km ²
Rapport de superficie	0.764713
Diamètre	8.3595282 km
Indice de forme	0.50911526
Indice de forme coque (Hull)	0.58219296



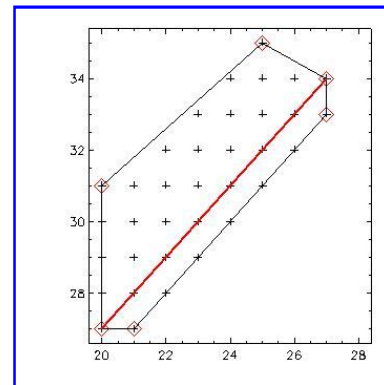
Données du bassin 3	
Superficie du bassin	27.8722 km ²
Superficie de coque	30.6598 km ²
Rapport de superficie	0.909081
Diamètre	11.942925 km
Indice de forme	0.44205373
Indice de forme coque (Hull)	0.46363227



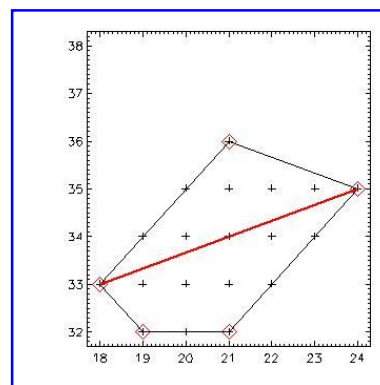
Données du bassin 4	
Superficie du bassin	11.1404 km ²
Superficie de coque	11.1404 km ²
Rapport de superficie	1.00000
Diamètre	5.7585966 km
Indice de forme	0.57960735
Indice de forme coque (Hull)	0.57960735



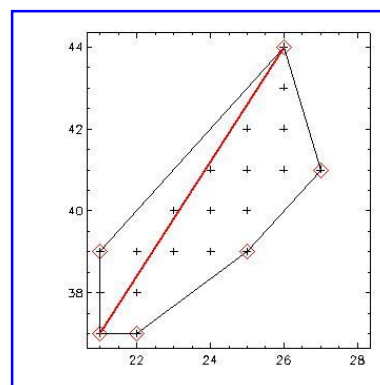
Données du bassin 5	
Superficie du bassin	24.3903 km ²
Superficie de coque	24.3903 km ²
Rapport de Superficie	1.00000
Diamètre	8.3605677 km
Indice de forme	0.59070797
Indice de forme Coque (Hull)	0.59070797



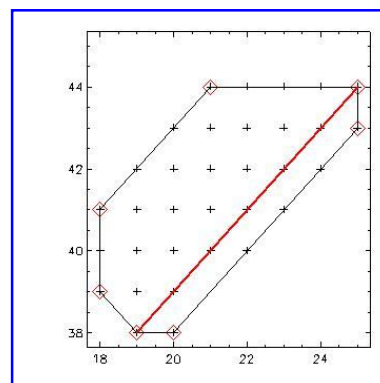
Données du bassin 6	
Superficie du bassin	13.2367 km ²
Superficie de coque	13.2367 km ²
Rapport de Superficie	1.00000
Diamètre	4.8866826 km
Indice de forme	0.74451932
Indice de forme Coque (Hull)	0.74451932



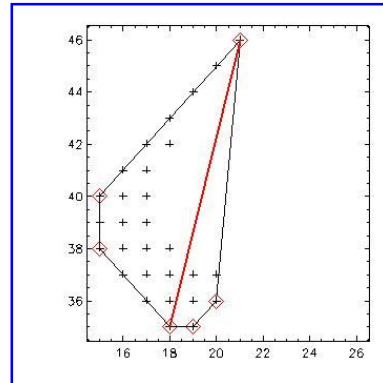
Données du bassin 7	
Superficie du bassin	13.9245 km ²
Superficie de coque	18.1016 km ²
Rapport de Superficie	0.769243
Diamètre	7.4985427 km
Indice de forme	0.49763780
Indice de forme Coque (Hull)	0.56738993



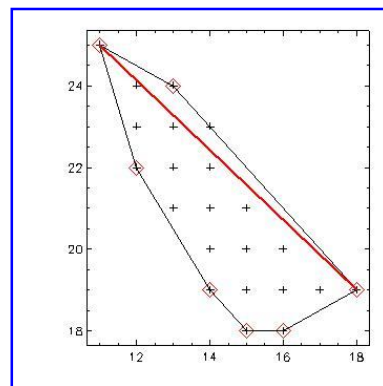
Données du bassin 8	
Superficie du bassin	22.9720 km ²
Superficie de coque	23.6683 km ²
Rapport de Superficie	0.970581
Diamètre	7.1630811 km
Indice de forme	0.66911272
Indice de forme Coque (Hull)	0.67917771



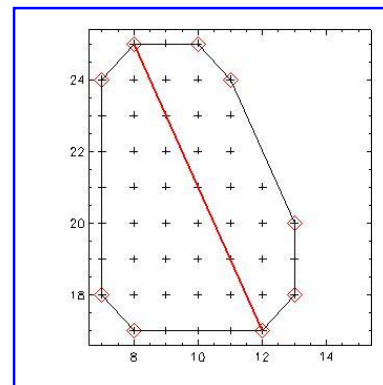
Données du bassin 9	
Superficie du bassin	20.1926 km ²
Superficie de coque	31.3315 km ²
Rapport de superficie	0.644482
Diamètre	10.437314 km
Indice de forme	0.43053348
Indice de forme coque (Hull)	0.53629239



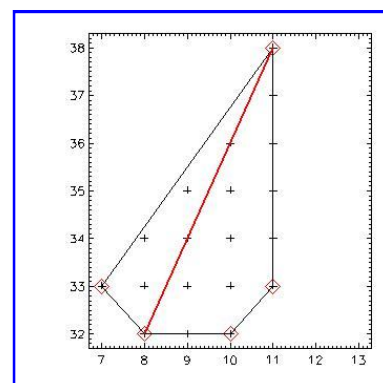
Données du bassin 10	
Superficie du bassin	15.3467 km ²
Superficie de coque	17.4395 km ²
Rapport de superficie	0.880000
Diamètre	7.6676426 km
Indice de forme	0.51091211
Indice de forme coque (Hull)	0.54463411



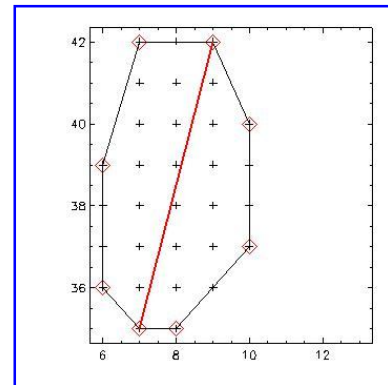
Données du bassin 11	
Superficie du bassin	34.8804 km ²
Superficie de coque	35.5779 km ²
Rapport de superficie	0.980395
Diamètre	8.0019985 km
Indice de forme	0.73806076
Indice de forme coque (Hull)	0.74540376



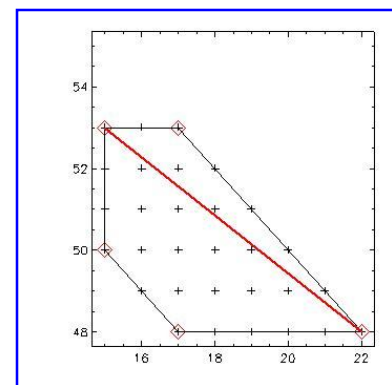
Données du bassin 12	
Superficie du bassin	13.2362 km ²
Superficie de coque	13.2362 km ²
Rapport de superficie	1.00000
Diamètre	6.0002577 km
Indice de forme	0.60633411
Indice de forme coque (Hull)	0.60633411



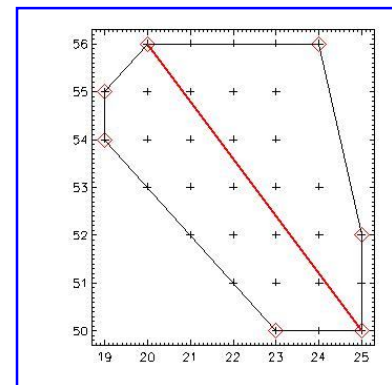
Données du bassin 13	
Superficie du bassin	21.5864 km ²
Superficie de coque	21.5864 km ²
Rapport de superficie	1.00000
Diamètre	6.6571553 km
Indice de forme	0.69791272
Indice de forme coque (Hull)	0.69791272



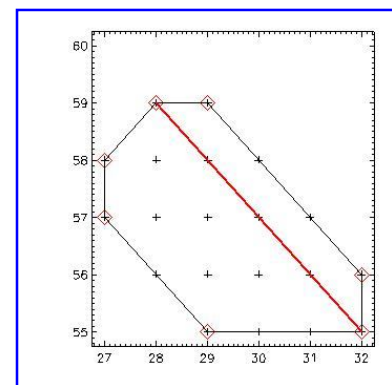
Données du bassin 14	
Superficie du bassin	20.8651 km ²
Superficie de coque	20.8651 km ²
Rapport de superficie	1.00000
Diamètre	7.0134314 km
Indice de forme	0.65129767
Indice de forme coque (Hull)	0.65129767



Données du bassin 15	
Superficie du bassin	22.2490 km ²
Superficie de coque	23.6393 km ²
Rapport de superficie	0.941184
Diamètre	6.7108544 km
Indice de forme	0.70287330
Indice de forme coque (Hull)	0.72450246



Données du bassin 16	
Superficie du bassin	13.9006 km ²
Superficie de coque	13.9006 km ²
Rapport de superficie	1.00000
Diamètre	4.7722117 km
Indice de forme	0.78126243
Indice de forme coque (Hull)	0.78126243



Après l'exportation des données vers MapInfo on obtient :

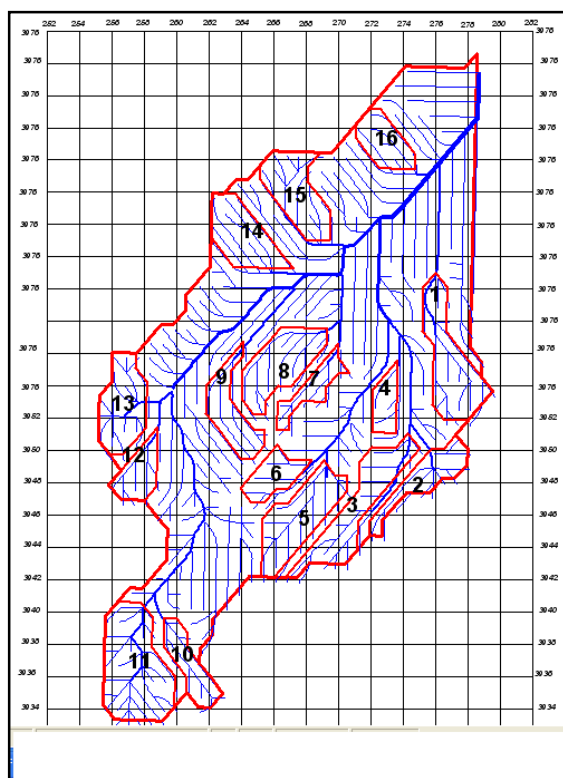


Figure 4 :Sous bassins versant de l'Oued Yellel

IV.2.Classification des sous bassins versant en fonction des caractères physiques

N° BV	Superficie	Pente	Couverture végétale	Lithologie	Longueur totale	Densité de drainage	Indice de forme	Perimètre
1	33.4072	0-3%	46.31	Carapaces calcaires	37.399	1.12	0.35	45.24
2	18.1132	0-3%	19.32	Carapaces calcaires	23.45	1.29	0.51	23.69
3	27.8722	0-3%	50.16	Carapaces calcaires	31.87	1.14	0.44	30.66
4	11.1404	0-3%	10.59	Carapaces calcaires	12.331	1.11	0.58	11.14
5	24.3903	0-3%	9.06	Carapaces calcaires	30.917	1.27	0.59	24.39
6	13.2367	0-3%	54.77	Carapaces calcaires	15.734	1.19	0.74	13.24
7	13.9245	0-3%	26.21	Carapaces calcaires	17.15	1.23	0.50	18.10
8	22.9720	0-3%	40.61	Carapaces calcaires	33.224	1.45	0.67	23.67
9	20.1926	0-3%	4.03	Carapaces calcaires	29.977	1.48	0.43	31.33
10	15.3467	0-3%	6.45	Argile sableuse	21.024	1.37	0.51	17.44
11	34.8804	0-3%	46.82	Calcaires Lithotamniées	49.365	1.42	0.74	35.58
12	13.2362	0-3%	7.59	Sable+Carapaces calcaires	15.862	1.20	0.61	13.24
13	21.5864	0-3%	16.45	Sable+Carapaces calcaires	29.628	1.37	0.70	21.59
14	20.8651	0-3%	11.29	Sable+Carapaces calcaires	31.507	1.51	0.65	20.87
15	22.2490	3-6%	1.71	Alluvions+Carapaces calcaires	29.968	1.35	0.70	23.64
16	13.9006	3-6%	6.98	Alluvions	20.067	1.44	0.78	13.90

Tableau 23 : Caractéristiques physiques et géomorphologiques des sous bassins versants

Après la codification de ces résultats on obtient le tableau suivant :

Tableau 24 :Caractéristiques physiques et géomorphologiques des sous bassins versants codifiées

N° BV	S	Per	P	Lit	IV	FV	RH1	RH2	RH3	LT	Dd
BV1	4	4	1	1	5	8	3	2	1	3	1
BV2	2	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1
BV3	3	3	1	1	6	1	2	1	1	3	1
BV4	2	1	1	1	2	6	1	1	1	1	1
BV5	3	2	1	1	1	1	3	1	1	3	1
BV6	2	2	1	1	6	1	1	1	1	1	1
BV7	2	2	1	1	3	1	1	1	1	1	1
BV8	3	1	1	1	5	1	3	1	1	3	2
BV9	3	2	1	1	1	1	2	1	1	2	2
BV10	2	3	1	2	1	7	2	1	1	2	1
BV11	4	1	1	3	5	7	4	1	1	4	2
BV12	2	2	1	4	1	1	1	1	1	1	1
BV13	3	1	1	4	2	6	3	1	1	2	1
BV14	3	1	1	4	2	6	3	1	1	3	3
BV15	3	2	2	5	1	1	3	1	1	2	2
BV16	2	3	2	6	1	1	2	1	1	2	2

IV.3.Classification hiérarchique ascendante par la méthode de WARD

Elle permet de regrouper les bassins versant dans des groupes homogènes à une ou plusieurs variables

Le graphique suivant montre qu'il y a 5 groupes homogènes .

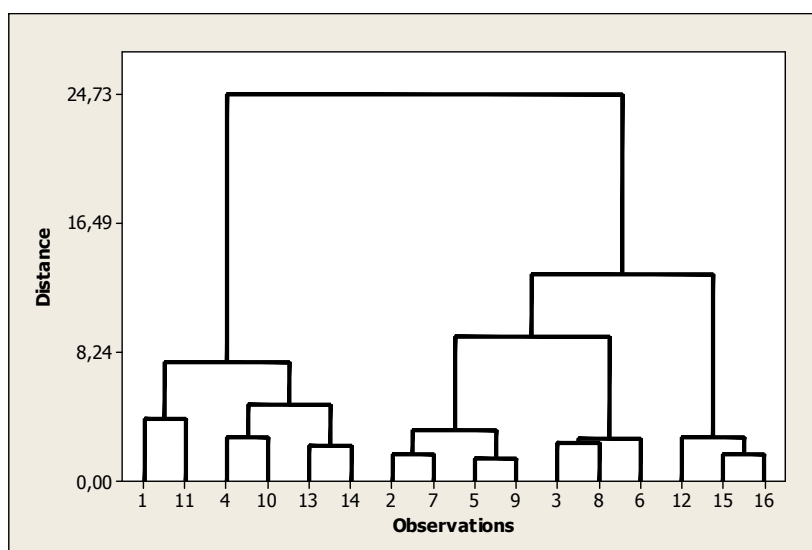


Figure 5 :Classification hiérarchique en fonction des sous bassins versant de l'Oued Yellel

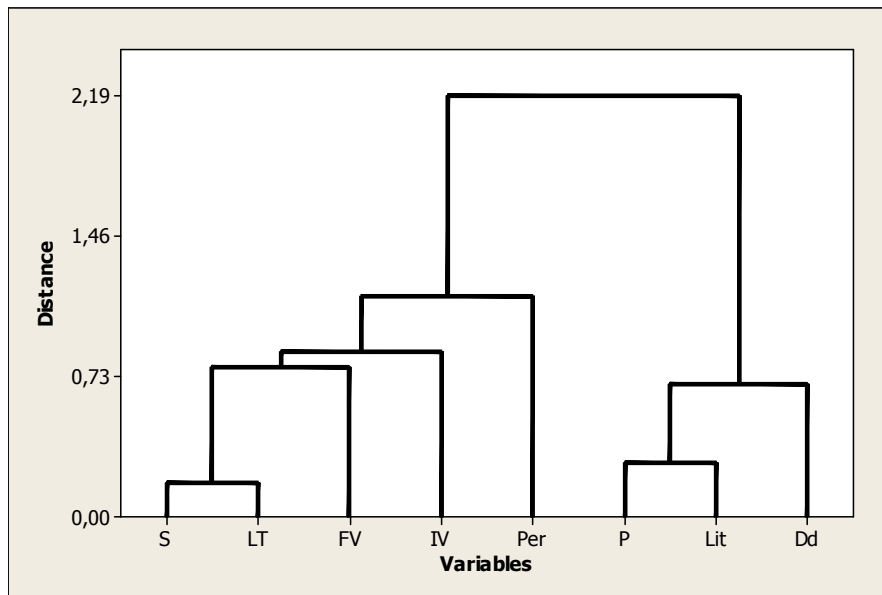


Figure 6 : Classification hiérarchique en fonction des caractéristiques physiques et géomorphologique

D'après le diagramme, on remarque que la lithologie et l'indice de végétation ont une grande influence sur la classification des bassins versant. Par contre, il n'y a aucune influence de la pente car le terrain de la zone d'étude est plat.

Conclusion

Dans cette partie, nous avons donné une idée générale sur le phénomène d'érosion dans le bassin méditerranéen et en Algérie. Ensuite, nous avons défini le phénomène d'érosion hydrique, apprécié ses types, ses différentes formes et ses causes majeures.

L'étude de cette partie, nous a permis de donner une présentation générale, de définir les caractéristiques climatiques et les caractéristiques de la pluviométrie qui est nécessaire à l'identification du premier paramètre érosif (érosivité des pluies). Ainsi, l'étude géologique et pédologique est très importante pour l'étude d'érodabilité des sols qui est le deuxième paramètre à identifier. Ensuite, l'identification du type et l'état du couvert végétal est très importante pour l'intégration de l'information du taux de recouvrement végétal dans l'appréciation des risques actuels d'érosion.

Enfin, nous avons choisi le sous bassin versant de l'Oued Yellel qui nous a permis de délimiter les systèmes érosifs, et de visualiser les risques à l'échelle où se déroule ce processus, en identifiant au fur et à mesure ses caractéristiques générales, son occupation du sol et ses formes topographiques qui lui sont empreintes.

PARTIE II

OUTILS, METHODOLOGIE,
RESULTATS ET DISCUSSIONS

CHAPITRE I.

CARACTÉRISATION DES SOLS

I. Introduction

L'étude des sols est indispensable dans de nombreux domaines de planification afin de permettre une meilleure gestion de l'espace. Ainsi, il est nécessaire de disposer d'informations sur les propriétés des sols et leur organisation spatiale.

II. Echantillonnage

Il existe plusieurs méthodes de recueil de l'information. En se déplaçant le long des transects prévus, le prospecteur choisit au mieux les emplacements pour le recueil de l'information. En fonction directe de ce qu'il observe, il doit être attentif à tous les changements susceptibles d'entraîner une modification des sols.

Pour l'échantillonnage, le prospecteur peut raisonner :

par rapport à la géologie

par rapport aux formes du relief

par rapport à l'occupation des sols

par rapport à la végétation naturelle (Baise et Jabiol, 1995)

Cette méthode de prospection dépend de l'efficacité du pédologue cartographe.

Nous avons choisi l'échantillonnage de la méthode par rapport à l'occupation des sols. La figure suivante montre les 39 stations que nous avons choisies :

Tableau 25 : Coordonnées des stations (WGS84)

N° station	X (m)	Y (m)	N° station	X (m)	Y (m)
1	273506	3968025	20	277140	3950607
2	275941	3960887	21	269200	3957386
3	273615	3955413	22	263923	3950857
4	273095	3952886	23	278465	3974381
5	276390	3957020	24	277753	3971798
6	277911	3952266	25	269060	3950276
7	265709	3942464	26	261631	3945793
8	265138	3946788	27	262680	3957666
9	266769	3951553	28	272208	3959052
10	265239	3952319	29	265306	3960322
11	264118	3956476	30	265332	3964773
12	266934	3961301	31	256148	3955379
13	269303	3963098	32	256544	3950648
14	258824	3951130	33	260078	3953583
15	260921	3938331	34	263341	3941193
16	257806	3940544	35	256544	3933685
17	274321	3950905	36	256923	3934614
18	277141	3954280	37	276604	3965067
19	270851	3947068	38	272097	3970064

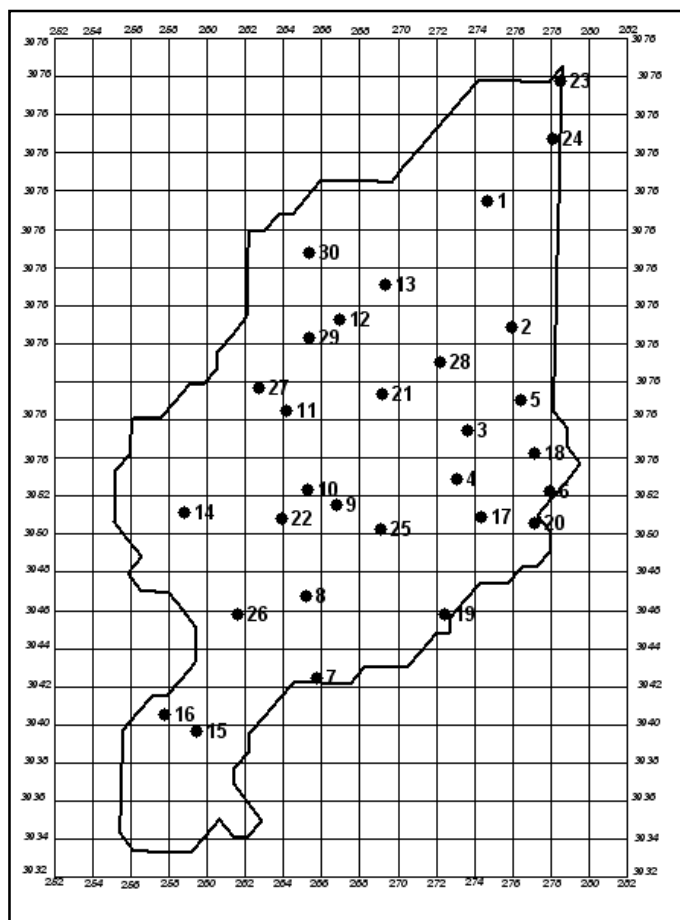


Figure 7: Stations d'échantillonnage

II.1. Plan d'échantillonnage

L'échantillonnage du sol consiste en des prélèvements du sol dans une parcelle, dans le but d'obtenir une quantité représentative de la concentration en éléments fertilisants. Il faut exiger les analyses du sol parce qu'elles constituent le meilleur moyen dont disposent les agriculteurs pour déterminer les quantités précises d'éléments nécessaires aux cultures.

Quels que soient les cas, l'opération "prélèvement des échantillons" est importante ainsi que leur analyse puisque la valeur de cette dernière repose entièrement sur la valeur de la première.

L'échantillonnage doit donc être effectué avec une rigueur extrême selon des règles et conventions bien établies.

II.2. Modèle d'étiquette

Lieu.....
..
Date.....
....
Profil
n°.....
Horizon
type.....
Profondeur
.....
Remarque.....
...
N°
d'ordre.....

II.3. Conditionnement de l'échantillon :

Conditionner l'échantillon dans un sac plastique épais (éviter les sacs qui se percent facilement) fermé hermétiquement (lien, nœud, éviter les agrafes), résistant à l'humidité et étanche à l'eau et à la poussière.

Stocker au frais (<10°C) et à l'obscurité dès que possible (glacière sur le terrain puis frigo) et acheminer sous 2 à 3 jours vers le laboratoire.

Joindre impérativement une fiche de renseignement à chaque échantillon en donnant toute indication disponible et en garder un double.

III. Résultats des analyses des sols

III.1. Triangle de texture

Les compositions granulométriques sont réduites à trois fractions (A, Lt, St) exprimées selon le mode « 4 » (donc somme de ces trois fractions =100 %). Il en existe de nombreux modèles mais le principe en est toujours le même : le triangle doit être équilatéral ou rectangle, on positionne la composition granulométrique selon 2 des 3 fractions.

On peut citer le diagramme USDA (12 classes), le diagramme de la carte mondiale des sols FAO (3classes), le diagramme belge (7 classes), ainsi que les triangles anglais, néerlandais, allemand,

Dans notre travail, on utilise le diagramme de textures de l'USDA.

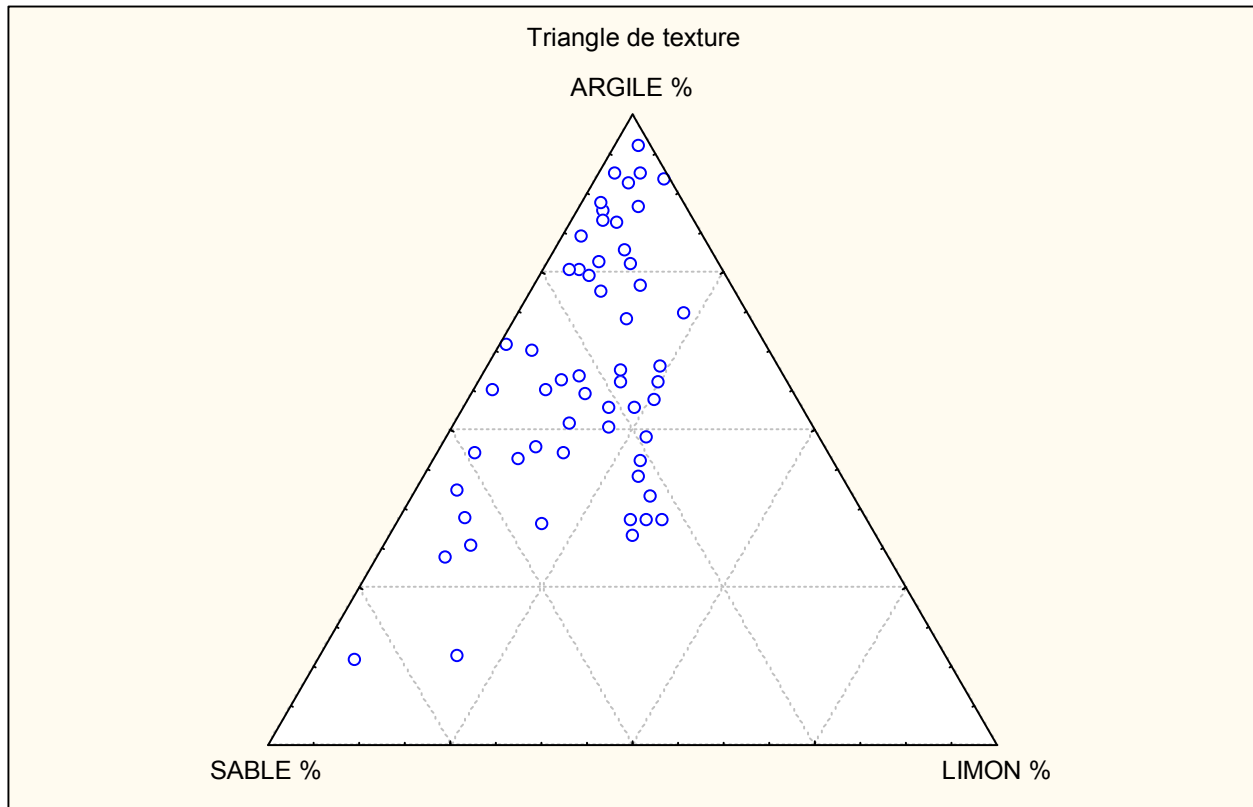


Figure 8 : Composition de la fraction granulométrique de la zone d'étude
Le triangle des textures nous montre que les profils de notre zone ont trois positions allant de la texture dominante à la texture la moins dominante.

- une série de profils de texture argileuse (A).
- une série de profils de texture argilo-sablonneuse (AS).
- une série de profils de texture sablonneuse (S) représentée par deux profils.

III.1.1. Variabilité de composition granulométrique

Le diagramme de la boîte à moustache nous permet de déterminer la dispersion de la composition granulométrique. La zone d'étude est caractérisée par la dominance de la fraction argileuse avec une moyenne de 45 % et un taux de sable qui varie entre 7 et 44 %. Pour la fraction limoneuse, elle est faible, de moyenne 9 %

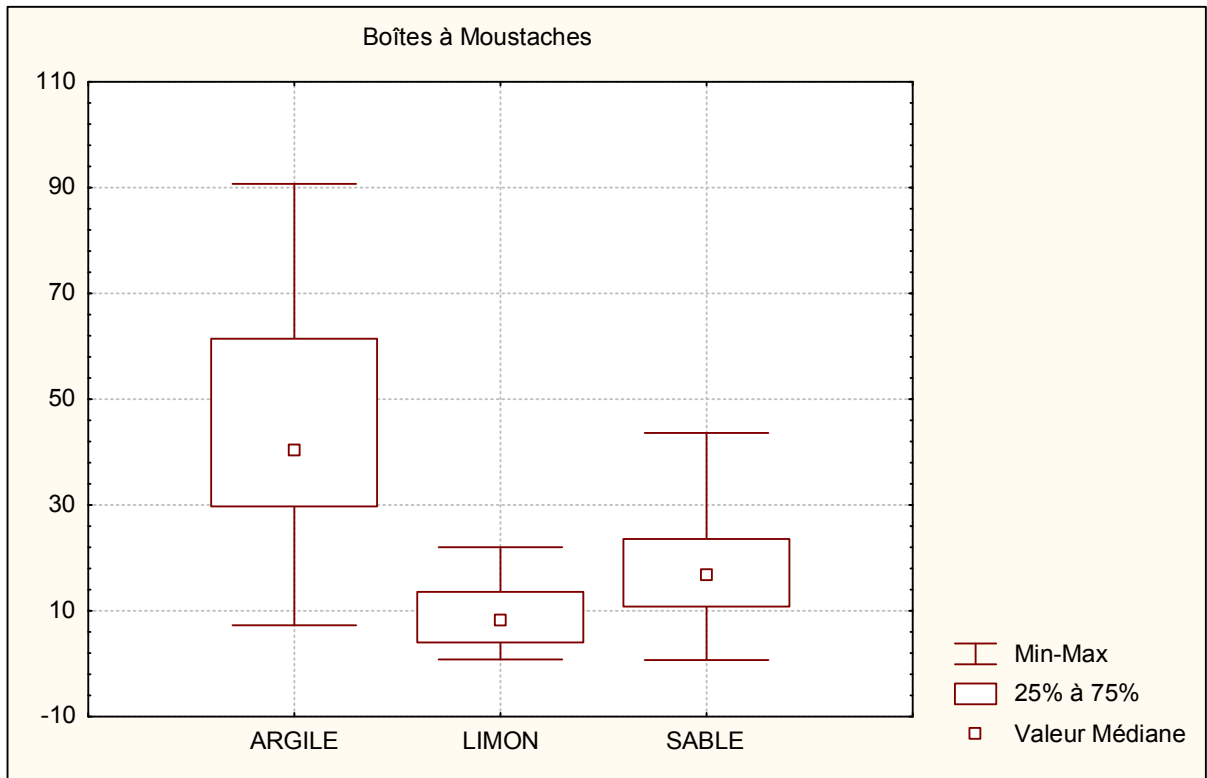
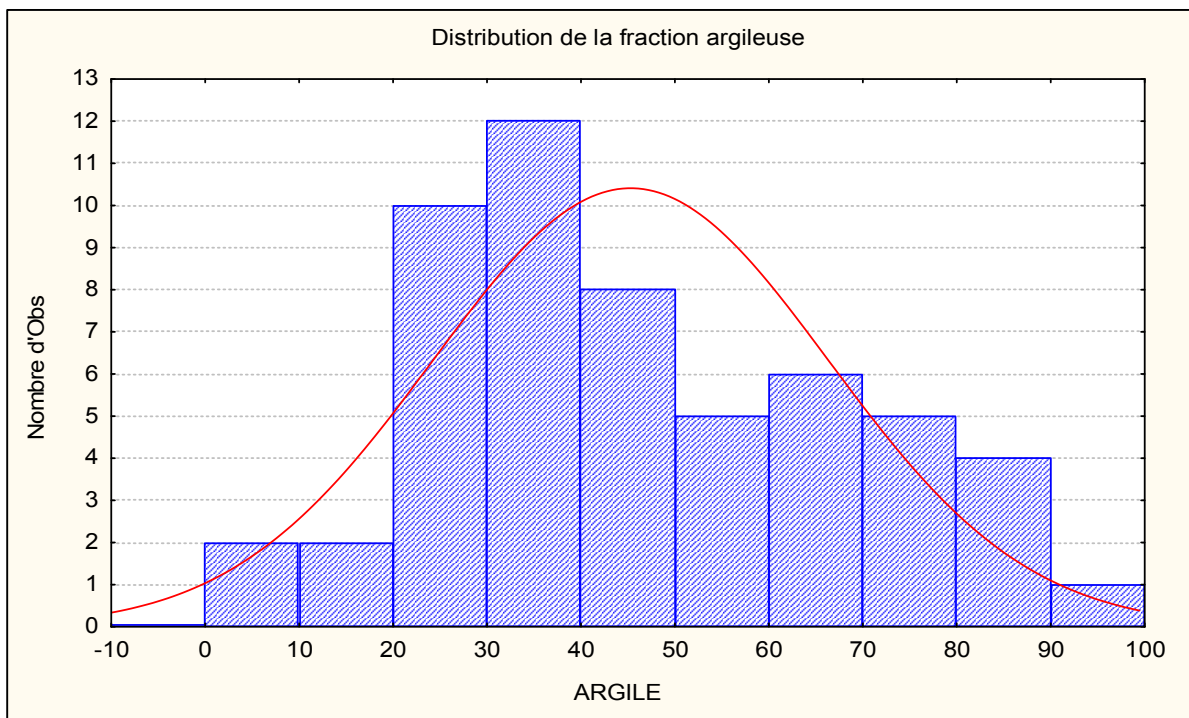


Figure 9: Variabilité de la composition granulométrique

III.1.2. Variabilité de la fraction argileuse

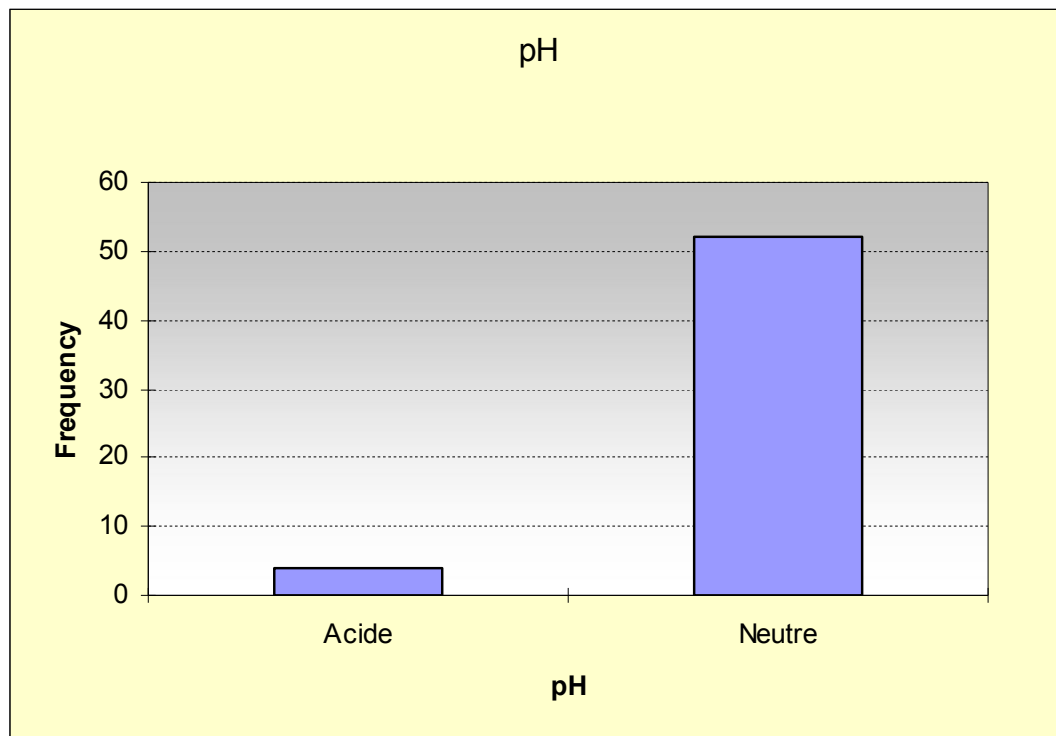
La courbe théorique de la fraction argileuse est étalée autour de la moyenne avec un écart-type de 21 et une variance de 444 qui explique l’hétérogénéité de la fraction argileuse caractérisée par une étendue de 83 %.



Graphique 12 : Distribution de l’argile dans la zone d’étude

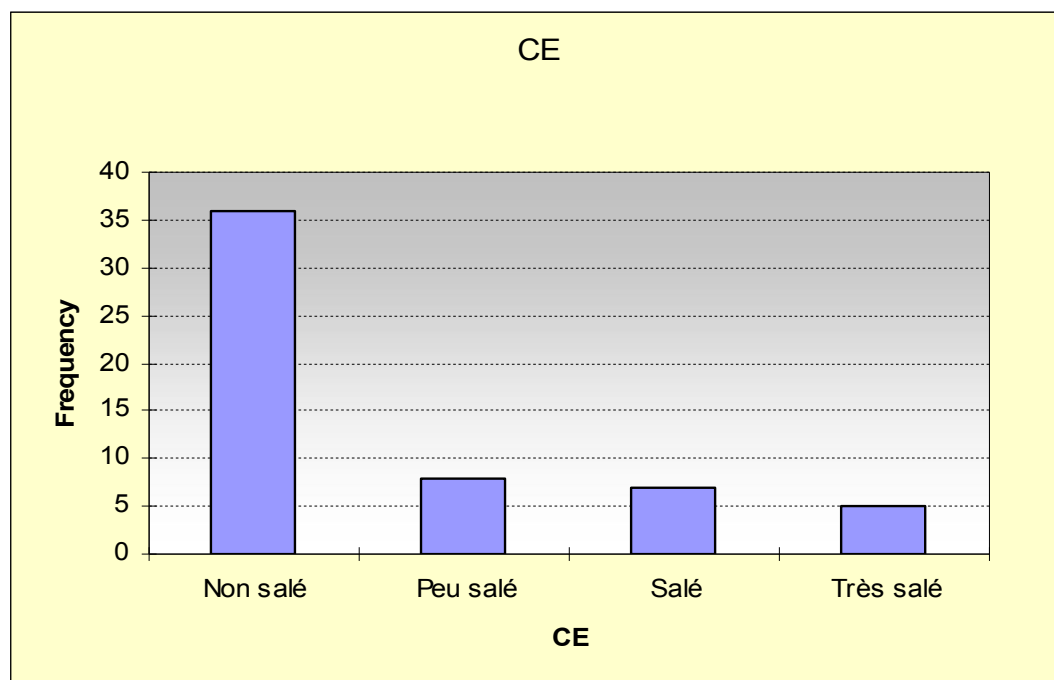
III.2. Potentiel Hydrogène pH

Les valeurs du pH eau présente une moyenne neutre, presque la totalité des profils sont des sols neutres sauf pour les profils 32, 24 et 01.



Graphique13 : Classification des valeurs de pH

III.3. Conductivité électrique

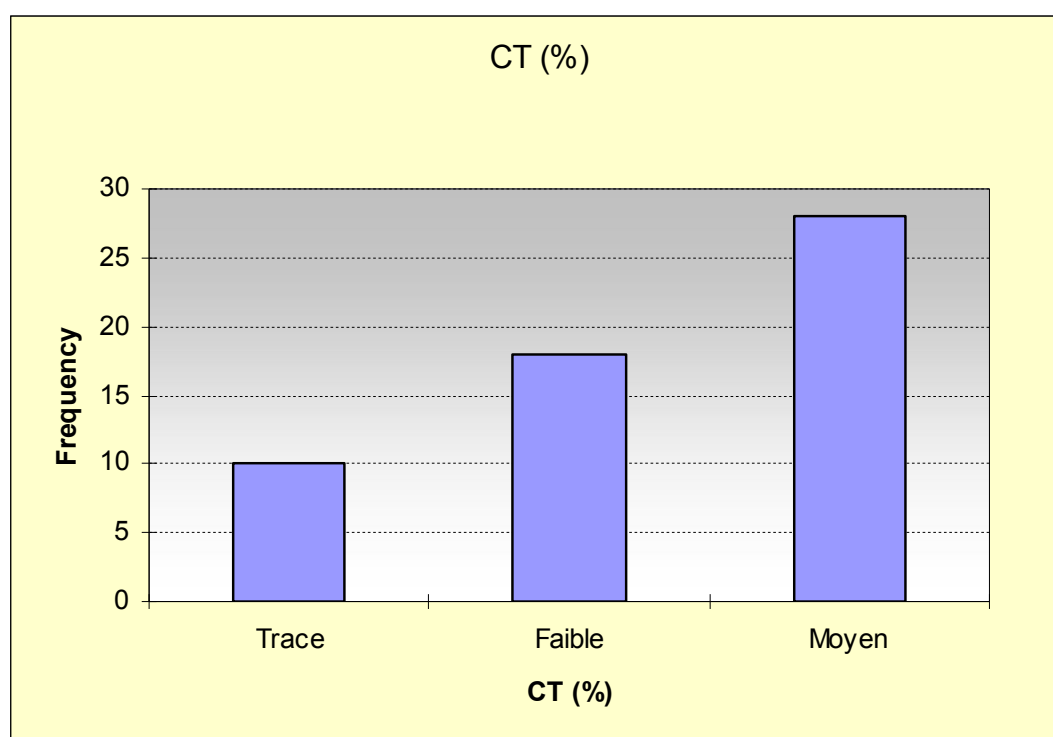


Graphique14: Classe de conductivité électrique

La majorité des sols de la zone d'étude sont des sols non salés qui représentent 64 % des profils, ils sont localisés dans le Sud de la zone d'étude tandis que la zone Nord est caractérisée par des sols salés et très salés.

CE	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Non salé	36	64,29	64,29
Peu salé	8	14,29	78,57
Salé	7	12,50	91,07
Très salé	5	8,93	100,00

III.4. Calcaire total



Graphique15: Classification de teneur en calcaire total de la zone

Le calcaire total est représenté en trois classes :

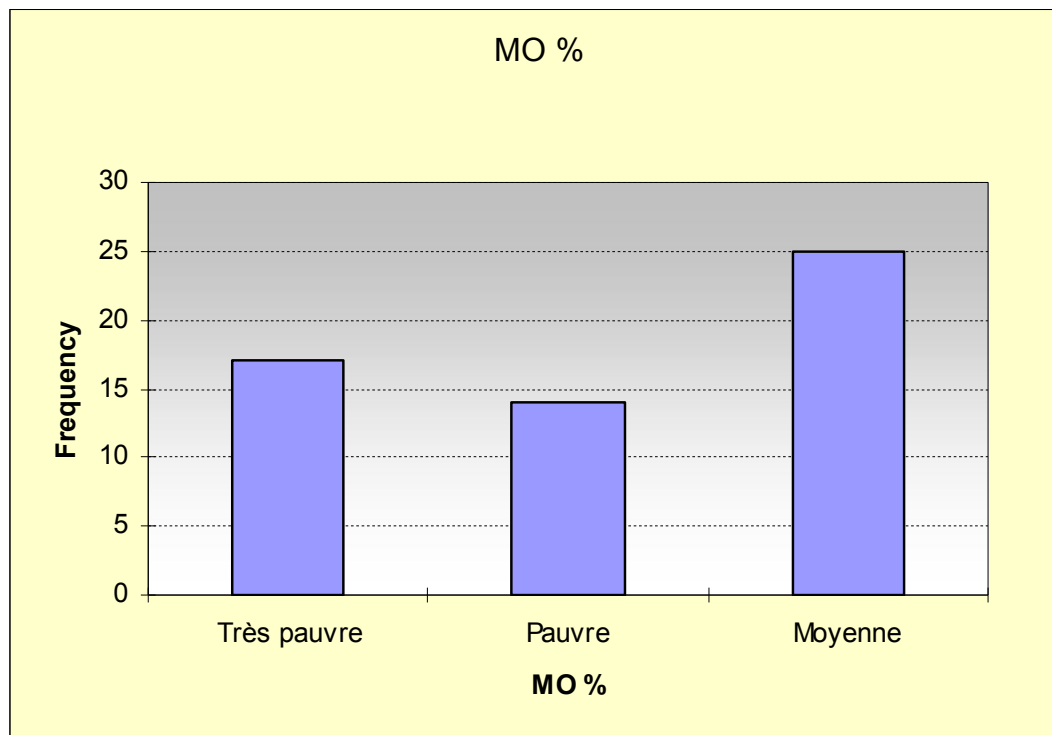
Teneur en trace : 10 profils sont localisés avec un pourcentage de 17,86 %.

Teneur faible : 18 profils distingués.

Teneur moyen : la moitié des profils prélevés.

CT (%)	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Trace	10	17,86	17,86
Faible	18	32,14	50,00
Moyen	28	50,00	100,00

III.5.Matière organique



Graphique16: Classification de teneur en matière organique

La classification de la matière organique montre 03 groupes :

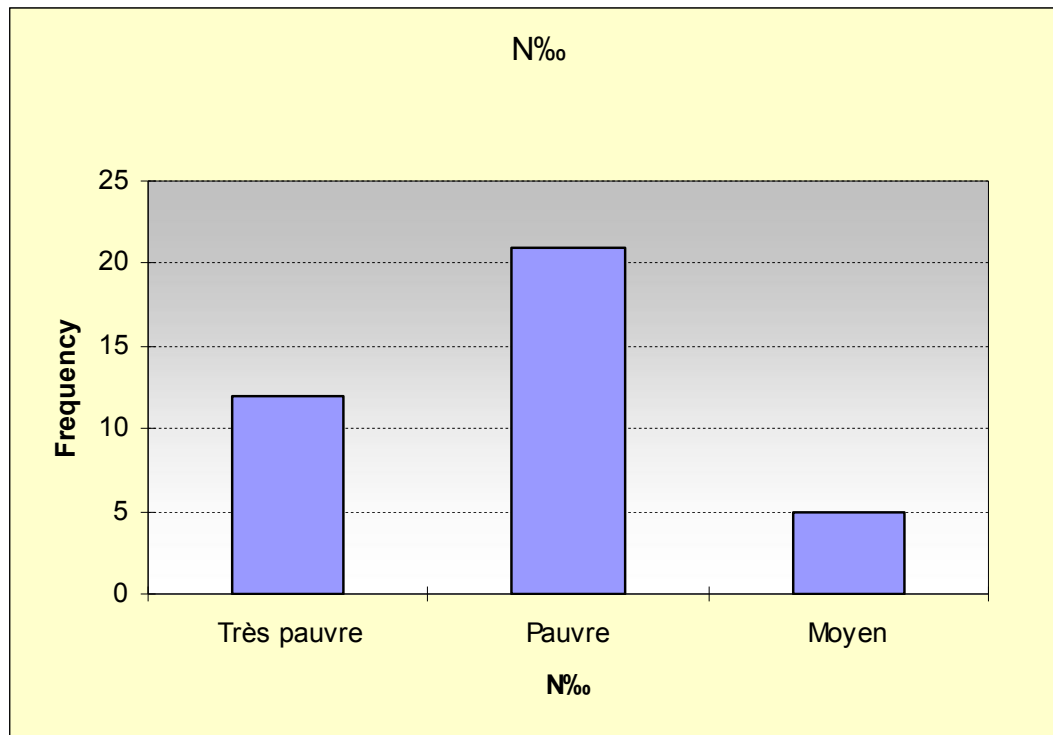
Un groupe de matière organique très pauvre représente 30 % des profils.

Un groupe caractérisé par des valeurs moyennes de matière organique représente 44 % des profils.

Un groupe intermédiaire pauvre en matière organique avec un pourcentage de 25%.

MO %	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Très pauvre	17	30,36	30,36
Pauvre	14	25,00	55,36
Moyenne	25	44,64	100,00

III.6. Azote total



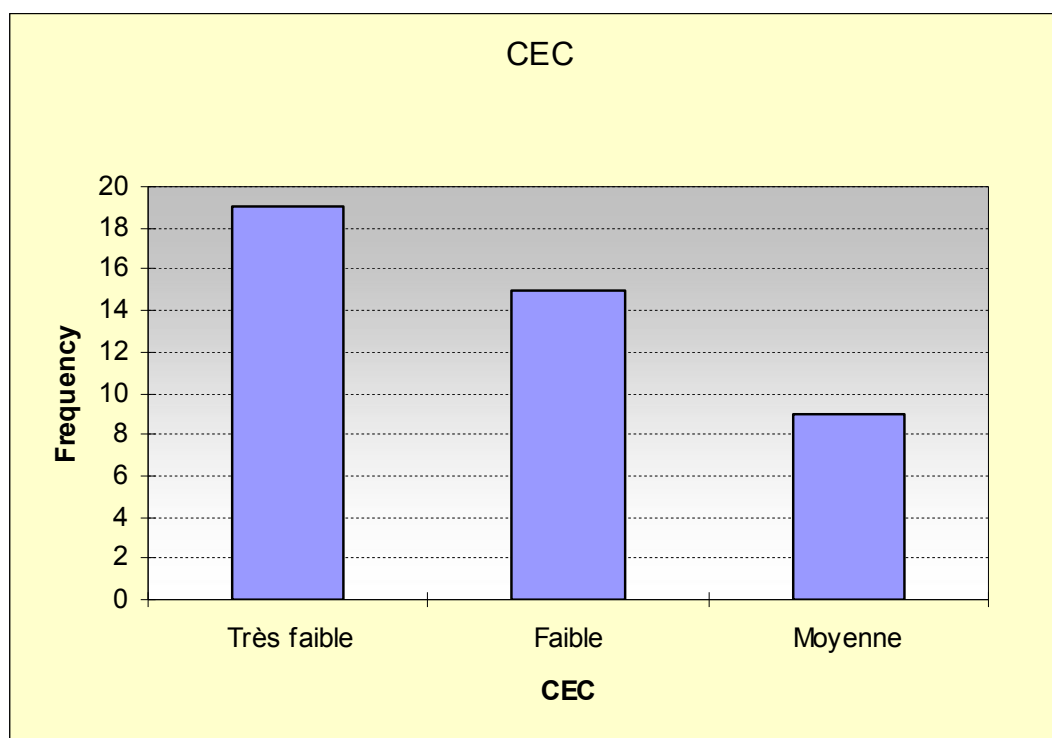
Graphique17 : Distribution de classes d'azote total

Les profils sont pauvres en azote total à part quelques profils qui présentent un taux d'azote moyen.

N‰	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Très pauvre	12	31,58	31,58
Pauvre	21	55,26	86,84
Moyen	5	13,16	100,00

III.7. Capacité d'échange cationique

La capacité d'échange cationique permet de déterminer la fertilité du sol. D'après l'histogramme, les sols sont caractérisés par des valeurs de capacité d'échange très faible à faible ce qui veut dire que les sols sont faiblement fertiles



Graphique18: Capacité d'échange cationique dans la zone d'étude

CEC	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Très faible	19	44,19	44,19
Faible	15	34,88	79,07
Moyenne	9	20,93	100,00

IV. Analyse en composante principale (ACP)

La plus simple manière d'expliquer l'analyse en composantes principales (ACP) est purement géométrique. L'ACP repose sur le calcul de coefficients de corrélation entre des variables, qui sont descriptives d'objets dont on souhaite synthétiser les interrelations.

Les principaux objectifs des techniques d'analyse factorielle sont :

- de réduire le nombre de variables.
- de détecter la structure des relations entre variables, ce qui revient à classer les variables.

Par conséquent, l'analyse factorielle est appliquée comme une méthode de synthèse des données (réduction), ou de détection de structure.

IV.1. Matrice de corrélation

	% A	% LF	% LG	% SF	% SG	MO	pH	C.E	CT	% CA	N‰	CEC
% A	1											
% LF	-0,53	1										
% LG	-0,10	-0,09	1									
% SF	-0,75	-0,09	-0,09	1								
% SG	-0,71	0,35	-0,22	0,52	1							
MO %	-0,53	0,11	0,21	0,54	0,11	1						
Ph	0,23	0,34	0,19	-0,59	-0,16	-0,45	1					
C.E	0,48	-0,20	0,12	-0,40	-0,57	0,06	-0,20	1				
CT (%)	0,86	-0,50	-0,23	-0,58	-0,53	-0,61	0,15	0,47	1			
% CA	0,88	-0,52	-0,27	-0,59	-0,50	-0,59	0,11	0,32	0,94	1		
N‰	0,52	-0,19	-0,38	-0,34	-0,34	-0,47	0,27	0,17	0,62	0,61	1	
CEC	-0,44	-0,01	0,00	0,52	0,35	0,32	-0,48	-0,31	-0,53	-0,43	-0,37	1

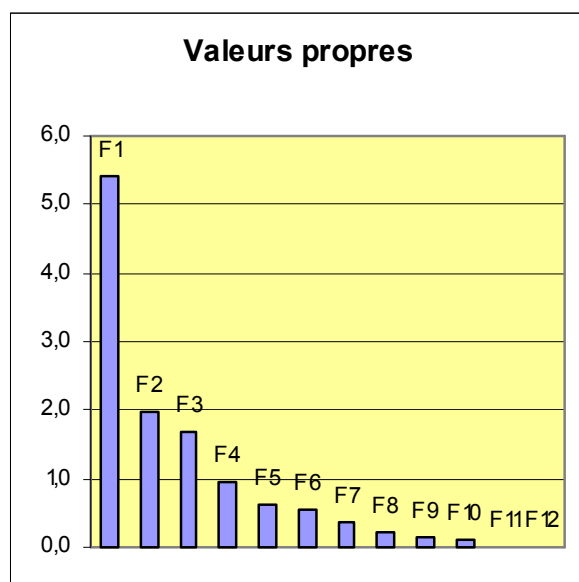
IV.2. Valeurs propres et vecteurs propres

Les valeurs propres permettent de quantifier la part de l'information expliquée par chaque axe, elle mesure donc le degré de corrélation le plus élevé entre toutes les variables. Alors que le vecteur propre est la projection toujours perpendiculaire des vecteurs variables sur l'axe principal.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12
Valeur propre	5,40	1,96	1,67	0,95	0,62	0,55	0,37	0,22	0,15	0,10	0,01	0,00
% variance	45,02	16,31	13,89	7,91	5,14	4,59	3,07	1,84	1,28	0,85	0,12	0,00
% cumulé	45,02	61,33	75,22	83,12	88,26	92,85	95,92	97,76	99,04	99,88	100	100

IV.3. Choix de nombre de facteurs :

Le nombre de facteur à retenir est une décision purement arbitraire. Toutefois, il existe des lignes directrices habituellement utilisées, et qui, en pratique donnent les meilleurs résultats parmi lesquelles le critère de (**Kaiser, 1960**) le plus couramment utilisé qui ne prend en compte que les facteurs ayant une valeur propre supérieure à 1 et le test des valeurs propres proposé par (**attell, 1966**) qui suggère de trouver l'endroit où les valeurs propres dans un simple tracé linéaire semblent s'équilibrer à droite de ce tracé. A droite de ce point, on risque de ne trouver que des "éboulis factoriels".



Graphique19: Tracé des valeurs propres

Selon la règle de Kaiser et d'après le test de Cattell représentant le tracé des valeurs propres quatre axes représentent et synthétisent au mieux l'information dans notre étude. En effet la part de l'information expliquée par le premier, le deuxième, le troisième et le quatrième axe est de 83.13 %.

IV.4. Etude des variables

Tableau 26 : Part de chaque variable dans la construction du facteur

Var	Facteur 1			Facteur 2			Facteur 3			Facteur 4		
	COR	COS2	CTR	COR	COS2	CTR	COR	COS2	CTR	COR	COS2	CTR
% A	0,94	0,89	16,50	-0,16	0,03	1,28	0,05	0,00	0,17	-0,10	0,01	1,03
% LF	-0,40	0,16	3,00	0,71	0,51	26,00	0,10	0,01	0,62	0,48	0,23	24,74
% LG	-0,13	0,02	0,31	0,01	0,00	0,00	0,81	0,66	39,79	-0,47	0,22	23,64
% SF	-0,77	0,59	10,89	-0,39	0,15	7,87	-0,30	0,09	5,51	-0,05	0,00	0,28
% SG	-0,68	0,46	8,50	0,25	0,06	3,14	-0,47	0,22	13,43	-0,04	0,00	0,15
MO %	-0,64	0,41	7,50	-0,39	0,15	7,79	0,37	0,14	8,23	0,30	0,09	9,75
pH	0,35	0,12	2,21	0,84	0,70	35,80	0,21	0,04	2,53	-0,20	0,04	4,12
C.E	0,49	0,24	4,40	-0,42	0,18	9,07	0,46	0,22	12,97	0,49	0,24	25,11
CT (%)	0,94	0,88	16,21	-0,16	0,02	1,24	-0,17	0,03	1,72	0,00	0,00	0,00
% CA	0,91	0,82	15,27	-0,17	0,03	1,47	-0,24	0,06	3,56	-0,09	0,01	0,91
N‰	0,67	0,45	8,27	0,10	0,01	0,48	-0,39	0,15	9,12	0,17	0,03	3,02
CEC	-0,61	0,38	6,95	-0,34	0,11	5,85	-0,20	0,04	2,36	-0,26	0,07	7,25

Partant de ces définitions et d'après les tableaux suivants, les variables les mieux représentées sur les différents axes dans un ordre décroissant sont :

Axe1 : Argile

	COS2	CTR
% A	0,89	16,50
CT (%)	0,88	16,21
% CA	0,82	15,27
% SF	0,59	10,89
% SG	0,46	8,50
N‰	0,45	8,27
MO %	0,41	7,50

Axe 2 : pH

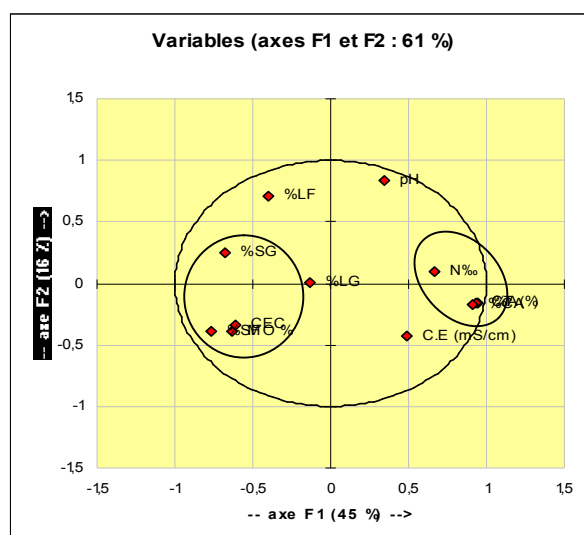
	COS2	CTR
pH	0,70	35,80
% LF	0,51	26,00

Axe3 : Limon grossier

	COS2	CTR
% LG	0,66	39,79

Axe 4 : Conductivité

	COS2	CTR
C.E (mS/cm)	0,24	25,11

IV.5. Représentation graphique**Plan 1 – 2****Figure 10 : Coordonnées des variables sur l'axe 1 – 2**

L'axe 1 : oppose l'argile, le calcaire total et le calcaire actif avec le sable grossier, le sable fin et la matière organique.

L'axe 2 : oppose les trois variables : pH et le limon fin

Plan 2 – 3

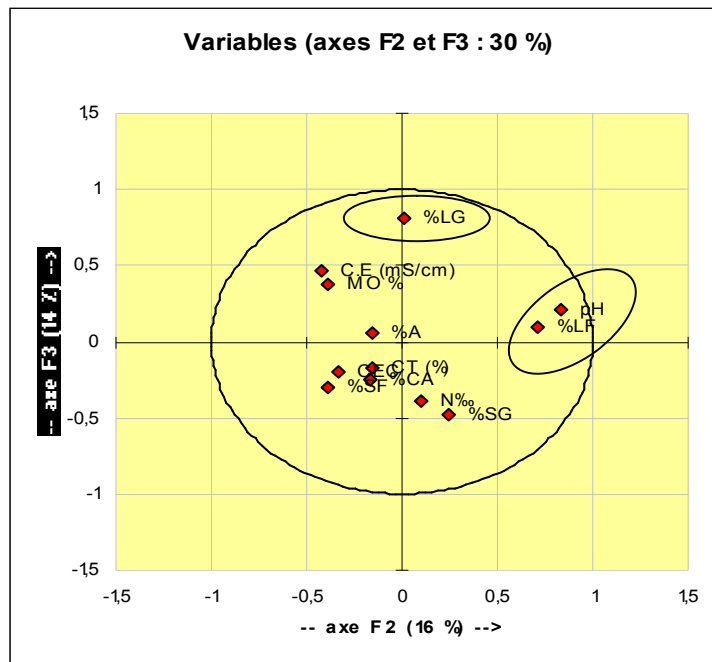


Figure 11 : Structures des variables sur l'axe 2 – 3

Le plan 2 – 3 explique 30 % de l'information, la distribution montre que l'axe 3 est formé essentiellement de limon grossier.

Plan 1 – 4

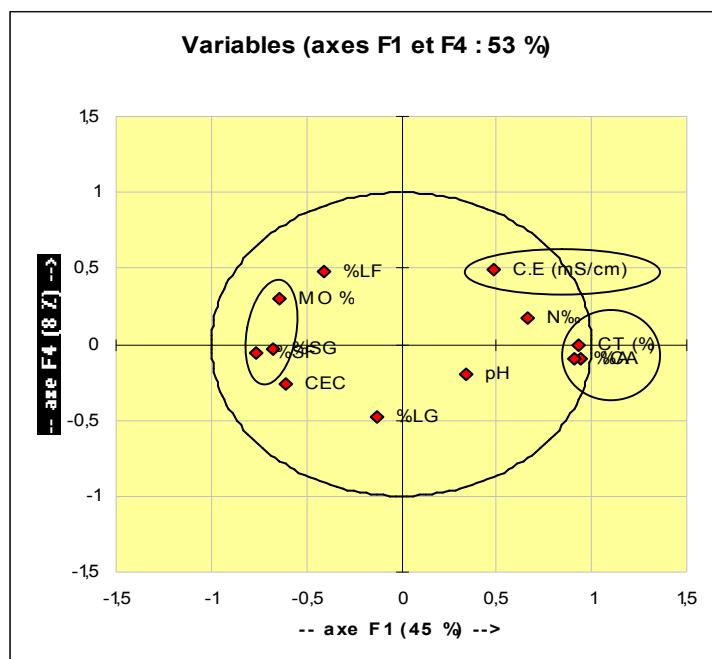


Figure 12 : Structures des variables sur l'axe 1 – 4

Le plan 1 – 4 explique à lui seul 53 % de l'information, il montre que l'axe 4 est formé de la conductivité électrique.

IV.6. Etudes des individus

La disposition des individus sur les axes est détaillée dans le tableau (annexe) qui comporte en plus des colonnes QLT, COORD, COS^2 , CTR, une autre colonne intéressante qui est l'inertie relative à l'individu (INR) loin de vouloir entrer dans les explications mathématiques. On dira simplement que l'inertie représente les valeurs des fréquences relatives qui peuvent être reconstruites à partir d'une ou de plusieurs dimensions reproduisant un certain pourcentage de la valeur totale du Chi^2 .

Axe 1

Individus	COS^2	CTR
P37, P22, P11, P39 Bien représentés	68.47%, 62.92%, 62.6%, et 61.14%	3.18%, 19.36%, 1.28%, 3.22%
P34, P21, P32, P41, P2, P15, P44, P40, P3, P36, P4, P5, P25 Moyennement représentés	57.4%, 56.62%, 56.35%, 55.59%, 54.7%, 54.53%, 54.29%, 51.57%, 50.16%, 49.5%, 47.19%, 46.46%, 43.34%	3.81%, 7.91%, 4.76%, 4.79%, 4.78%, 4.56%, 2.38%, 3.26%, 1.98%, 2.71%, 7.06%, 1.69%, 0.72%
P45, P33, P35, P31, P1 médiocrement représentés	39.9%, 38.5%, 38.15%, 29.82%, 11.52%	3.34%, 2.29%, 3.66%, 0.49%, 0.32%

Axe 2

Individus	COS^2	CTR
P43, P30 bien représentés	73.96%, 69.97%	4.03%, 9.36%
P23, P6 Moyennement représentés	42.76%, 40.15%	27.64%, 1.89%
P8, P29, P27 médiocrement représentés	34.61%, 32.94%, 22.99%	2.73%, 2.96%, 1.79%

Axe 3

Individus	COS^2	CTR
P17, P19 bien représentés	78.53%, 65.02%	7.1%, 6.1%
P20, P14 Moyennement représentés	51.37%, 42.38%	2.87%, 3.57%
P42, P7, P18 médiocrement représentés	36.75%, 34.02%, 28.76%	6.57%, 4.17%, 2.55%

Axe 4

Individus	COS ²	CTR
P28 moyennement représentés	42.32%	29.31%
P9, P24, P16, P12 médiocrement représentés	35.05%, 26.71%, 25.94%, 22.52%	7.71%, 1.86%, 9.13%, 3.12%

Plan 1 – 2

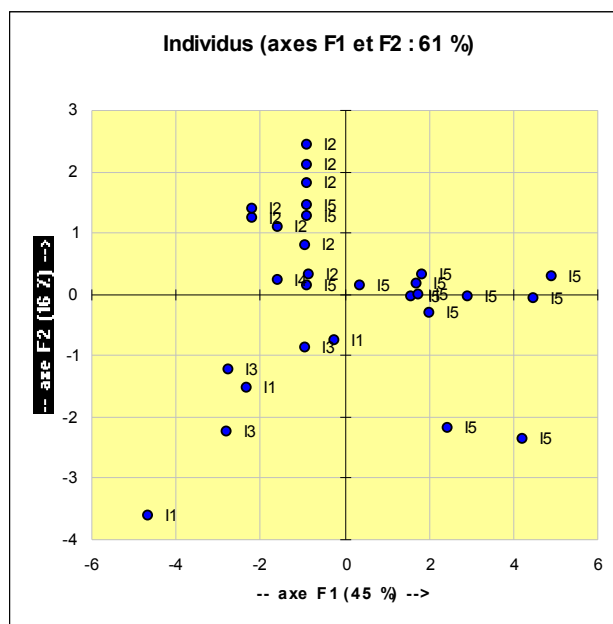


Figure 13 : Position des individus sur le plan 1 – 2

Plan 2 – 3

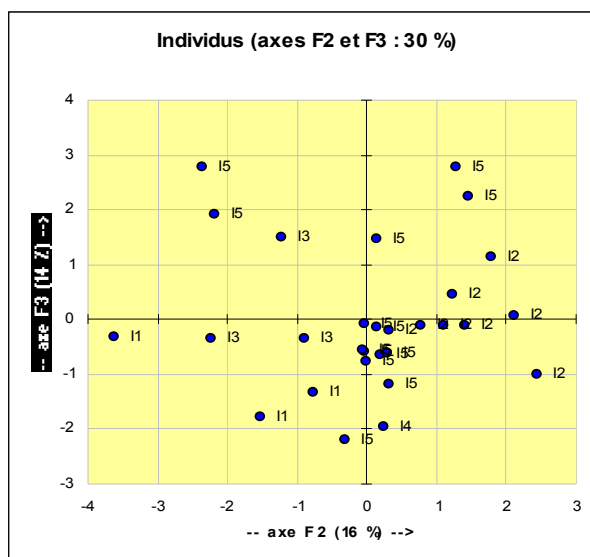


Figure 14: Position des individus sur le plan 2 – 3

Plan 1 – 4

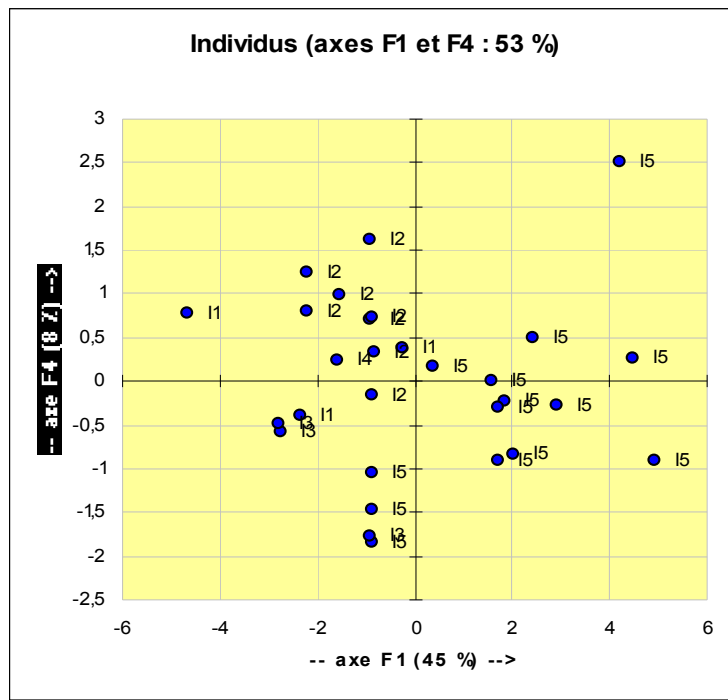


Figure 15 : Position des individus sur le plan 1 – 4

IV.7. Classification Ascendante Hiérarchique

L'objectif de cet algorithme est de rassembler des objets dans des classes de plus en plus larges, dans le but d'obtenir une représentation schématique simple d'un tableau dont les colonnes (variables) caractérisent l'ensemble des lignes (observations) en utilisant certaines mesures de similarité ou de distance. Ces distances peuvent être basées sur une dimension simple ou multiple.

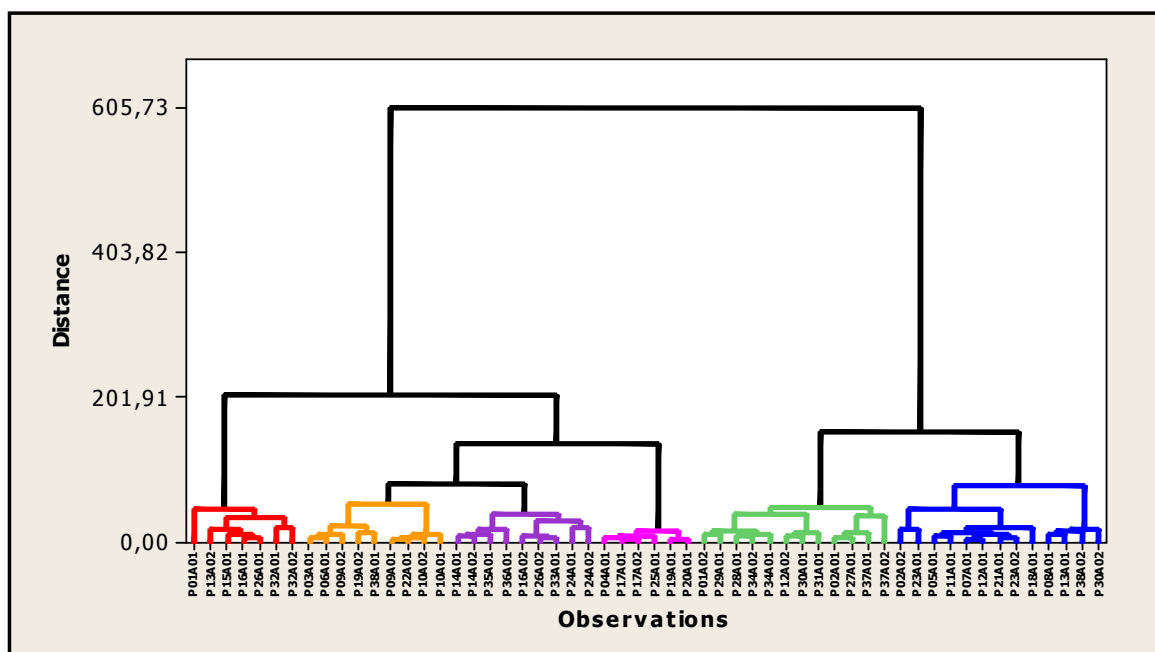


Figure 16: Dendrogramme de la CAH

D'après le dendrogramme on constate 6 groupes homogènes :

Le groupe1 rassemble les profils P10A01, P13A01, P15A01, P16A01, P26A01, P32A02.

Le groupe2 englobe les profils P01A02, P02A01, P12A02, P27A01, P28A01, P29A01, P30A01, P31A01, P34A01, P34A02, P37A01, P37A02.

Le groupe3 : P02A02, P05A01, P07A01, P08A01, P11A01, P12A01, P13A01, P18A01, P21A01, P23A01, P23A02, P30A02, P38A02.

Le groupe4 rassemble les profils P03A01, P06A01, P09A01, P09A02, P10A01, P10A02, P19A02, P22A01, P38A0

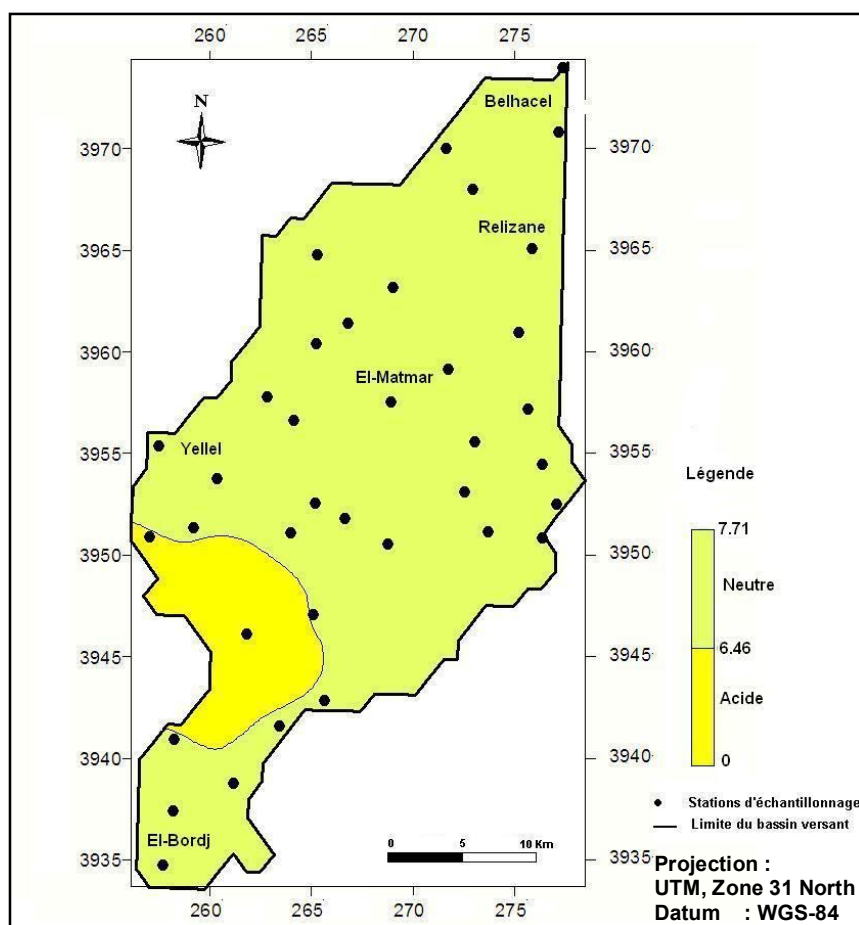
Le groupe5 regroupe les profilsP04A01, P17A01, P17A02, P19A01, P20A01, P25A01.

Le groupe 6 rassemble les profils P14A01, P14A02, P16A02, P24A01, P24A02, P26A02, P33A01, P35A01, P36A01.

V. Résultats des analyses des sols et discussions

V.1. pH

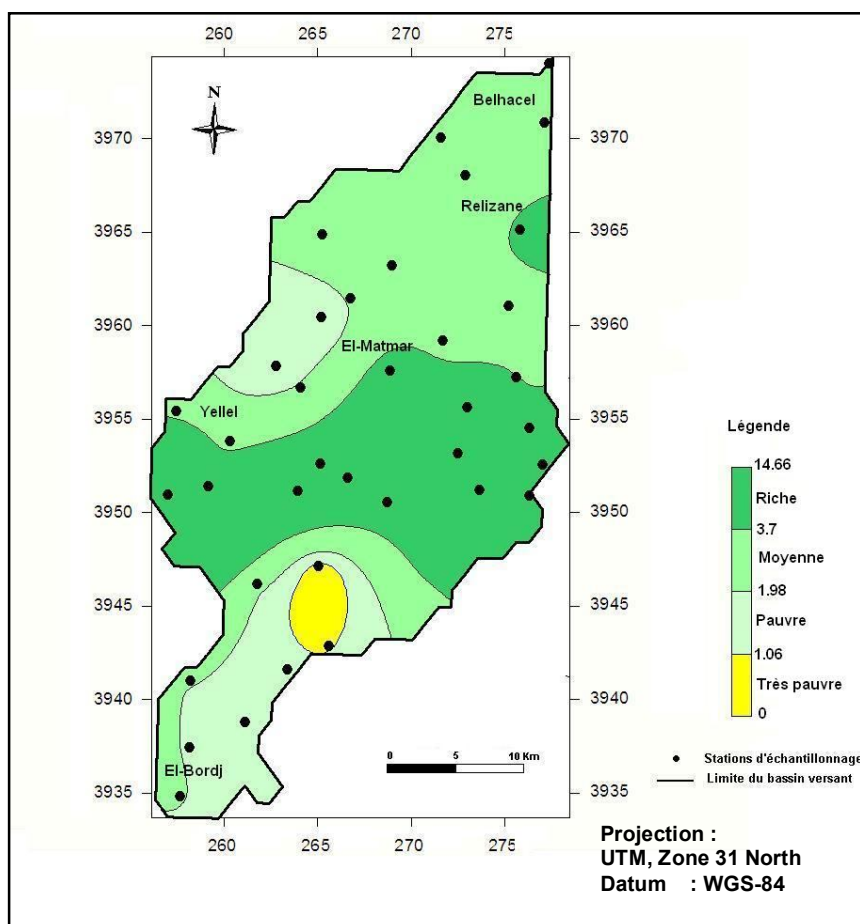
La région d'étude est caractérisée par des sols alcalins avec un pHmoyen de 7,83. Ceci est illustré dans la figure 3 qui montre la distribution spatiale des valeurs de pH dans le sous bassin versant de l'Oued Yellel. Il en ressort que la majorité du bassin versant est caractérisée par un pH neutre du fait de la présence des roches calcaires. Par contre dans la partie sud-ouest, le pH est acide. Cette acidité s'expliquerait en partie par la présence des formations de pins d'Alep.



Carte 13 : Distribution de pH dans le sous bassin versant de l'Oued Yellel.

V.2. Matière organique

La carte 14 montre que les sols sont irrégulièrement pourvus en matière organique. Les sols très pauvres représentent 7% de la superficie totale avec des teneurs qui varient de 0.11 à 0.98%. Dans la partie sud, 13% des sols sont pauvres en matières organiques (1.06 à 1.98%), alors que 36% en sont riches. Ceci peut s'expliquer par les apports des eaux de ruissellement chargées en sédiments.



Carte 14 : Distribution de la matière organique dans le sous bassin versant de l'Oued Yellel.

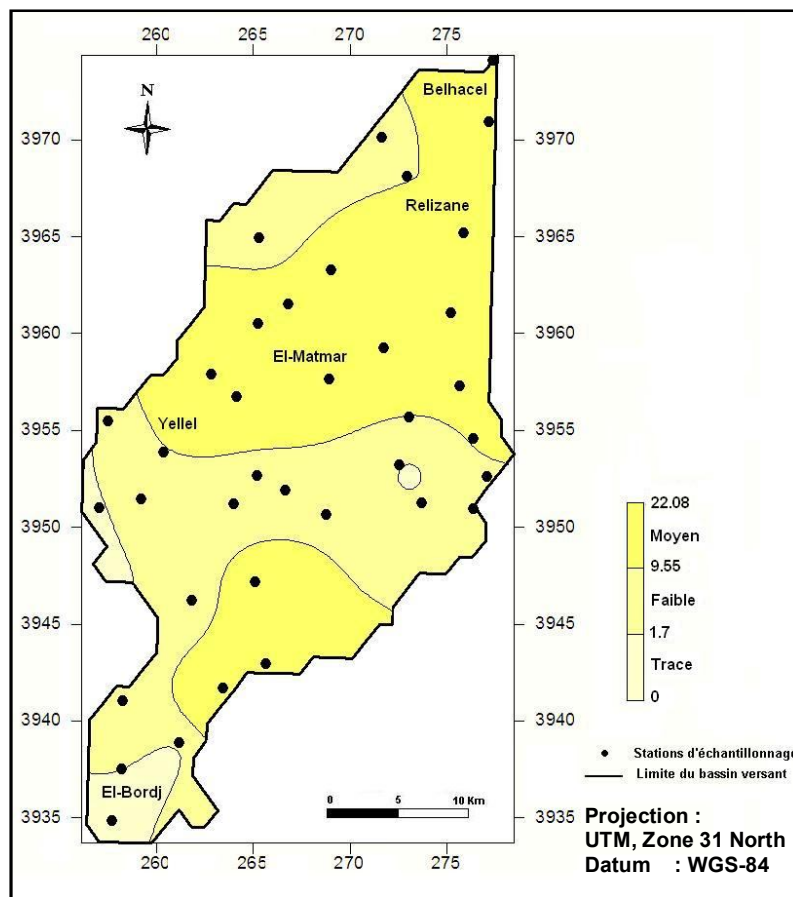
V.3. Calcaire total

Dans la région d'étude 50% des sols sont modérément calcaires (10 à 22% de CaCO_3), du fait de la nature de la roche mère calcaire. Cependant 17% de la partie sud, se caractérisent par des taux très faibles en calcaire (0.42% et 1.70%). Au centre (32% de la superficie totale) les teneurs en CaCO_3 varient de 0.42% à 1.70% (carte 15).

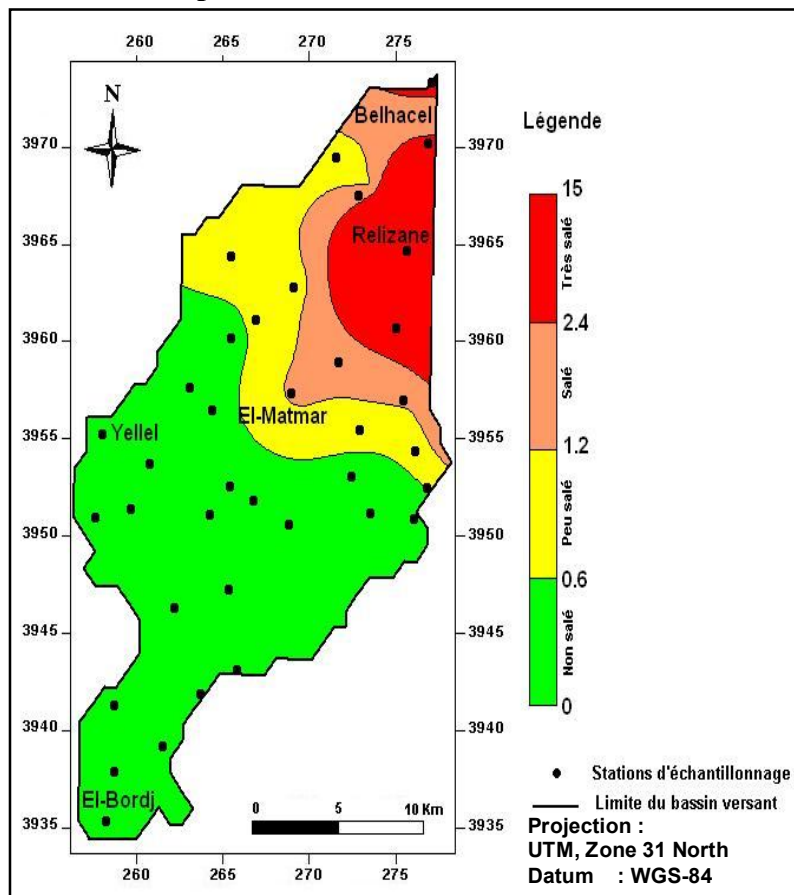
V.4. Conductivité électrique

La carte 16 montre que les sols de la partie nord du bassin versant (zones des plaines) sont salés et très salés avec des valeurs qui varient de 1.27 à 6.6 mS/cm. Ces derniers sont, soit occupés par la céréaliculture, soit abandonnés et colonisés par les halophytes. Plusieurs facteurs peuvent en être à l'origine à savoir : La qualité des eaux d'irrigation (nappe phréatique salée), les faibles pentes et le mauvais drainage.

Cependant, les sols de la zone Sud (zones de montagnes) sujets aux phénomènes de l'érosion hydrique, sont non salés.



Carte 15 : Distribution spatiale des valeurs du CaCO3 dans le sous bassin versant de l'Oued Yellel.



Carte 16 : Carte de salinité du sous bassin versant de l'Oued Yellel

Conclusion

La zone d'étude (sous bassin versant de l'Oued Yellel) est confrontée à un grave problème de dégradation du sol, comme pratiquement toute la région du tell occidental algérien. Devant la complexité du phénomène de la dégradation des sols et le nombre de paramètres qui y contribuent, nous avons adopté une méthodologie basée sur l'utilisation des systèmes d'information géographique afin de numériser, cartographier et analyser des données du terrain d'étude.

Par ailleurs, ce chapitre a permis de caractériser les sols du sous bassin versant et de mettre en évidence la distribution spatiale de certains paramètres édaphiques (pH, MO, CaCO₃ et CE).

Les résultats obtenus montrent que la zone d'étude présente les caractéristiques suivantes :

- sols de texture argileuse et argilo-sableuse ;
- pH neutre ;
- taux de matière organique moyen à faible ;
- moyennement calcaires (10 – 25 % de CaCO₃);
- salés dans la partie nord.

En effet, ces résultats contribuent à l'étude de l'état du sol du sous bassin versant de l'Oued Yellel, à mieux connaître ses caractéristiques physico-chimiques ainsi qu'à déterminer son potentiel hydro-agricole. Ceci aidera à montrer les différentes contraintes et à proposer des solutions quant à son exploitation rationnelle et durable.

CHAPITRE II.

TÉLÉDÉTECTION, CONCEPTION ET APPLICATION

Introduction

Les satellites constituent l'un des rares moyens disponibles pour obtenir des mesures cohérentes et répétées sur de larges superficies. Les mesures de télédétection offrent à la fois la possibilité d'observation de la terre et de suivre de ces évolutions spatio-temporelles à diverses échelles.

Plusieurs approches d'utilisation des données de télédétection ont été établies. Nous citons celles qui consistent à relier empiriquement la mesure satellitaire aux paramètres de surface. L'exemple le plus courant est celui des relations **entre les indices de végétation qui correspondent le plus souvent** à une combinaison du canal du visible et proche infrarouge, et aux composantes de la surface terrestre (sol, biomasse ...).

Dans le présent travail, qui consiste à étudier le phénomène érosif et les facteurs qui en sont responsables, nous nous sommes intéressés à utiliser cet outil pour atteindre deux objectifs principaux :

- le premier consiste à travers la relation indice de végétation- Composantes de surface- et à l'aide des algorithmes de classification, d'extraire de nouvelles informations caractérisant les paramètres érosifs, plus clairs. Nous essaierons de mettre l'indice de végétation normalisé (qui exprimera la présence ou l'absence de la végétation) en relation avec l'information de la pente et sa structure géologique et, à l'aide d'une classification par arbre de décision, d'extraire la carte des unités spatiales homogènes ;
- Le deuxième consiste à trouver une relation entre l'indice de végétation et la couverture végétale pour estimer le taux de recouvrement, sachant qu'il existe de nombreuses études qui ont prouvé une relation linéaire entre ces indices et les caractéristiques biophysiques de la végétation.

Les deux informations extraites vont être représentées sous forme de carte et seront intégrées directement au programme CORINE antiérosif.

"...Les hommes ont, depuis toujours, recherché des points d'observation situés au-dessus du paysage pour avoir une vue sur les terrains alentours. Ces points panoramiques permettaient d'avoir une "vision d'oiseau" des alentours. Ainsi, les gens pouvaient examiner et interpréter ce qu'ils observaient ..." (Aronoff, 1989). Une modalité similaire de collecte d'informations est utilisée dans la technique appelée « télédétection ». Ces techniques sont largement utilisées pour interpréter les traits de paysages aptes à changer avec le temps et comprenant souvent des zones inaccessibles. Cette technique s'est avérée, dans ces conditions, être un moyen très rentable d'acquisition d'information.

I. Concepts et définitions

I.1. Outil de télédétection : Qu'est-ce que la télédétection ?

La télédétection se rapporte à la détection d'objets par l'intermédiaire d'ondes électromagnétiques. La télédétection englobe :

- le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi,
- à traiter et à analyser l'information, pour mettre, ensuite en application cette information.

L'observation de la surface terrestre par télédétection a débuté historiquement avec les premières photographies aériennes. Mais ce sont les instruments satellitaires qui ont réellement permis son étude systématique. Il existe deux types de télédétection : la télédétection passive et la télédétection active. Dans le cas de la télédétection active, un émetteur irradie la surface observée, le récepteur enregistre la luminance rétrodiffusée. Cette luminance est le résultat de multiples interactions avec les éléments de la surface observée et de l'atmosphère. Le cas qui nous intéresse est celui de la télédétection passive : les sources de radiation sont naturelles. Il s'agit donc du soleil, de la terre et de l'atmosphère. La source première est le rayonnement solaire, le récepteur mesure la lumière émise ou réfléchie par la surface terrestre (figure 17).

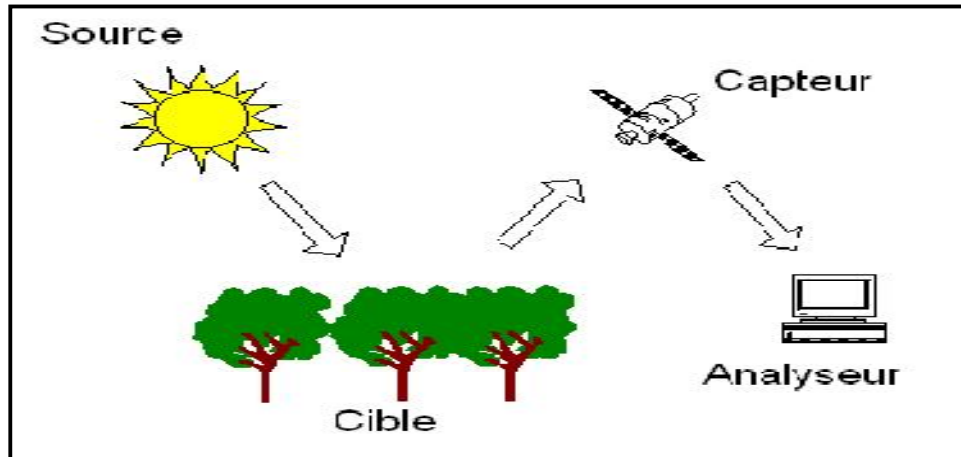


Figure 17 : Procédure de la télédétection

Les systèmes informatiques dédiés à la télédétection permettent de réaliser des mesures sur les images digitales, et à très grande vitesse (presque en temps réel) en vue d'analyser des phénomènes qui ne pourraient pas être suivis d'une autre manière (Aronoff, 1989). ainsi au processus d'extraction automatique de l'information et à l'introduction directe de cette information dans un Système d'information géographique (SIG).

L'interprétation visuelle des images reste, néanmoins, le mode d'extraction d'informations le plus précieux qui ne peut être confié à des moyens automatisés dans la mesure où l'œil humain peut également capter les caractéristiques de l'objet identifié.

Dans l'usage de la télédétection, le choix de l'image est crucial. Il dépend :

- de la résolution du pixel,
- du nombre et de l'intervalle des bandes spectrales (résolution spectrale),
- du cycle d'enregistrement de données (résolution temporelle),
- de la superficie couverte par une seule image,
- du choix des canaux : « L'analyse des réflectances des différents thèmes individualisés dans chacun des canaux permet le choix des bandes spectrales appropriées pour la cartographie des sols » (Haddouche, 1989). Donc, chaque cible est caractérisée par une signature spectrale qui ne réagit pas de la même façon dans les différents canaux.

I.1.1. Micro satellite ALSAT1

Le satellite algérien ALSAT1 est la première expérience en orbite de l'Algérie. Lancé le 28 novembre 2002 à 6h07 GMT par le lanceur russe COSMOS-3M depuis le cosmodrome de Plesetsk (à 800 km de Moscou), ALSAT1 produit d'un partenariat avec Surrey Satellite Technology Limited (SSTL – Royaume Uni) est un maillon d'une constellation de micro satellites de 7 pays (Algérie, Chine, Nigeria, Royaume Uni, Thaïlande, Turquie, Vietnam). Il s'inscrit dans un programme international d'observation de la terre pour la prévention et la gestion des catastrophes (DMC – Disaster Monitoring Constellation). C'est l'Algérie qui a eu le privilège de lancer le premier satellite ALSAT1, dans le cadre de cette constellation qui permettra le suivi de certains phénomènes naturels et autres risques majeurs comme les inondations, les séismes et les feux de forêts. La constellation, une fois entièrement opérationnelle permettra aux membres du consortium DMC de récupérer des images de n'importe quel point sur la terre en moins de 24 heures (Missoumi et Tadjerouni, 2003).

Tableau 27 : Caractéristiques du microsatellite algérien ALSAT1

Date de lancement	28 novembre 2002	
Altitude	680 km – 98° inclinaison.	
Dimensions	600 x 600 x 600 mm	
Poids	90 kgs	
Système de prise de vues	Imaging mode	Pushbroom
	CCD Multispectral imager	2 banks overlapping @ 5%.
	Spectral band	(NIR, R, G)
	Optics	150 mm focal length.
	Resolution / Swath width	32 m / 600km
	Number of pixel	10000 pixels
Capacité de stockage	1Go byte	
Bandes spectrales	Bande 2 (Vert) 0.52 – 0.62µm	
	Bande 3 (Rouge) 0.63 – 0.69µm	
	Bande 4 (PIR) 0.76 – 0.90µm	
Résolution spatiale	32 m	
Dimension d'une scène	600 x 560 km (max.)	
Délai de repassage	5 jours	
Vocation	Observation de la terre	

I.1.2. Satellite SPOT

Spot est placé sur une orbite polaire. La rotation de la terre autour de l'axe des pôles, compte tenu de l'inclinaison du plan orbital (98 degrés), permet au satellite de survoler la Terre en tout point au cours d'un cycle de 26 jours. Ses caractéristiques générales sont les suivantes :

- Altitude : 832 km.
- Inclinaison : 98 degrés (orbite quasi-polaire).
- Nombre de révolutions : 14 + 5/26 par jour.
- Période de révolution : 101 minutes.
- Décalage à l'équateur entre deux traces au sol consécutives : 2 823 km.
- Durée d'un cycle : 26 jours.
- Nombre de révolutions par cycle : 369.

Pour pouvoir comparer des images prises en des lieux différents, celles-ci doivent être acquises à la même altitude. L'orbite doit donc être circulaire, en d'autres termes l'altitude doit être constante par rapport à la surface de la Terre.

Tableau 28 :Caractéristiques spectrales des satellites SPOT (123, 4,5)

	Instrument Haute Résolution		
	Spot 5	Spot 4	Spot 1 à 3
Instruments	2 HRG	2 HRVIR	2 HRV
Bandes spectrales et résolution	2 panchromatiques à 5 m, permettant de réaliser un produit à 2,5 m 3 multispectrales à 10 m 1 moyen infrarouge à 20 m	1 monospectrale à 10 m 3 multispectrales à 20 m 1 moyen infrarouge à 20 m	1 panchromatique à 10 m 3 multispectrales à 20 m
Spectre électromagnétique	P : 0,48 - 0,71 μm B1 (vert) : 0,50 - 0,59 μm B2 (rouge) : 0,61 - 0,68 μm B3 (PIR) : 0,78 - 0,89 μm B4 (MIR) : 1,58 - 1,75 μm	M : 0,61 - 0,68 μm B1 (vert) : 0,50 - 0,59 μm B2 (rouge) : 0,61 - 0,68 μm B3 (PIR) : 0,78 - 0,89 μm B4 (MIR) : 1,58 - 1,75 μm	P : 0,50 - 0,73 μm B1 (vert) : 0,50 - 0,59 μm B2 (rouge) : 0,61 - 0,68 μm B3 (PIR) : 0,78 - 0,89 μm
Champ de prise de vue	60 km x 60 à 80 km	60 km x 60 à 80 km	60 km x 60 à 80 km
Dynamique de l'image	8 bits	8 bits	8 bits

I.2. Traitement des données satellitaires

Avant que les images ne soient prêtes à l'interprétation, il faudrait qu'elles passent par une chaîne de traitements visant l'élimination des défauts contenus dans les données brutes et leur amélioration. Le but des traitements en télédétection est de classer les objets en ensemble homogènes suivant un ou plusieurs critères tels que la couleur, la forme et la texture.

Cette chaîne de traitement comporte deux grandes étapes:

I.2.1. Prétraitements

Ce sont des opérations effectuées sur les images en amont de tout traitement; La difficulté essentielle en télédétection réside dans l'interprétation des images requise. C'est une phase qui suit celle d'acquisition de l'image. Ces prétraitements exigent deux types de corrections, une correction radiométrique qui transforme les radiances mesurées par le satellite en réflectance, éliminant, de cette manière, l'effet nuisible de l'atmosphère et une correction géométrique. Ces corrections tiennent compte des distorsions géométriques dues aux variations de la géométrie d'observation du capteur et permettent de positionner, en latitude et longitude la cible sur la surface terrestre.

I.2.2. Traitements

Les traitements effectués sur l'image sont multiples (classification, filtrage, traitement par les indices...). Le choix d'un type de traitement à suivre se base sur le phénomène étudié et sur les objectifs tracés pour l'atteindre.

Dans le cas de la cartographie des sols et des phénomènes érosifs dans une région semi-aride, la télédétection est particulièrement adaptée. La végétation ne représente, le plus souvent, que 5 à 30% de la surface du sol avec une activité chlorophyllienne saisonnière. C'est ce qui permet la discrimination de la surface du sol de celle de la végétation, en adoptant quelques corrections éventuelles sur les indices de végétation dans le cas où les sols influent de façon très importante sur le signal de la végétation

Il est possible, aussi, de résulter l'information sur le phénomène d'érosion en croisant d'autres couches données exogènes (climatique, pédologique, géologique, et topographique) avec celle de télédétection.

a) Classification

Dans la classification, les régions homogènes, d'égales conditions et caractéristiques, sont définies; le résultat apparaît habituellement sous forme d'aires délimitées (unités cartographiques). Des séries de particularités communes peuvent être regroupées en zones, autrement dit les mesures peuvent s'appliquer en fonction de la classification qui aura été adoptée; les méthodes de classification les plus communes peuvent être séparées en deux grandes catégories :

- **La classification supervisée :** Lors de l'utilisation d'une méthode de classification supervisée, l'analyste identifie des échantillons assez homogènes de l'image qui sont représentatifs de différents types de surfaces (classes d'information). Ces échantillons forment un ensemble de données-tests. La sélection de ces données-tests est basée sur les connaissances de l'analyste, sa familiarité avec les régions géographiques et les types de surfaces présents dans l'image. L'analyste supervise donc la classification d'un ensemble spécifique de classes. Les informations numériques pour chacune des bandes et pour chaque pixel de ces ensembles sont utilisées pour que l'ordinateur puisse définir les classes et ensuite reconnaître des régions aux propriétés similaires à chaque classe. L'ordinateur utilise un programme spécial ou algorithme afin de déterminer la "signature" numérique de chacune des classes. Plusieurs algorithmes différents sont possibles. Ensuite, une classification supervisée commence donc par l'identification des classes d'information qui sont, ensuite, utilisées pour définir les classes spectrales qui les représentent.
- **La classification non supervisée :** Le procédé est d'une façon contraire. Les classes spectrales sont formées en premier, basées sur l'information numérique des données seulement. Ces classes

sont, ensuite, associées par un analyste, à des classes d'information utile (si possible). Des programmes appelés algorithmes de classification sont utilisés pour déterminer les groupes statistiques naturels ou les structures des données. Habituellement, l'analyste spécifie le nombre de groupes ou classes qui seront formés avec les données. De plus, l'analyste peut spécifier certains paramètres relatifs à la distance entre les classes et la variance à l'intérieur même d'une classe. Le résultat final de ce processus de classification itératif peut créer des classes que l'analyste voudra combiner, ou des classes qui devraient être séparées de nouveau.

- **La classification par arbre de décision :** La méthodologie d'identification et d'extraction des unités homogènes proposée dans cette étude repose sur l'utilisation d'une technique reconnue depuis plus d'une quinzaine d'années en analyse et classification de données, bien qu'elle n'ait été appliquée que tout récemment à la télédétection : la classification par arbre de décision. Un arbre de décision est une méthode de classification à plusieurs étages qui peut être appliquée à une seule image ou une pile d'images. Il est composé d'une série de décisions qui sont utilisées pour déterminer la catégorie de chaque pixel. Les décisions peuvent être basées sur n'importe quelle caractéristique disponible de l'ensemble de données. On peut appliquer les règles de décisions sur des images multi spectrales ou mono spectrales à différentes résolutions et à différentes projections, comme il est possible d'intégrer d'autres types d'image (modèle numérique de terrain, carte des pentes, carte d'aspects,...) à cette classification ou chaque décision divise les données en deux classes possibles. La classification par arbre de décision se compare aux méthodes de classifications semi dirigées puisqu'elle implique l'introduction de sites de référence dans la détermination des signatures des classes à extraire. Toutefois, elle n'est pas fondée sur la condition de normalité des distributions des pixels.

b) Indices

Les indices de végétation ont été développés dans le domaine de la télédétection pour mieux évaluer la présence et le taux de couvert végétal (Baret et al. 1989). L'intérêt de ces indices est d'abord de mieux cartographier les catégories de couverts des terres et, ainsi, d'augmenter la précision des classifications. Il existe un très grand nombre d'indices. Ils sont calculés en général par une combinaison linéaire d'au moins deux ou plusieurs canaux.

- **L'indice de végétation normalisé :** (NDVI Normalized Difference Vegetation Index) consiste à soustraire au canal infrarouge (où la couverture végétale a de fortes réflectances) le canal rouge (où les surfaces minéralisées ont de fortes réflectances). Le néocanal résultant présente un gradient croissant d'activité végétale allant du noir signifiant absence de couverture, au blanc qui rend compte d'une activité chlorophyllienne très élevée. Le résultat d'un NDVI prend la forme d'une nouvelle image, la valeur de chaque pixel étant comprise entre -1 (sol nu) et 1 (couvert végétal maximal). C'est l'analyse de la palette de nuances s'étendant entre ces valeurs extrêmes (très peu fréquentes) qui va renseigner l'observateur sur la densité du couvert végétal et la quantité de biomasse verte. La réponse spectrale d'un couvert végétal dense est forte dans les longueurs d'ondes proche infrarouges (à cause de l'activité chlorophyllienne), et faible dans les longueurs d'ondes rouges, alors que la réponse spectrale d'un couvert très clairsemé est inverse (forte influence des minéraux par rapport à l'activité chlorophyllienne). La différence normalisée permet de rendre compte de ces deux phénomènes sur une même image (Thomas Pouchin, 2001).

Ce traitement aboutit à la création d'un néocanal en combinant la réflectance du rouge et de l'infrarouge, il a pour formule:

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R}$$

Où :

PIR : canal de l'infrarouge.

R : canal du rouge.

- **L'indice transformé de végétation (TVI) :** Cet indice a été proposé par DEERING et AL en 1975, il consiste à transformer l'indice de végétation (NDVI) en lui ajoutant une constante de 0.5 à toutes ses valeurs et en prenant la racine carrée des résultats, afin d'éviter les traitements avec les valeurs négatives de l'NDVI.

$$TVI = \sqrt{NDVI + 0.5}$$

c) Filtrage

Filtrer une image revient à prendre en compte les valeurs voisines, à les pondérer par les valeurs d'un masque (matrice poids ou masque de convolution) pour obtenir une nouvelle image numérique. Le filtrage permet de remplacer la valeur brute par une nouvelle valeur dépendante des valeurs voisines qui produisent un effet de voisinage sur chaque pixel de l'image. Cette idée vient du fait que la valeur d'un pixel n'est pas totalement indépendante de celle de ses plus proches voisins (Tadjerouni, 2001).

Le filtrage d'une image s'opère au moyen d'une fenêtre mobile qui balaye l'image par colonnes et lignes successives. A chaque pas du processus de balayage, le centre de cette fenêtre est positionné sur un pixel différent. Selon le masque utilisé, une nouvelle valeur est assignée au pixel central.

La valeur obtenue pour un pixel donné par filtrage est fonction du voisinage et de la taille du masque. Plus la taille du masque est importante, plus l'effet de proximité est grand et les calculs élevés (ex: masque 9x9).

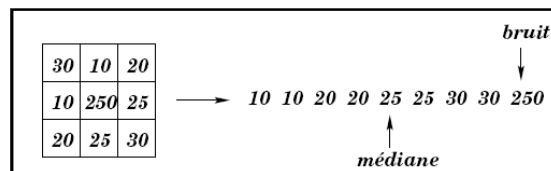
Il existe une multitude de filtres applicables dans ce domaine, car les combinaisons utilisées pour créer des masques sont infinies. Outre la taille du masque et la forme du filtre, il est possible de faire varier les nombres qui servent de pondération, leur agencement à l'intérieur du masque et le type d'opération (TADJEROUNI, 2001).

De manière générale, le but d'un filtrage est de diminuer l'effet de la dégradation (ex : le bruit sur l'image) due aux problèmes incontrôlables lors des prises de vues, ou d'améliorer la qualité d'une image par un lissage ou une accentuation de celle-ci. Pour surmonter ces problèmes, il existe une série de techniques de filtrage proposées par divers auteurs. Chaque technique est cependant destinée à une application spécifique, mais seules quelques-unes ont été reconnues comme performantes.

Dans notre étude, nous avons appliqué les techniques de filtrage pour l'amélioration de la carte des unités homogènes, en éliminant le bruit par le filtre médian.

- **Le filtre médian :** Le principe est de prendre dans le voisinage la valeur la moins extrême. Pour cela, on crée une liste des valeurs du voisinage, puis on trie cette liste et on prend la valeur qui se trouve au milieu de la liste. Cette valeur " médiane " est la plus éloignée des deux extrêmes

Ex :



d) Rééchantillonnage

La question du rééchantillonnage est généralement posée par le besoin d'effectuer une transformation géométrique sur une image. Dans un souci de décrire efficacement les problèmes rencontrés. Nous nous sommes limités aux déformations les plus simples.

L'image doit être rééchantillonnée afin de déterminer la valeur numérique à placer dans la nouvelle localisation du pixel de l'image corrigée. Le processus de rééchantillonnage calcule la nouvelle valeur du pixel à partir de sa valeur originale dans l'image de référence (non corrigée). Il existe trois principales méthodes de Rééchantillonnage : méthode du plus proche voisin,

méthode d'interpolation bilinéaire, méthode de convolution cubique (CCT, 1998). Nous nous intéresserons à la première méthode, celle qui est utilisée dans nos traitements.

- **Méthode du plus proche voisin:** La méthode du plus proche voisin utilise la valeur numérique du pixel de l'image originale qui se trouve le plus près de la localisation du nouveau pixel dans l'image corrigée. C'est la méthode la plus simple. Elle n'altère pas la valeur originale mais peut
- produire une duplication des pixels ou une perte de certaines valeurs. C'est la méthode utilisée lorsque l'on travaille avec les valeurs radiométriques (classifications, analyses spectrales...) (CCT, 1998).

I.3. Vérification des résultats de l'analyse

Pour une utilisation rentable de l'information, il convient de bien connaître sa fiabilité. Le niveau attendu de l'information devrait être connu et pris en considération lors de l'utilisation des données. Les résultats de l'analyse de télédétection et de tout autre type d'information spatiale devraient être complétés par un rapport sur la qualité des données.

Cette phase implique la vérification des produits de la phase précédente. On procède à un test de précision conventionnel au cours duquel des points d'échantillonnage sont sélectionnés puis mesurés sur le support d'information de télédétection et comparés à des données provenant de prospections de terrain indépendantes. Le taux d'erreur est ensuite déterminé pour chaque point d'échantillonnage et si l'erreur globale est trop importante, le produit sera rejeté.

II. Suivi du taux de recouvrement végétal

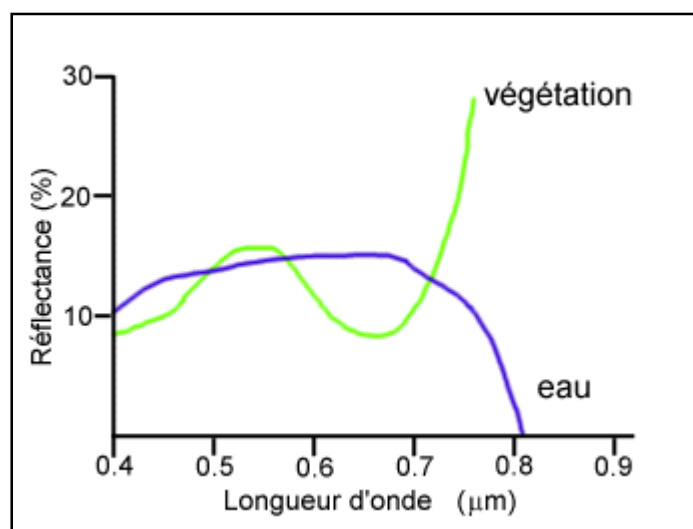
Les sols nus présentent une sensibilité à l'érosion hydrique. Cette situation favorise le transport d'éléments solides qui sont retenus par les sédiments, en direction des systèmes aquatiques à travers le réseau hydrographique. Une étude des pertes de sol passe nécessairement par une étude du taux de recouvrement végétal. L'imagerie satellitaire est un outil très intéressant de cartographie et de suivi de l'évolution d'un bassin versant par la couverture synoptique qu'elle offre. Elle permet aussi, par le biais des indices de végétation, d'obtenir une idée de la végétation (herbacée, arbustive et arborescente) qui occupe le territoire étudié. Notre travail consiste à faire à l'aide de l'imagerie satellitaire, une estimation du taux de recouvrement végétal. À cet effet, on a proposé d'adopter une méthode d'indice de végétation pour calculer le taux de recouvrement végétal, et d'estimer le pourcentage du couvert végétal de notre bassin.

II.1. Interaction des rayonnements avec le couvert végétal

Les propriétés optiques d'un couvert végétal dépendent à la fois des propriétés optiques des feuilles qui le constituent, de leur arrangement spatial, ainsi que des propriétés optiques du sol sous-jacent. La connaissance des propriétés optiques des feuilles et du couvert végétal est importante pour analyser la pénétration et l'absorption de la lumière, déterminer la photosynthèse mais aussi pour notre étude, de pouvoir interpréter les données de la télédétection issues des observations spatiales. C'est pourquoi, nous définirons successivement dans ce paragraphe les propriétés optiques des feuilles du couvert et celles du sol.

II.1.1. Propriétés optiques des feuilles

Comme indiqué sur le graphique 12, les deux domaines spectraux (le visible, le proche infrarouge) sont distingués :



Graphique20: Pics d'absorption de la végétation et de l'eau et distinction des deux domaines spectraux (visible et infrarouge)

La chlorophylle, une molécule que nous retrouvons à l'intérieur des feuilles, absorbe fortement le rayonnement aux longueurs d'onde du rouge et du bleu, mais réfléchit le vert. Les feuilles qui contiennent un maximum de chlorophylle en été, sont donc plus vertes pendant cette saison. En automne, les feuilles qui contiennent alors moins de chlorophylle, absorbent moins de rouge, et paraissent donc rouges ou jaunes (le jaune est une combinaison des longueurs d'onde du vert et du rouge). La structure interne des feuilles en santé agit comme un excellent réflecteur diffus pour les longueurs d'onde de l'infrarouge. Si nos yeux pouvaient percevoir l'infrarouge, les feuilles paraîtraient très éclatantes sous ces longueurs d'onde. Les scientifiques utilisent d'ailleurs l'infrarouge pour déterminer l'état de santé de la végétation.

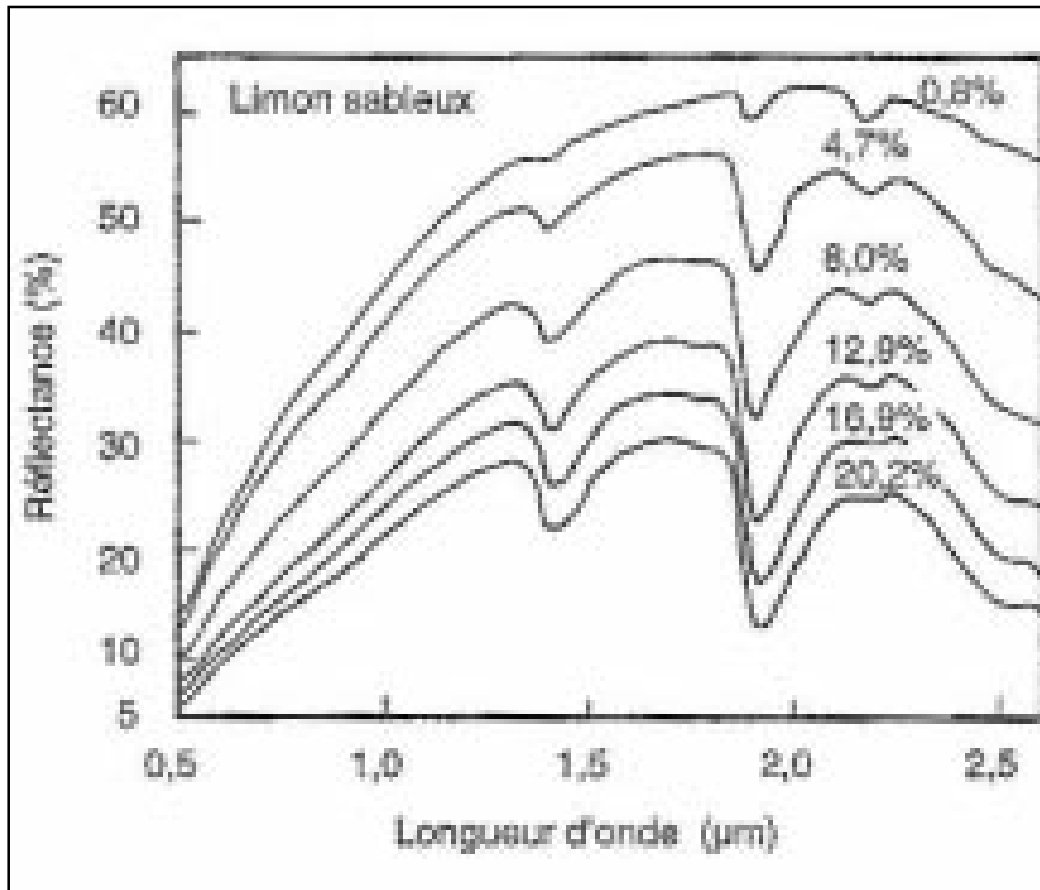
II.1.2. Propriétés directionnelles

La réflectance d'un couvert végétal ne dépend pas seulement des propriétés d'absorption et de diffusion des feuilles mais aussi de son architecture. Celle-ci varie selon la forme, la dimension, la distribution dans l'espace et la quantité des surfaces végétales du couvert. La distribution spatiale de la végétation sur le sol dépend du type de végétation, de la disposition des plantes (écartement et orientation des rangs), et de leur stade de croissance. Au fur et à mesure que la végétation se développe, les effets du sol s'estompent.

II.1.3. Propriétés optiques des sols

Sur des surfaces dépourvues de végétation ou recouvertes par un couvert épars, il est nécessaire de bien caractériser les propriétés optiques des sols. Celles-ci dépendent de leur composition minérale, de leur teneur en matière organique, de leur humidité (modifiant les propriétés spectrales), ainsi que de leur rugosité de surface (affectant leurs propriétés directionnelles).

Le graphe 13 présente un exemple de courbes de réflectance d'un sol pour différentes humidités. Il montre que la réflectance d'un sol croît du visible au moyen infrarouge. On observe aussi la présence de bandes d'absorption de l'eau qui sont d'autant plus intenses que le sol est humide. La réflectance dans tout le domaine spectral est considérée d'autant plus faible que le sol est plus humide. On peut noter qu'en général un sol est plus réfléchissant dans le visible et moyen infrarouge que la végétation, par contre moins réfléchissant dans le proche infrarouge. Les effets du sol sur la réflectance des couverts jouent un rôle important lorsque la végétation est peu développée.



Graphique21 : Spectres de réflectance d'un sol limon sableux pour différentes humidités (Bowers et Hanks, 1965)

III. Systèmes d'information géographique (SIG)

Les méthodes classiques utilisées pour l'étude et la gestion des ressources naturelles sont presque dépassées, au vu du temps de réalisation de l'étude et à son application sur le terrain. Les systèmes d'information géographique (SIG) se sont avérés aux décideurs et aux planificateurs de ces ressources, un outil de gestion et d'aide à la connaissance du milieu très performant, ayant le pouvoir d'actualisation des données et avec leurs multitudes de fonctions de manipulation, de stockage et de restitution référencée.

Pour cela, l'utilisation d'un tel outil va nous permettre de dégager ou de préciser des concepts généraux dans le domaine de la géographie, appliquée à la cartographie des sols, et plus particulièrement dans le cas de notre travail, la réalisation de la carte des risques potentiels et actuels d'érosion.

III.1. Définition d'un SIG

«... Les SIG sont l'outil informatique permettant de collecter, de gérer, d'analyser et de restituer des données géographiques » (Burrough 1986).

«... Les SIG sont le système d'information permettant à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser, de combiner, et enfin de présenter, de visualiser des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace » (SFPT : la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection).

III.2. Fonctions d'un système d'information géographiques

Théoriquement un SIG comporte quatre fonctions principales:

- acquisition des données,
- gestion des données,
- manipulation et l'analyse des données,
- restitution des données.

III.3. Analyse spatiale

Toute opération de cartographie, d'aménagement et de mise en valeur doit se faire sur une base de connaissances bien détaillées des propriétés physico-chimiques et biologiques du sol et de son fonctionnement (Douaoui, 1993).

Il est aussi bien connu que ces propriétés varient d'un point de l'espace géographique à l'autre. Toute observation ou mesure portant sur un sol pose donc la question de la représentativité de l'échantillon considéré en regard des variations verticales et latérales des propriétés des sols. Une mesure traduit-elle localement l'état ou le fonctionnement du sol, par exemple seulement dans les 20 cm autour du site de mesure, ou peut-on considérer qu'elle représente une portion plus importante de la couverture pédologique ? La réponse dépend de la façon dont le sol varie quand on s'éloigne du site de mesure (Girard et al., 2005).

La révolution numérique de ces dernières décennies a fortement modifié l'analyse spatiale des sols. Elle s'est traduite en premier lieu par un accroissement des capacités de calcul et de stockage des outils informatiques, mieux à même de traiter les nombreuses données pédologiques souvent nécessaires et permettant de croiser ces données avec d'autres sources d'information. Mais cette révolution a également concerné l'évolution des concepts et des méthodes appliqués à l'étude et à la prise en compte de la variabilité spatiale des sols. Ces évolutions sont progressivement intégrées au sein de systèmes d'information géographique qui permettent de combiner les principales étapes d'une analyse spatiale des sols.

Un *système d'informations géographiques* (SIG) est un système informatique de matériels, de logiciels, et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion.

III.4. Etapes d'une analyse spatiale

On peut dégager trois étapes principales d'une analyse spatiale de la couverture pédologique :

III.4.1. Acquisition d'informations sur le terrain

Malgré les progrès réalisés dans la reconnaissance de propriétés des sols par la télédétection, par la géophysique ou par le croisement de données grâce aux SIG, une phase d'acquisition de données sur le terrain demeure un élément essentiel, et en général le plus coûteux en temps, de toute analyse spatiale des sols.

Cette phase consiste à :

- décider du nombre de sites à observer ;
- déterminer les emplacements d'observation selon un protocole d'échantillonnage spatial donné ;

- estimer la valeur d'un ensemble de variables codifiées et/ou réaliser un certain nombre de mesures de terrain ;
- recueillir des échantillons pour analyses ultérieures au laboratoire ;
- enfin, synthétiser les informations avant de se diriger vers un autre emplacement d'observation choisi en fonction de l'hypothèse chronologique ou selon un plan d'échantillonnage prévu.

III.4.2. Représentation spatiale

La représentation cartographique est l'étape ultime avant la transmission des données à un utilisateur potentiel de l'information spatialisée. C'est donc une étape importante qui doit refléter au mieux les connaissances acquises mais aussi s'adapter aux besoins de l'utilisateur, notamment dans l'élaboration d'un document informatif mais aussi pédagogique. Or, la représentation cartographique possède un certain nombre de contraintes qui lui sont inhérentes. Une carte est tout d'abord une représentation en deux dimensions d'un objet tridimensionnel. Ensuite, cette représentation dépend de la taille du support qui impose une échelle de réduction par rapport à la réalité. Enfin, le choix des symboles graphiques et des couleurs est limité par la capacité visuelle de l'oeil humain. L'édition d'une carte est un véritable art qui a fait l'objet d'ouvrages de sémiologie graphique dont les concepts sont toujours d'actualité (Bertin, 1999).

Les SIG ont permis de lever en partie les contraintes de la représentation cartographique conventionnelle. En effet, les données spatialisées mesurées ou estimées sont désormais mémorisées dans des bases de données géographiques. Ainsi, la carte pédologique n'a plus à assurer cette fonction «mémoire». Grâce aux fonctions de tri et de sélection, les SIG produisent à la demande les informations souhaitées (Burrough et McDonnell, 1998).

IV. Applications

IV.1. Données utilisées

Avant de commencer le travail, il était nécessaire de réunir une certaine documentation, qui sert comme fond de bases, et qui orientent nos travaux de prospection et la cartographie proprement dite.

- Nous avons travaillé sur l'image Landsat 5 TM Mars 2010 qui couvre la région du bassin versant. La période de prise de vue de cette image est très convenable puisqu'au mois de Mars l'activité chlorophyllienne est très forte, ce qui est détectable facilement dans les bandes du visible et le proche infrarouge. Cela nous permettra de bien discriminer et cartographier les aires aux différentes densités végétales. La résolution de l'image est de (30 mètres) du satellite Landsat5 TM (carte 13).
- Le croquis géologique du Nord algérien $1/500.000^{\text{ème}}$, pour délimiter les grandes structures géologiques dans la zone d'étude, et pour l'intégrer, ensuite, comme un critère de décision à la création des unités spatiales homogènes.
- La carte topographique de la zone d'étude à l'échelle du $1/50.000^{\text{ème}}$.

IV.2. Extraction des unités spatiales homogènes

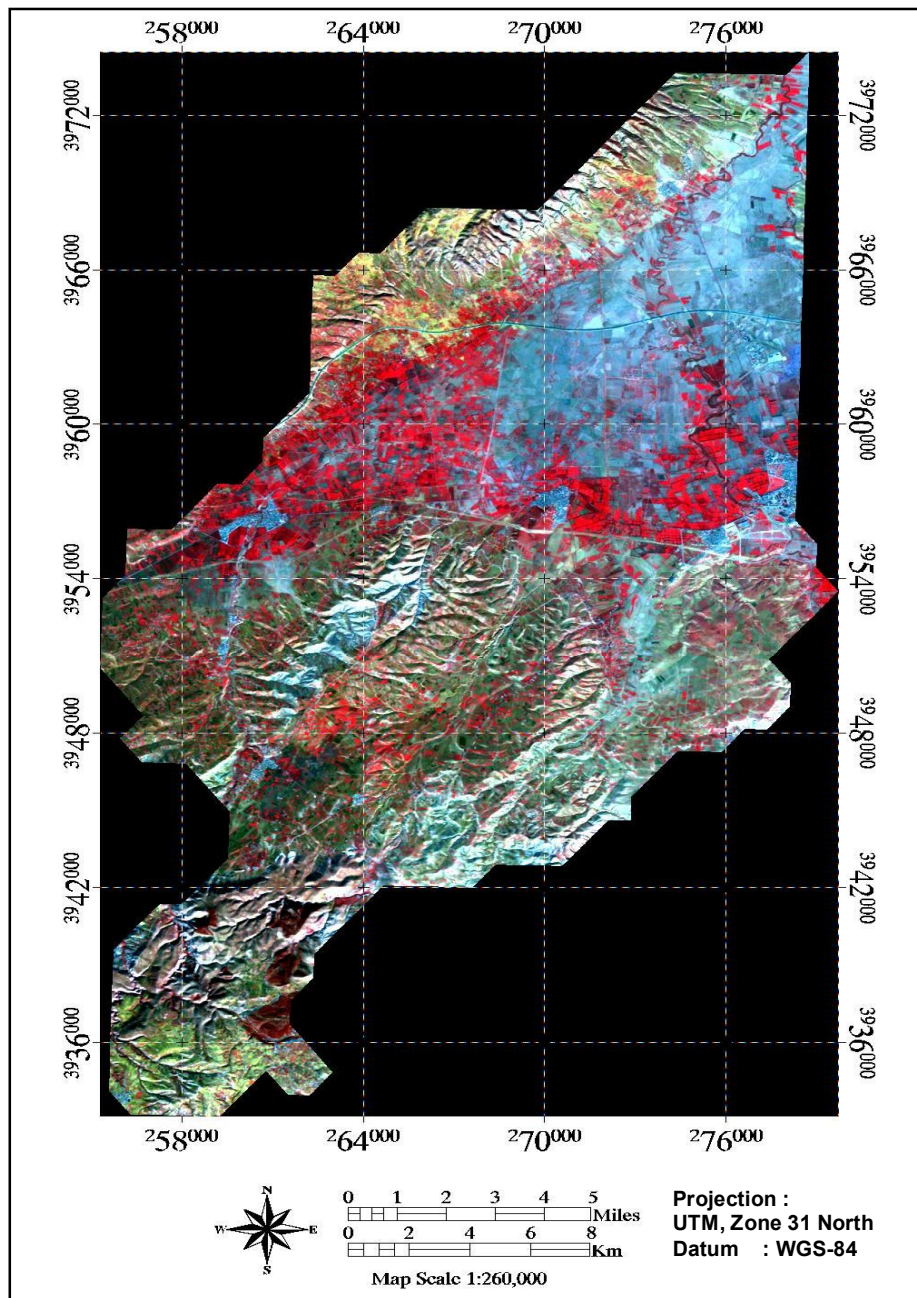
D'après Delpoux 1972, tout paysage se divise en deux unités élémentaires (le support physique et sa couverture végétale), le premier est lié aux caractéristiques géologiques et géomorphologiques, tandis que le deuxième est lié essentiellement à la variante biologique. Pour cela, la connaissance des milieux naturels nécessite une étude de l'ensemble de ses composantes, qu'elles soient physiques ou biologiques.

Dans le cas de notre étude, il est absolument important de délimiter les unités homogènes composantes de notre espace. Pour cela, nous avons réalisé au premier temps les couches suivantes :

- La couche de la carte géologique : par la numérisation de celle-ci à partir de la carte géologique (carte géologique Bosquet Mostaganem $1/200\ 000^{\text{ème}}$), et la rastérisation de cette couche (logiciel MapInfo) ; nous n'avons pris en considération que trois structures géologiques caractérisant le substratum de notre zone (carapaces calcaire, Alluvions- calcaire).
- La couche de la carte des pentes : la création de cette couche est faite à partir du GDEM du bassin versant, nous avons pris quatre classes (<5%, 5-15%, 15-30%, >30%).
- La couche de la carte d'occupation du sol : dans cette couche nous n'avons pris en considération que deux thèmes essentielles (végétation et non végétation), elle est réalisée à partir de la carte d'NDVI ; en nous basant sur l'image de la composition colorée et la carte d'NDVI , nous avons pu, par la méthode d'histogramme et d'analyse visuelle, déterminer la valeur de zéro (0) comme un seuil limite entre les deux classes choisies (végétation et non végétation).

Note : les trois cartes sont au format raster et comprennent les mêmes caractéristiques géoréférentielles (projection).

La classification par arbre de décision était la meilleure méthode choisie pour la confection de la carte des unités homogènes, car elle nous a permis d'intégrer les différentes cartes multi sources et résolutions utilisées, et la décision d'extraction des classes.



Carte 17 : Situation du sous bassin versant

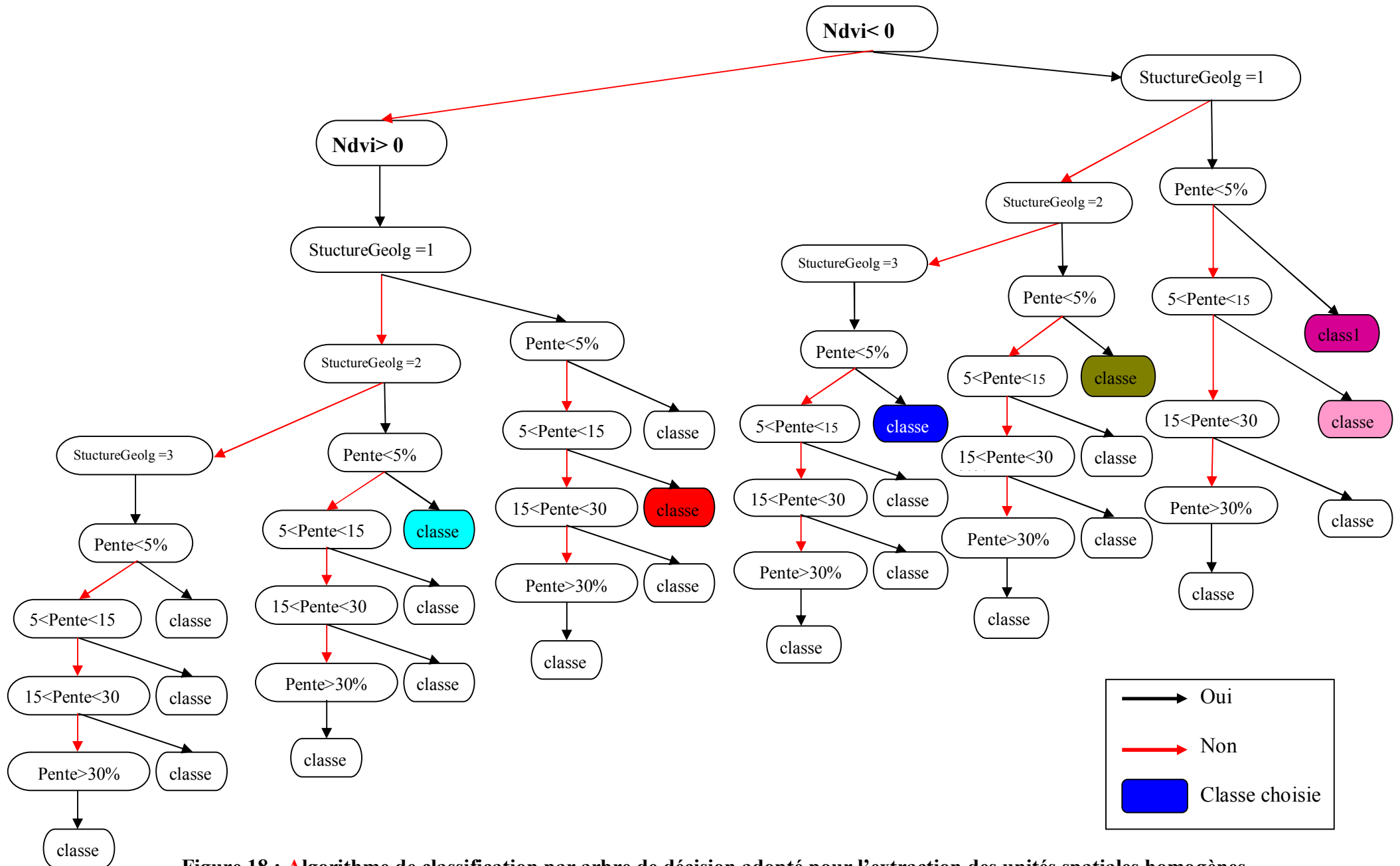
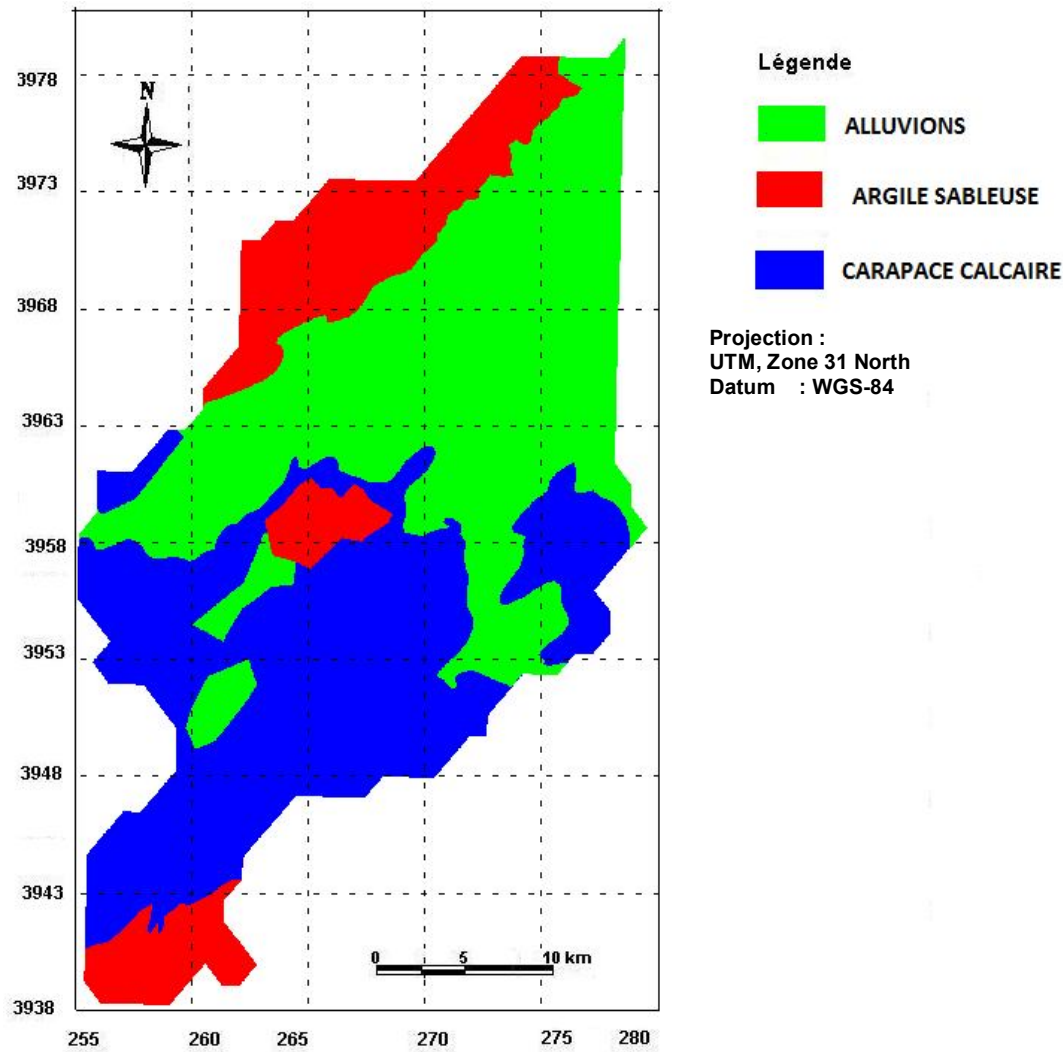
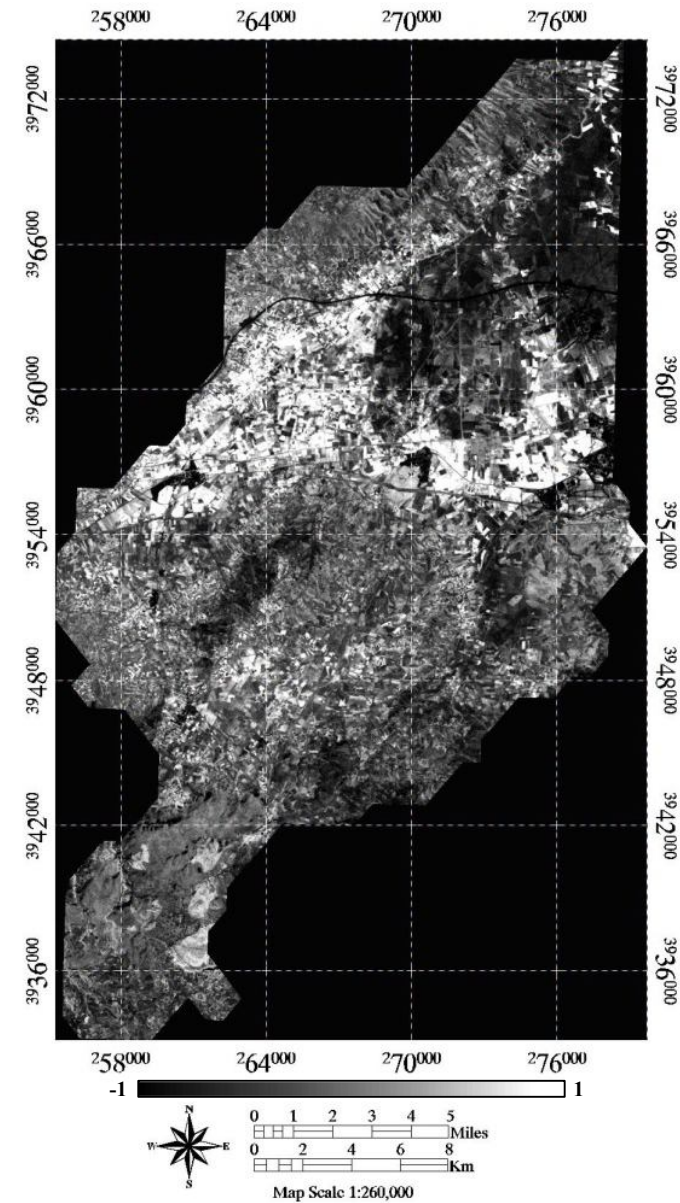


Figure 18 : Algorithme de classification par arbre de décision adopté pour l'extraction des unités spatiales homogènes



Carte 18 : Extrait de la carte géologique Bosquet Mostaganem



Carte 19 : Indice de végétation issue des canaux rouge et infrarouge du satellite Landsat 5 (année 2010)

L'inclusion des conditions de décisions (NDVI supérieur ou égale à 0, les quatre classes de pentes et les classes trois géologiques) dans notre l'algorithme de décision doit nous donner 24 nouvelles classes au maximum.

Après l'analyse visuelle et l'application des filtres, nous avons abouti à six classes essentielles prises comme unité homogène, l'application du filtre médian nous a permis de négliger les plus petites classes qui n'ont aucune signification spatiale.

Tableau 29 : Classes déduites de la classification par arbre de décision

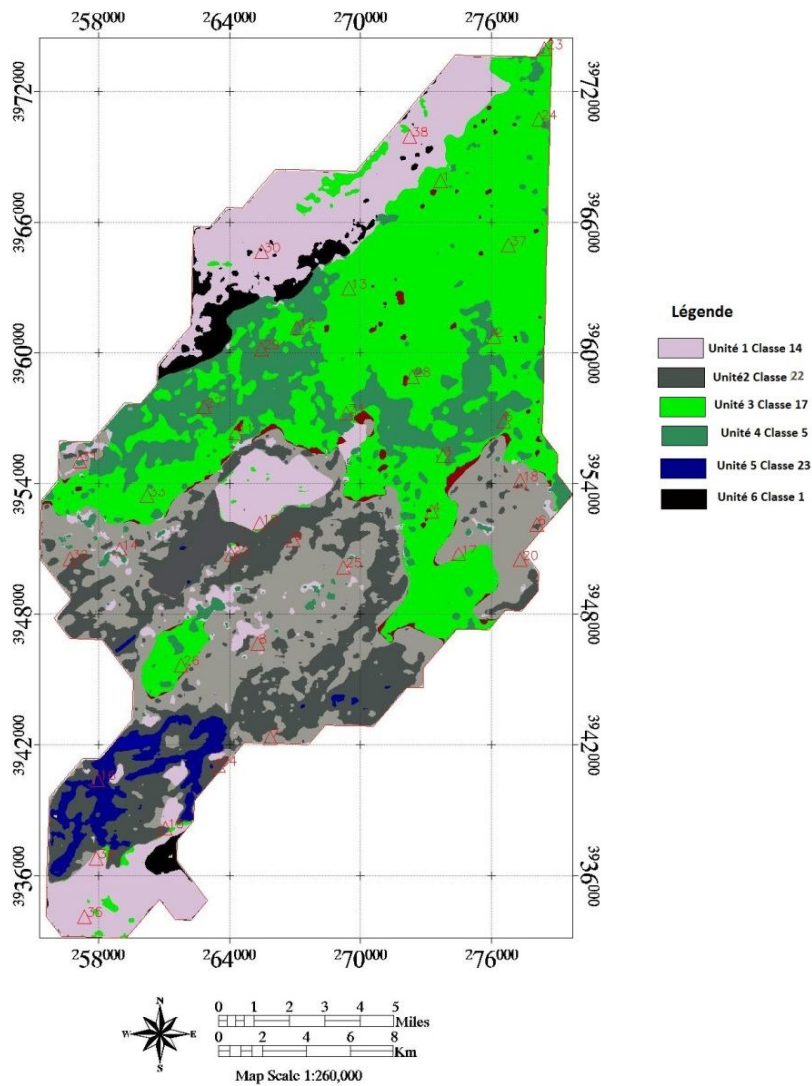
Classes	TVI	Géologie	Pente
1	>1.14	G1	<5%
5	>1.14	G2	<5%
14	<1.14	G1	5-15%
17	<1.14	G2	<5%
22	<1.14	G3	<5%
23	<1.14	G3	15-30%

Avec :

G1 : Agile sableuse

G2 : Alluvions

G3 : Carapace calcaire



Carte 20: Unités spatiales homogènes extraites de la classification par arbre de décision

Les aires délimitées sont homogènes en matière de type de pente, au taux du couvert végétal, et en structure lithologique qui est une homogénéisation dans le type du sol, de sa texture, de sa friabilité (érodabilité) et de son exposition à l'érosion. La carte réalisée, nous servira donc, comme étant un document de base pour le choix des stations d'échantillons et pour les travaux de terrain.

IV.3. Travaux de terrain

IV.3.1. Prospection et reconnaissance

Un parcours général sur le sous bassin qui encadre la zone à étudier a été fait sur la base des documents cartographiques (carte topographique, carte des unités homogènes) et des images satellitales ; cette tournée a pour objet de confronter les prévisions avec la réalité (validation des cartes), d'apprécier la valeur et l'importance des connaissances déjà acquises sur le sujet, d'estimer les moyens nécessaires aux travaux d'échantillonnage.

En bref, cette reconnaissance préalable permet de préciser la méthodologie, les moyens à mettre en œuvre et la date d'entamer le terrain.

IV.3.2. Sortie de terrain

Cette étape de travail qui a commencé le 27 avril jusqu'au 07 mai 2012, nous a permis de prendre contact avec le terrain afin de voir sa complexité et choisir l'itinéraire à suivre dans les travaux.

Six stations ont été déterminées (selon le nombre des unités homogènes limitées) pour les relevés des échantillons du sol. Nous avons pris note de plusieurs informations sur les sites échantillonnés (date, temps, coordonnées géographiques, pierosité ...).

IV.3.3. Analyse de laboratoire

En arrivant au laboratoire, les échantillons sont numérotés dans des sachets pour des analyses granulométriques déterminant la texture du sol des sites échantillonnés.

Les résultats de ces analyses seront utilisés directement à la réalisation de la carte d'érodabilité des sols suivant les critères adoptés par le programme CORINE antiérosif.



Photo 3 : Station choisie pour échantillonnage(photo prise par D. BAGHDADI)

CHAPITRE III.
PRÉSENTATION ET APPLICATION DU
PROGRAMME CORINE

I. Introduction

Depuis l'établissement du programme de l'environnement de la Communauté européenne en 1973, le besoin d'améliorer la connaissance au sujet de l'environnement est apparu. En réponse à ce besoin, l'union européenne a entrepris une série de travaux préparatoires qui ont mené le Conseil des Ministres à adopter une décision sur un programme de travail qui comprend un projet expérimental qui rassemble et fait la coordination de l'information sur l'environnement, donnant le nom de CORINE à ce programme en juin 1985.

II. Méthodologie du programme

L'opération consiste à évaluer, qualitativement, les risques potentiels d'érosion des sols en premier lieu, et, en deuxième lieu, d'apprécier les risques actuels d'érosion des sols, en se basant sur des données descriptives.

II.1. Appréciation du risque potentiel d'érosion des sols

L'appréciation des risques potentiels d'érosion se fait en combinant les trois facteurs :

$$A = K * R * S$$

K : érodabilité des sols.

R : érosivité de la pluie.

S : importance de la pente.

a) Classes d'érodabilité des sols (K)

L'appréciation de l'érodabilité des sols se fait par la combinaison de trois notes attribuées respectivement à la texture, à la profondeur et à l'importance des éléments grossiers. Pour la texture, nous nous référons au triangle de la FAO sur lequel les 13 classes ont été affectées à une note selon la sensibilité à l'érosion hydrique du matériau correspondant :

La texture : trois notes sont attribuées

- note 1 pour les matériaux stables, riches en colloïdes argileux.
- note 3 pour les matériaux les plus sensibles, riches en limons.
- note 2 intermédiaires entre les notes précédentes.

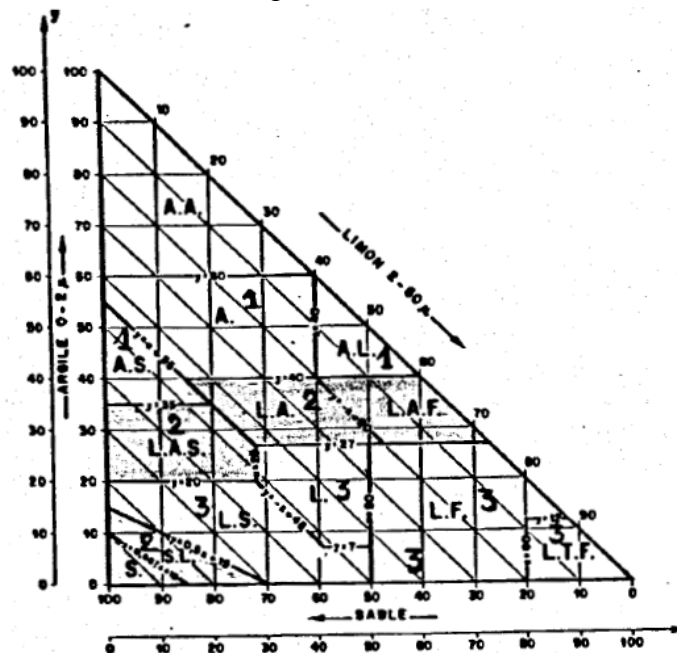


Figure 19 : Triangle de la FAO orthonormé

(D'après P.Falipo, J.P Lecros, R.Bertrand in : sols 1981 n°05 29-40)

Erodabilité des sols :

- Peu érodable : Argile Sableuse (A.S), Argile (A), Argile Limoneuse (A.L).
- Moyennement érodable : Limon Argilo-Sableux (L.A.S), Limon Argileux (L.A), Sable (S), Sable Limoneux (S.L), Limon Argileux fin (L.A.F).
- Fortement érodable : Limon Sableux (L.S), Limon (L), Limon fin (L.F), Limon très fin (L.T.F).

Profondeur: trois notes sont attribuées :

- Note1 : profondeur > 75 cm.
- Note2 : profondeur entre 25 et 75 cm.
- Note3 : profondeur < 25 cm.

Charge de surface ou pierosité : deux notes sont attribuées :

- Note1 : > 10% d'éléments grossiers.
- Note2 : < 10% d'éléments grossiers.

Suite à à cela , nous pouvons extraire les classes d'érodabilité des sols en combinant d'une manière multiplicative les trois notes de textures, les trois notes de profondeur et deux notes de pierrosité, en aboutissant sur 18 notes, qui sont par la suite subdivisées en trois classes à savoir :

- Note de 1 - 3 : classe 1 : sol peu érodable.
- Note de 4 - 6 : classe 2 : sol moyennement érodable.
- Note de 7 - 18 : classe 3 : sol fortement érodable.

b) Classes d'érosivité de pluies (R)

Selon le programme CORINE, l'appréciation de l'érosivité des pluies se base sur la combinaison de deux paramètres qui sont :

- **Indice de FOURNIER**

$$If = \sum_{i=1}^{12} \frac{(pi)^2}{P}$$

Avec :

Pi : pluviométrie moyenne mensuelle

P : pluviométrie annuelle

Les classes sont déterminées comme suit :

- Classe 1 : < 60.
- Classe2: 61-90.
- Classe 3 : 91 - 120.
- Classe 4: 121-160.
- Classe 5 : > 160.

- **Indice de BAGNOULS et GAUSSEN (BGI)**

Cet indice, traduit la durée et l'intensité de la saison sèche, sa détermination consiste à ressortir le nombre de mois secs consécutifs à partir du diagramme Ombrothermique.

Au cours de ces mois secs, nous retenons le nombre « p », des jours sans pluies, c'est-à-dire éliminer le nombre des jours pluvieux.

Les autres jours sans pluie, ne sont pas nécessairement des jours biologiquement secs, il faut compter un apport d'eau sous une autre forme que les précipitations, telle que l'humidité relative (HR) atmosphérique.

Pour faire intervenir cette norme d'eau, nous convenons de tenir en compte les conditions suivantes, si :

- HR < 40%, les jours sont secs
- 40% < HR < 60%, un jour compte pour 9/10
- 60% < HR < 80%, un jour compte pour 8/10
- HR > 80%, un jour compte pour 7/10

structure, profondeur, teneur en matière organique...) jouent un rôle important dans la résistance de ce dernier à l'érosion. On cite certains qui sont intégrés dans l'application du programme :

a) Texture

La texture caractérise la friabilité du sol et détermine le type d'érosion : en nappe, si elle est argileuse et en rigole, si elle est limono sableuse. Les sols limoneux et sableux sont des sols instables et les sols argileux sont plus stables, donc selon le pourcentage de chaque élément on détermine la texture du sol.

Les analyses au laboratoire des échantillons nous ont données les caractéristiques texturales de chaque sol limité selon les unités homogènes déterminées.

Les sols de la zone d'étude présentent trois textures :

- Sols de texture argileuse (A), ils se localisent dans la partie sud du bassin (El Bordj, El Kelaa, Sidi Saada),
- Sols de texture argilo-sablonneuse (AS), répartie du centre au nord dans Yellel, Elmatmar, Relizane et Belhacel,
- Sols de texture sablonneuse (S) représentée par deux profils.

La dispersion de la composition granulométrique dans le bassin versant est caractérisée par la dominance de la fraction argileuse avec une moyenne de 45 % et un taux de sable qui varie entre 7 et 44 %. Pour la fraction limoneuse, elle est faible et la moyenne est de 9 %.

b) Profondeur

Elle a un rôle très important, les sols les plus profonds se caractérisant par la présence des couches A, B, et C sont plus résistants à l'érosion, au contraire des sols qui ne contiennent qu'une ou deux couches (couche superficielle A et couche mère C), cas des sols de notre zone d'étude.

L'appréciation de l'érodabilité des sols se fait par la combinaison des trois notes attribuées respectivement à la texture, profondeur et la pierrosité.

Tableau 30: Propriétés et classes d'érodabilité des sols de chaque unité spatiale

	Unité 1	Unité 2	Unité 3	Unité 4	Unité 5	Unité 6
Texture	A.S	A.L	L.A.S	A.L	S.L	S.L
Note	1	2	2	1	2	2
Pierrosité	<10%	<10%	<10%	<10%	>10%	>10%
Note	2	2	2	2	1	1
Profondeur (cm)	<25	<25	>75	>75	<25	<25
Note	3	3	1	1	3	3
Erodabilité	6	12	4	2	6	6
Classe	2	3	2	1	2	2

c) Classes d'érosivité des pluies (R)

L'érosivité dépend des caractéristiques physiques de la pluie. L'augmentation de l'intensité de la pluie s'accompagne de l'augmentation de la taille, de la vitesse et de l'énergie cinétique des gouttes de pluie. Ainsi, plus l'intensité de la pluie augmente, plus sa capacité érosive augmente.

Deux paramètres ont été retenus : l'indice de FOURNIER et l'indice xérothermique de BAGNOULS et GAUSSEN, le premier s'obtient par le calcul de la pluviométrie moyenne mensuelle (Pi) et le module pluviométrique annuel (P) (indice établi par RQUIER et les pédologues de la FAO). Le deuxième (BGI) s'obtient par le calcul de la surface comprise entre les courbes de pluie et de température du diagramme de BAGNOULS et GAUSSEN. C'est un nombre qui traduit la durée et l'intensité de la saison sèche.

Indice de Fournier (IF):

$$\frac{(P_i)^2}{P}$$

Tableau 31 : Précipitations moyennes mensuelles, la moyenne annuelle est de P

mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	P
Pi	46,3	40,1	34,7	37,4	25,8	7,5	1,9	3,0	18,6	36,1	45,3	48,7	342,5
$\frac{(P_i)^2}{P}$	6.25	4.69	3.51	4.08	1.94	0.16	0.010	0.026	1.010	3.80	5.99	6.92	38.42

La somme des $\frac{(P_i)^2}{P}$ sur les douze mois nous donne **IF = 38.42**, puisqu'il est inférieur à 60 donc on

l'attribue à la première classe classe 1 →

Indice de BAGNOULS et GAUSSEN (BGI)

La saison sèche de la zone d'étude s'étale du mois d'avril au mois de novembre, ce qui explique une longue période sèche (huit mois)

Tableau 32: Indice xérothermique (p) de la période sèche

Mois	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct
Humidité relative%	57,6	56,2	56,5	57,6	64,2	68,9
Nbr de jours de pluie	9	2	1	2	3	7
Indice P	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8

- Au mois de mai, le nombre de jours biologiquement secs est de :
 $(31-9)*0.9= 21.71$
- Au mois de juin, le nombre de jours biologiquement secs est de :
 $(30-2)*0.9= 25.2$
- Au mois de juillet, le nombre de jours biologiquement secs est de :
 $(31-2)*0.9= 27$
- Au mois d'août, le nombre de jours biologiquement secs est de :
 $(31-2)*0.9= 26.1$
- Au mois de septembre, le nombre de jours biologiquement secs est de :
 $(30-3)*0.8= 21.6$
- Au mois d'octobre, le nombre de jours biologiquement secs est de :
 $(31-7)*0.8= 19.2$

L'indice (BGI) est donc la somme de jours biologiquement secs des huit mois :

$$I= 140.81$$

Puisque le (BGI) est supérieur à 130, on l'attribue donc à la quatrième classe → classe 4

Pour ressortir la classe d'érosivité, on combine d'une façon multiplicative les deux indices, BAGNOULS et GAUSSEN et de FOURNIER :

$BGI * IF = 4$

Donc, l'érosivité débouche sur la classe 2

d) Classe des pentes (S)

Selon le programme, quatre classes ont été adoptées (voir tableau 29)

Tableau 33 : Classes des pentes

Pentes %	< 5	5 – 15	15 - 30	> 30
Classe	1	2	3	4

Appréciation du risque potentiel d'érosion

L'appréciation du risque potentiel d'érosion se fait par la combinaison multiplicative des trois classes données respectivement à l'érosivité, à l'érodabilité et à la pente.

- Classe1: < 5 : risque potentiel nul ou faible.
- Classe2: 6 – 11 : risque potentiel moyen.
- Classe3: +11 : risque potentiel élevé.

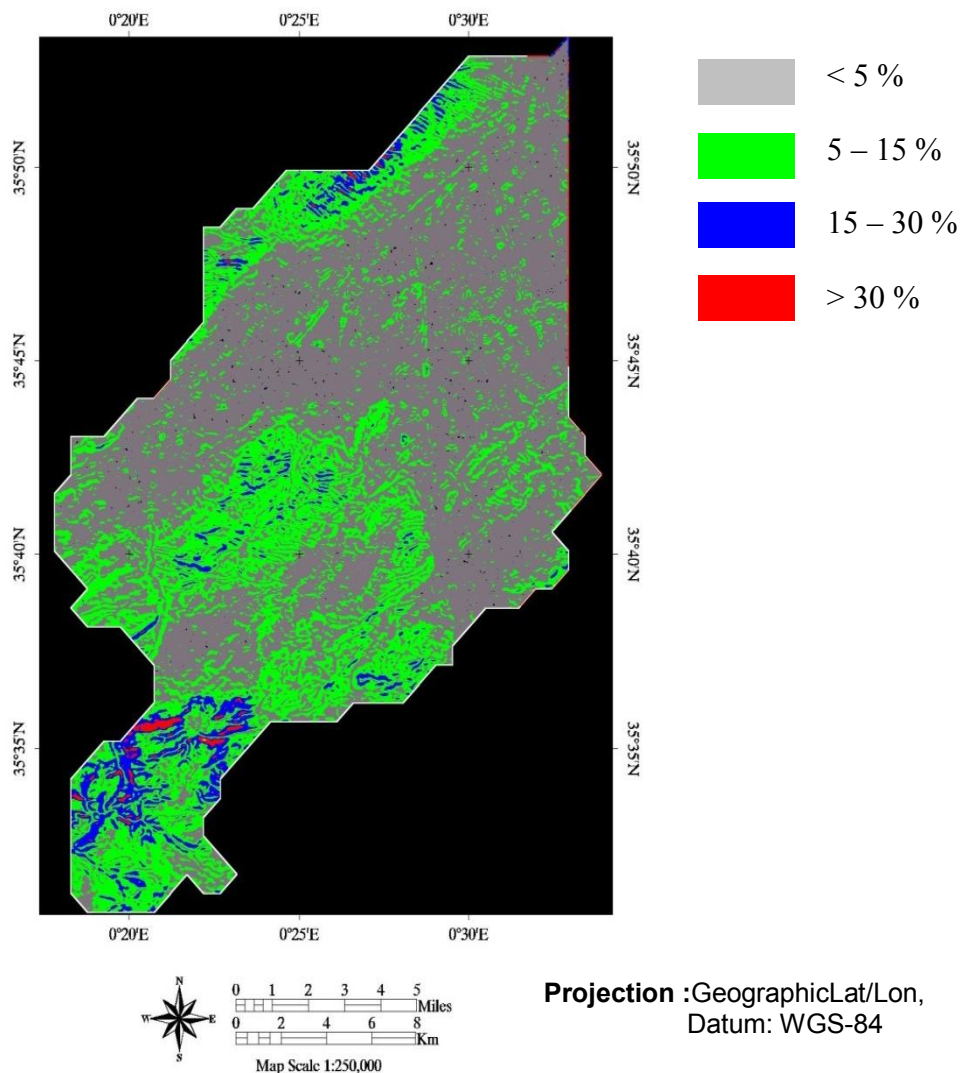
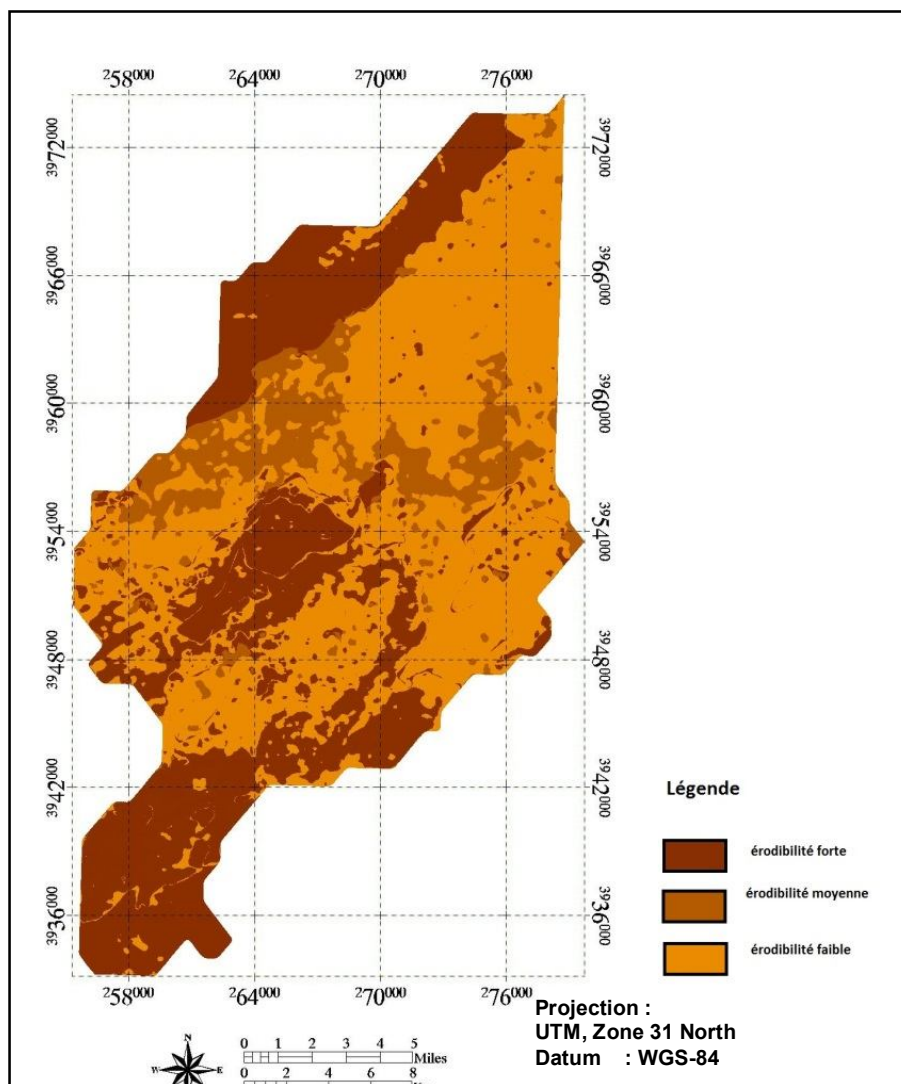
**Carte 21 : Classes des pentes de la zone d'étude**

Tableau 34: Risque potentiel d'érosion (R.P.E)

		Unité 1	Unité 2	Unité 3	Unité 4	Unité 5	Unité 6
Erodabilité	Texture	A.S	A.L	L.A.S	A.L	S.L	S.L
	Note	1	2	2	1	2	2
	Piérosité	<10%	<10%	<10%	<10%	>10%	>10%
	Note	2	2	2	2	1	1
	Profondeur (Cm)	<25	<25	>75	>75	<25	<25
	Note	3	3	1	1	3	3
	Erodabilité	6	12	4	2	6	6
	Classe erodabilité	2	3	2	1	2	2
Erosivité	IF	38.42	38.42	38.42	38.42	38.42	38.42
	Note IF	1	1	1	1	1	1
	BGI	>130	>130	>130	>130	>130	>130
	Note GBI	4	4	4	4	4	4
	IF*BGI	4	4	4	4	4	4
	Classe d'érosivité	2	2	2	2	2	2
Classe des pentes		1	2	1	3	3	3
EROD*EROS*PENT		4	12	4	6	12	12
Classe		1	3	1	2	3	3
R.P.E		faible	élevé	faible	Moyen	Elevé	élevé

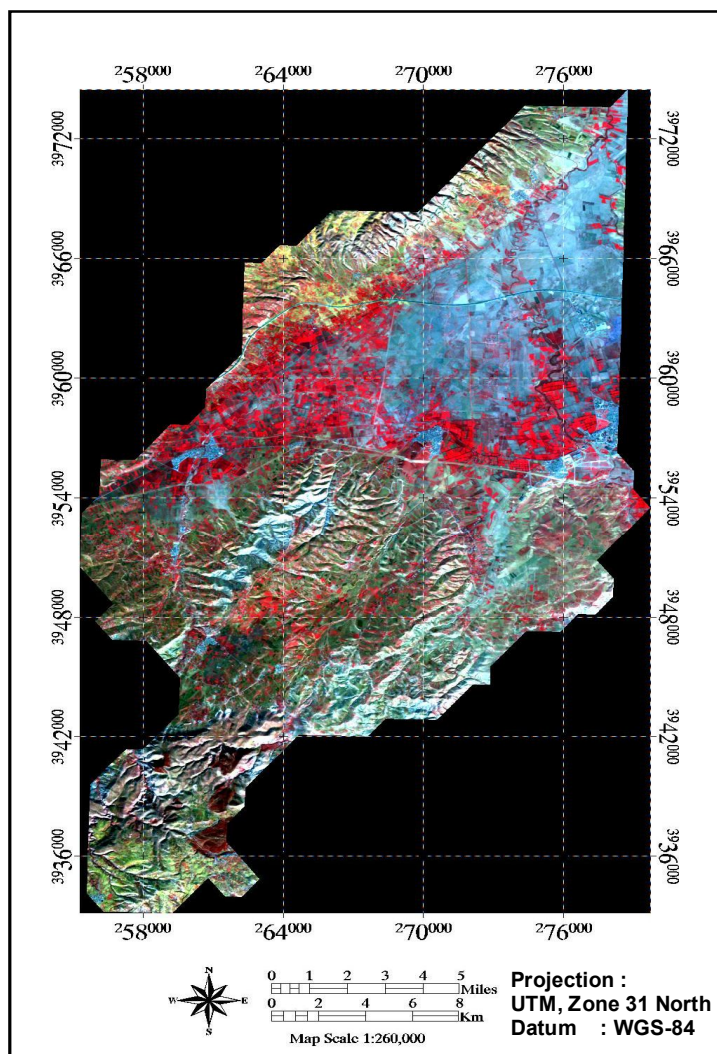


Carte 22: Classes du Risque Potentiel d'Erosion R.P.E

III.2. Appréciation du risque actuel d'érosion (R.A.E)

III.2.1. Extraction du taux de recouvrement

La couverture du sol est le facteur qui agit le plus efficacement contre l'érosion en protégeant la surface du sol contre la force érosive des gouttes de pluie et du ruissellement. Notre travail consiste à faire une estimation, à l'aide de l'imagerie satellitale, du taux de recouvrement végétal durant la saison printanière (période de prise de vue de l'image). Cette saison est connue par une forte chute de pluie (la période la plus pluvieuse dans la zone d'étude), engendrant un fort recouvrement végétal, ce qui facilite la détection de la végétation et l'application de la méthode d'indices adoptée dans ce travail pour le calcul du taux de recouvrement.



Carte 23: Composition colorée des trois bandes spectrales XS1, XS2, XS3 du satellite SPOT
Projection UTM zone 31 Datum WGS84

a) Méthode des indices de végétation

Les indices de végétation tirés des images permettent d'obtenir une idée sur la végétation qui occupe le bassin d'étude. Dans la littérature, on propose un grand nombre d'indices, dont les propriétés et les sensibilités aux facteurs externes diffèrent considérablement. La relation entre le taux de recouvrement végétal et les indices de végétation peut être identifiée à l'aide de plusieurs méthodes. D'après Purevdorj et al., 1998, de nombreuses études ont trouvé une relation linéaire entre les indices de végétation et les caractéristiques biophysiques de la végétation. Cependant, Cyr, 1993 a montré que chaque indice est un bon indicateur de la présence de la végétation verte vivante à sa façon, mais que chaque indice peut surestimer ou sous-estimer le taux de recouvrement en fonction du stade végétatif de l'espèce. Pour cela, nous avons adopté la méthode proposée par Purevdorj et al., 1998.

Les indices de végétation sont des combinaisons simples (somme et quotient le plus souvent) de deux bandes spectrales ou plus. Le rouge et le proche infrarouge, aussi le moyen infrarouge peut être utilisé. Les indices de végétation permettent d'augmenter le contraste d'une végétation verte (photosynthétiquement active). Les indices les plus utilisés sont :

- Le NDVI pour "Normalised Difference Vegetation Index" (Rouse et al., 1974, Jackson, 1983; Purevdorj et al., 1998),
- Le SR pour "Simple Ratio" (Pearson et Miller, 1972),
- Le SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) par (Huete, 1988),
- Le TSAVI (Transformed SAVI) par (Baret et Guyot, 1991),

- L'ARVI (Atmospherically Resistant Vegetation Index)
- Le SARVI, combinaison de SAVI et d'ARVI, par (Kaufman et Tanré, 1992),
- Le GEMI (Global Environment Monitoring Index) de (Pinty et Verstraete, 1992),
- Le MSAVI (Modified SAVI) de Qi et al. 1994 ou encore le MSARVIde (Huete et Liu, 1994).

De ces indices, le NDVI est le plus utilisé. Les raisons de cette popularité historique tiennent principalement à sa simplicité de calcul, à son caractère normalisé et à sa réputation de moindre sensibilité (par rapport aux réflectances) vis à vis de facteurs externes tels que les propriétés optiques du sol, la géométrie de l'éclairement ou les effets atmosphériques (In thèse de doctorat de Pascale CAYROL, nov2000). Mais des études postérieures ont montré qu'il est tout de même relativement sensible aux positions respectives du capteur et du soleil (effets directionnels) (Goward et al., 1991, Roujean et al., 1992), aux variations spatiales et temporelles de composition de l'atmosphère (effets atmosphériques) (Tanré et al., 1992). Pour cela l'indice choisi pour ce travail est l'indice de végétation normalisé (NDVI).

Dans le cas de la présente étude, nous ne cherchons pas le pourcentage de recouvrement pour chaque espèce végétale qui est présente dans le bassin ; Nous cherchons plutôt le taux de recouvrement général. Pour cette raison, nos calculs seront effectués avec les valeurs moyennes pour les taux de recouvrement prises du terrain, des cartes d'état de parcours (au sein du service du HCDS) et l'indice de végétation. Les équations suivantes donnent respectivement la forme générale des fonctions : linéaire, polynomiale du second ordre, et exponentielle, qui peuvent relier le taux de recouvrement végétal (R) avec l'indice de végétation normalisé (NDVI) :

$$R = a \cdot NDVI + b \quad \dots (1)$$

Où a, b et c sont les coefficients de régression (nombres réels)

Le calcul des constantes de l'équation de la droite de corrélation (taux de recouvrement et NDVI), nécessite un certain nombre d'échantillons avec un taux de recouvrement végétal et une valeur d'indices connus. Pour cette raison, 37 échantillons ont été pris du terrain à l'aide de l'image (landsat), où l'estimation du taux du couvert végétal était faite visuellement au terrain à l'aide des cartes d'état de parcours, de l'image landsat, et de la carte du NDVI. Selon ce principe, l'échantillonnage du site d'étude peut se faire par points ou par placettes. Puisque le travail consiste à faire une cartographie à partir de l'analyse numérique des images, il est conseillé de choisir un échantillonnage par placettes non stratifiées (Northwest Hydraulic Consultants Ltd., 1995).

La technique d'échantillonnage utilisée ici est celle qui a été utilisée par (Godard, 1996) dans le sud-ouest de la Mauritanie, région semi-aride avec une végétation éparse ce qui est semblable à notre cas. La taille des placettes d'enquête ne devait pas être inférieure à (9 x 9 pixels) en raison du niveau de précision de la localisation ; d'après l'équation de TownshPuisqueend et Justice (Keersmaecker, 1987) :

$$R = a \cdot (NDVI)^2 + b (NDVI) + c \quad \dots (2)$$

Où :

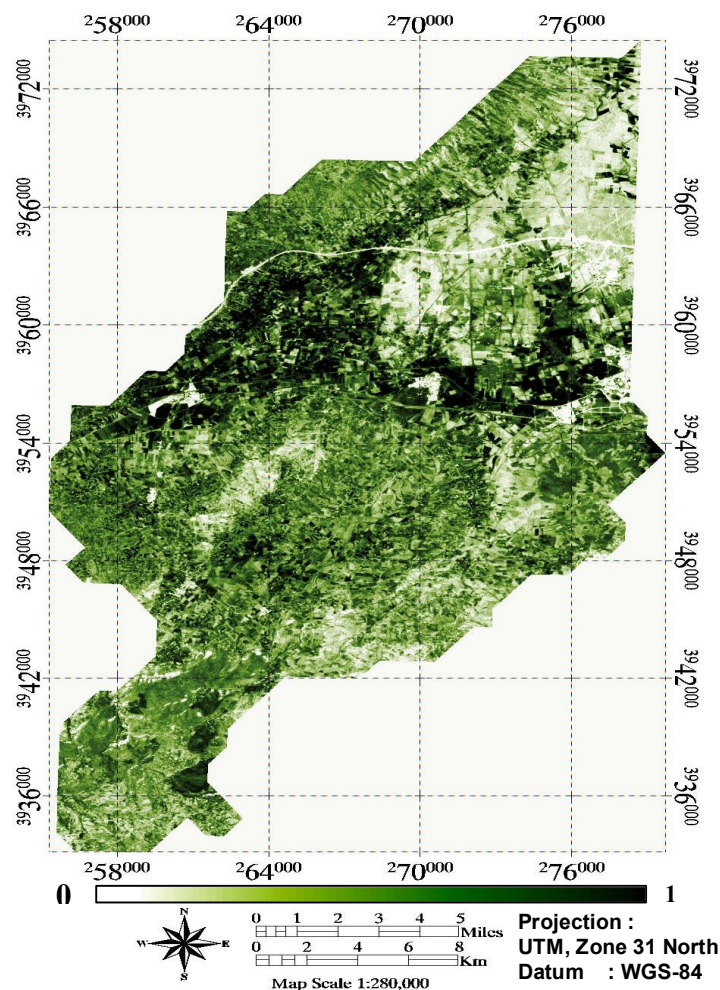
A est la plus petite placette,

L est la taille du pixel (ici 20m),

n est l'erreur de précision en nombre de pixels (ici 4).

Donc :

$$A = 20[1 + (2 \times 4)] = 180m = 9 \text{ pixels}$$



Carte 24 : NDVI pris des canaux rouge et infrarouge de l’image Landsat 5 TM

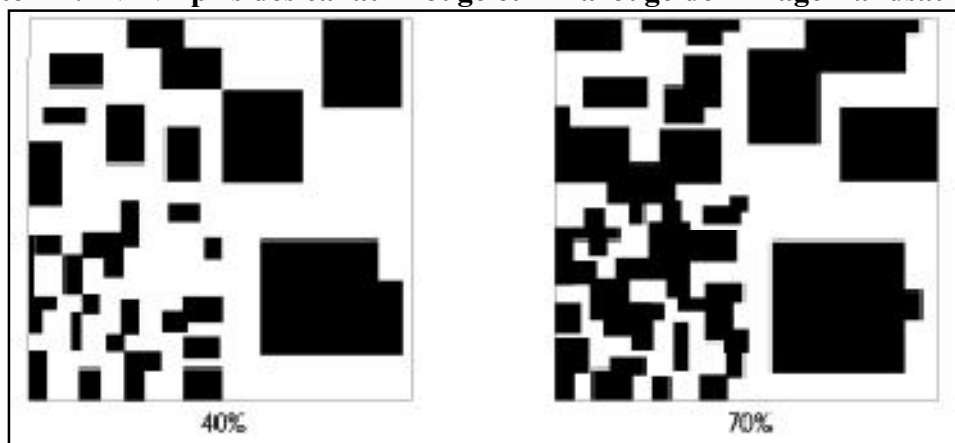


Figure 20 : Estimation visuelle du pourcentage de couverture d’une surface donnée, indiquée par les surfaces colorées en noir

Guide sur la gestion et la conservation des sols (F.A.O AGL/MISC/27/2000)

Puisque nous sommes en présence d’une formation végétale claire semi, et afin de bien étudier le couvert végétal, nous avons choisi l’approche des placettes. Le nombre de ces placettes à utiliser étant en fonction de l’hétérogénéité du site d’étude, cette dernière a été appréciée à partir des valeurs de l’image d’NDVI. Parmi les dix échantillons ramenés du terrain, nous avons pris 30 échantillons pour le teste de corrélation (taux de recouvrement-NDVI), et les 8 autres ont été gardés pour la validation.

Pour choisir la fonction qui représente au mieux la bonne relation entre l'NDVI et le taux de recouvrement, nous sommes basé sur la valeur du coefficient de corrélation, une bonne corrélation est celle qui a un coefficient supérieur ou égal (0.6).

Nous disposons, donc, de trois relations qui donnent le taux de recouvrement en fonction du NDVI. D'après le premier graphe, nous avons bien remarqué qu'il y a une forte corrélation entre l'NDVI et le taux de recouvrement avec un coefficient de corrélation égal à ($r^2=0.92$), mais l'application de cette relation sur l'image d'NDVI pour le calcul du pourcentage du taux de recouvrement nous a donné des valeurs qui ne représentent pas la réalité du terrain, le plus souvent les valeurs dépassent les normes (supérieur à 100%).

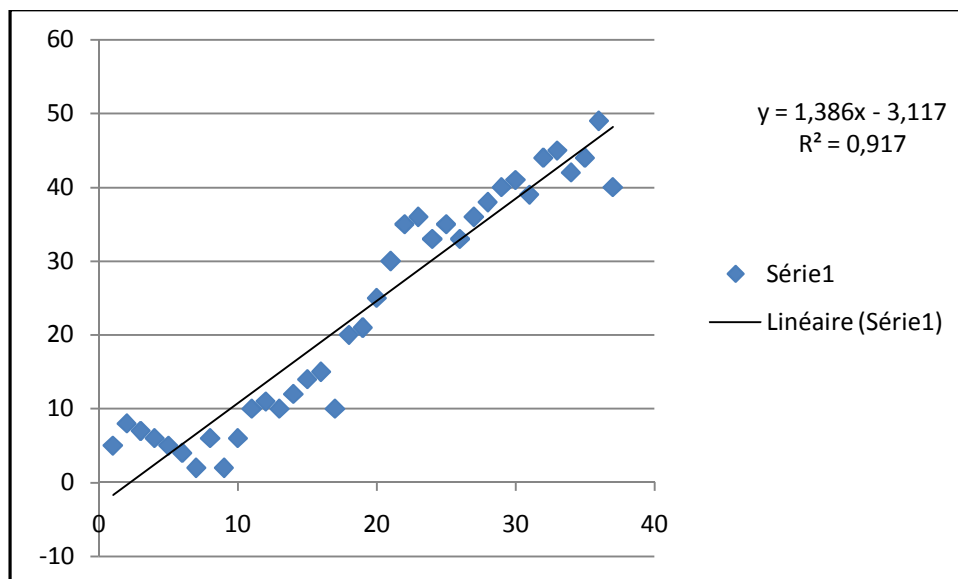
Le graphe suivant, nous représente la relation linéaire simple entre l'NDVI et le taux de recouvrement, la corrélation est acceptable puisque le coefficient de corrélation est égale à ($r^2 = 0.92$), l'application de cette relation nous a donné de très bon résultats qui représentent mieux la réalité du terrain.

$$R = a . e^{b (NDVI)} \dots (3)$$

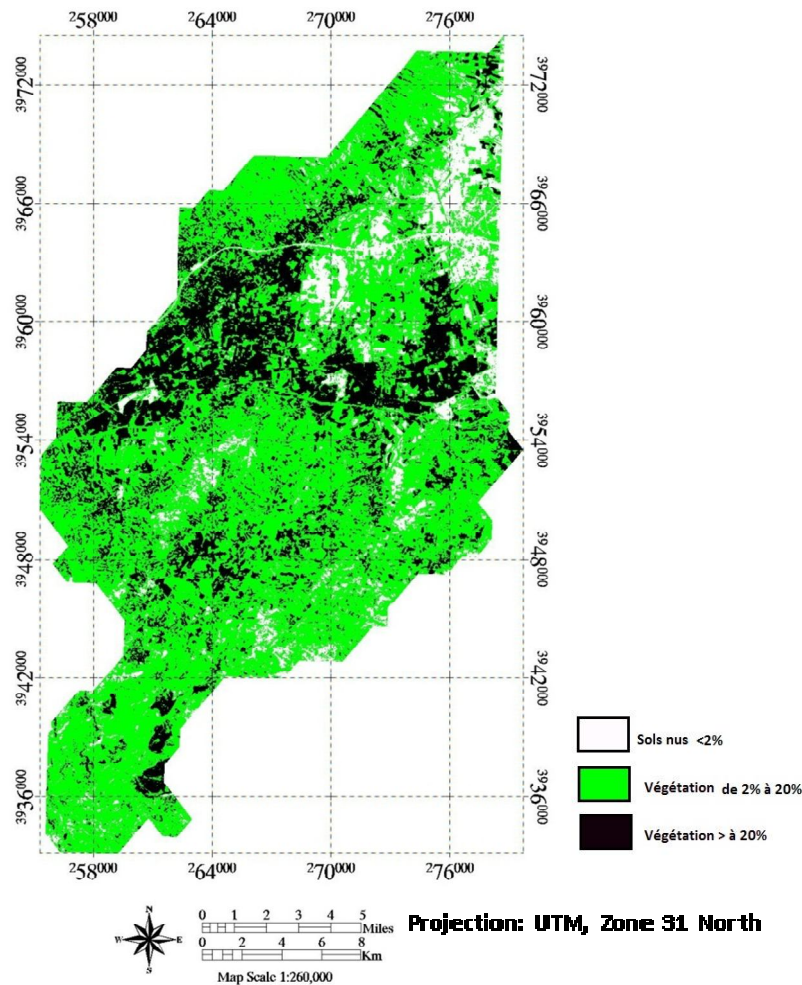
Les quatre échantillons gardés sont remplacés dans l'équation (5) pour la validation, ce qui nous a donné de très bons résultats, et qui expliquent la bonne corrélation exprimée par cette relation (voir tableau 31).

Tableau35 : Validation des résultats (corrélation taux de recouvrement - NDVI)

	TVI	Taux (terrain) %	Taux (calculé) %
Echantillon 1	1.08	10	10.38
Echantillon 2	1.16	29	25.13
Echantillon 3	1.19	30	30.66
Echantillon 4	1.25	47	41.73



Graph 21 : Relation linéaire simple entre l'NDVI et taux de recouvrement



Carte 25 : Classes du taux de recouvrement exprimé en pourcentage

On distingue sur la carte trois classes de recouvrement végétal, la première est complètement dénudée de végétation, elle correspond à des affleurements rocheux, ou à des zones de bâti (commune chef-lieu, sols nus aux alentours de la commune). La deuxième avec une végétation de moins de 20%, correspond à une végétation naturelle poussant à des altitudes moyennement importantes aux flancs des montagnes. La troisième classe est celle qui présente un taux de recouvrement de plus de 20% représentée sur des parcelles agricoles suivant les berges des oueds, ou des zones reboisées en atteignant un recouvrement qui dépasse les 30%. Les classes du risque d'érosion attribuées à l'information du taux de recouvrement sont :

- Fort risque pour les zones dénudées de végétation.
- Risque moyen pour les zones de moins de 20% de recouvrement.
- Faible risque pour les zones qui dépassent 20% de recouvrement.

III.3. La réalisation de la carte d'appréciation des risques actuels d'érosion

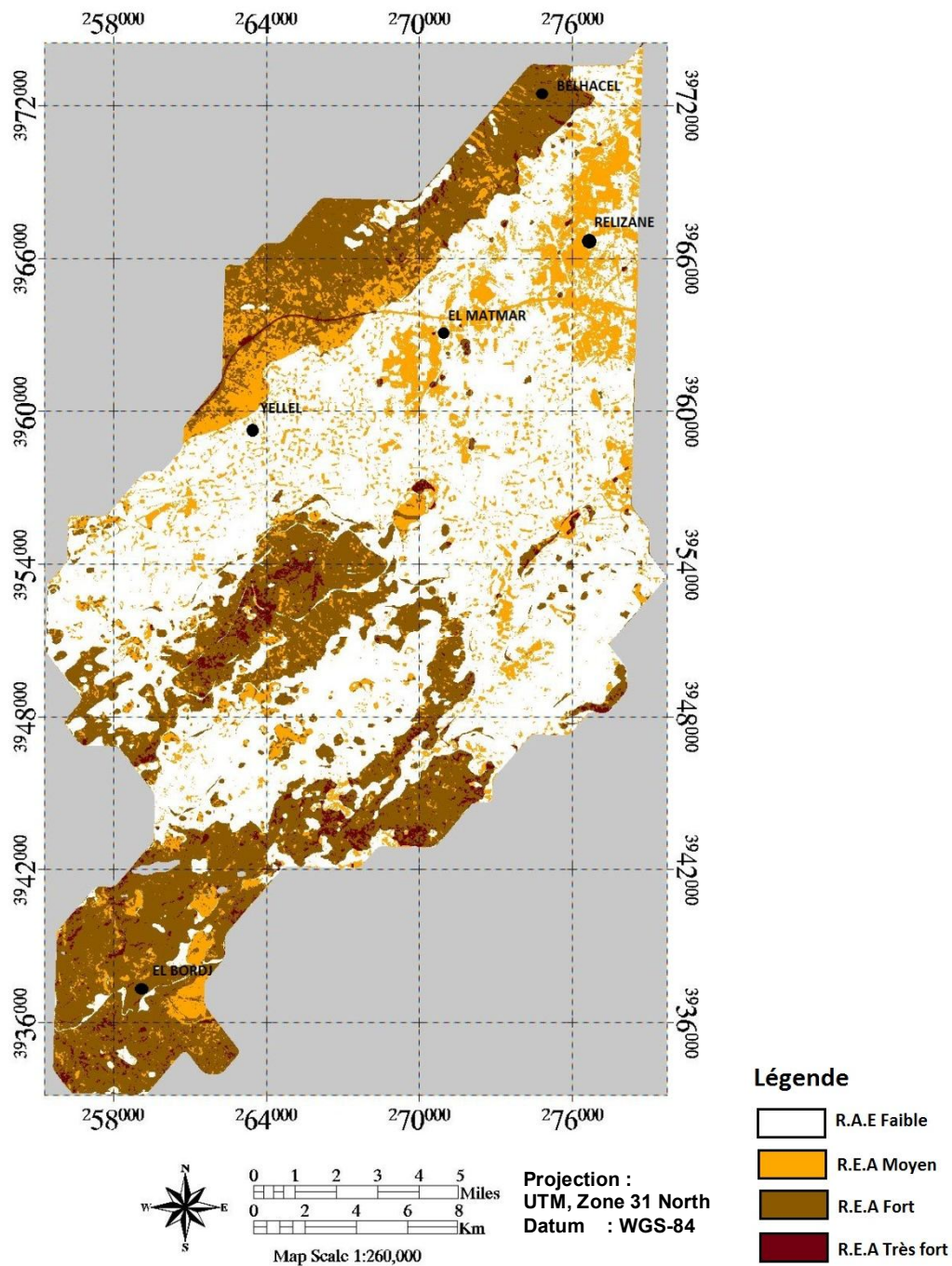
La combinaison de cette carte avec celle du risque potentiel d'érosion nous donne la carte du risque actuelle d'érosion.

Afin de pouvoir superposer les deux cartes suscitées, nous les avons rapportées sur la même projection et résolution spatiale, ainsi que sur la même taille où, une extraction d'une fenêtre a été faite de la carte du risque potentiel d'érosion.

La multiplication des trois classes de risque (faible, moyen et fort) potentiel d'érosion (R.P.E) et les trois classes densité de couvert végétal (pas de couvert, couvert inférieur de 20% et un couvert supérieur à 20%), nous donné neuf (09) nouvelles classes, qui seront rapportées à quatre classes représentant le risque actuel d'érosion (R.A.E) :

- Classe 1 : 1 et 2 ———> risque actuel d'érosion faible.

- Classe 2 : 3 et 4 ———> risque actuel d'érosion moyen.
- Classe 3 : 5 et 6 ———> risque actuel d'érosion fort.
- Classe 4 : 7, 8 et 9 ———> risque actuel d'érosion très fort.



Carte 26: Classes du risque actuel d'érosion (R.A.E)

III.4. Discussions et conclusions

Dans le but de réaliser une cartographie des risques d'érosion hydrique à l'échelle du sous bassin versant de l'Oued Yellel, et afin de localiser précisément les zones sensibles à ce phénomène, une analyse des données multi sources a été effectuée à l'aide d'un système d'information géographique, qui est un outil essentiel pour la spatialisation et la localisation de l'information voulue à atteindre. Pour bien décortiquer les résultats, nous avons réalisé une analyse sur des échantillons choisis volontairement et qui représentent les différents cas érosifs engendrés dans cette étude. Nous tenons à signaler que dans ce travail, le facteur d'érosivité des pluies agit de la même façon sur toute la zone d'étude avec un facteur de pondération qui égale à deux (2), cela est dû au manque de données pluviométriques, ainsi qu'à l'insuffisance du nombre des stations météorologiques où nous étions obligés d'utiliser les données d'une seule station, la plus proche de notre zone d'étude.

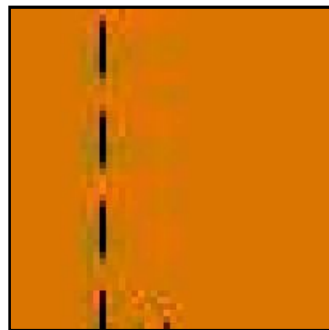
Premier cas, le site choisi est moyennement érodable (risque potentiel d'érosion moyen), cela est dû à sa texture peu friable (limon argilo_fine), à sa profondeur (25 à 75cm) et à sa douce pente (selon le programme CORINE). Le facteur du couvert végétal (>20%) a joué le bon rôle d'affaiblir les aléas érosifs, ce qui aboutit à un risque actuel d'érosion faible.

Deuxième cas, le site est à forte érodabilité, les caractéristiques de la texture du sol sont pareilles au premier cas, mais le facteur de la profondeur a abaissé sa potentialité (<25cm), en plus à la pente qui dépasse 5% favorise l'accélération de l'érosion (risque potentiel d'érosion fort). De plus, le couvert végétal clairsemé (<20%) a joué un rôle pour l'atténuation de la force des pluies et de la vitesse du ruissellement qui arrachent les particules des sols, donc la diminution du risque actuel d'érosion hydrique.

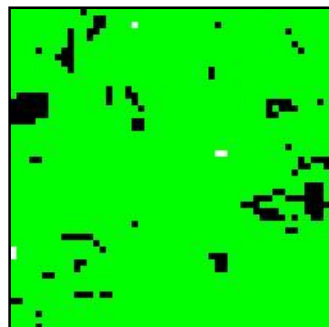
Troisième cas, la forte condition d'érodabilité et une pente moyenne engendrent un risque potentiel moyen, l'absence du couvert végétal (parcelles cultivables à couvert végétal qui n'est pas permanent), augmente le risque actuel d'érosion pour être fort.

Les sites du **quatrième et cinquième cas**, courent un risque actuel d'érosion très fort, les deux sont à érodabilité de la troisième classe, le premier à un bon couvert végétal mais l'agressivité de la pente à jouer un rôle très important à l'accélération de l'érosion, tandis que le deuxième ne représente aucune couverture végétale et une pente très élevée qui rend le site fortement érodable.

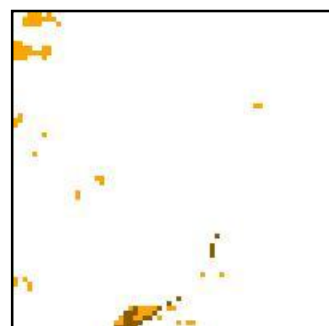
Cette étude peut aider à orienter les perspectives et la priorité d'intervention et d'aménagement, par une localisation plus précise des zones les plus vulnérables à l'érosion comme elle pourrait servir à une bonne gestion des terres dans un milieu semi-aride connu par sa fragilité et sa menace par l'érosion.



Erodabilité	Classe 2
Erosivité	Classe 2
Pente	Classe 1 (<5%)
R.P.E	Classe 1 (faible)



Clas.couv-vgt	Classe 2 (>20%)
---------------	-----------------



R.A.E	faible
-------	--------

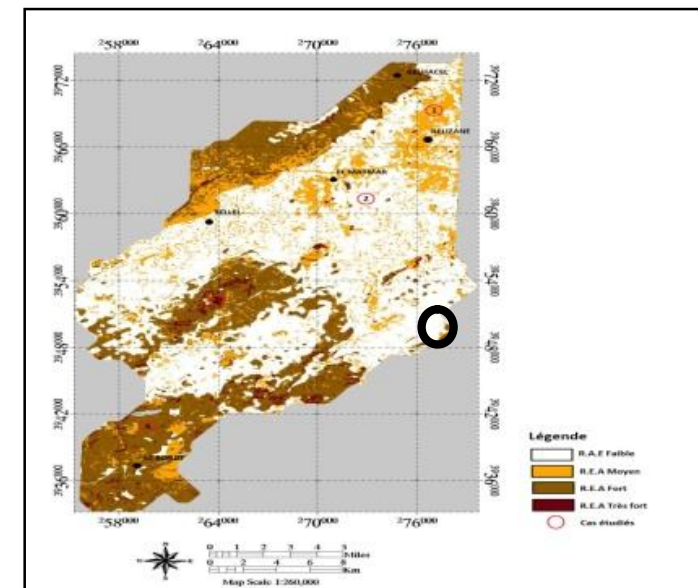
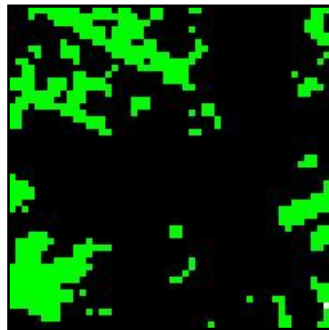


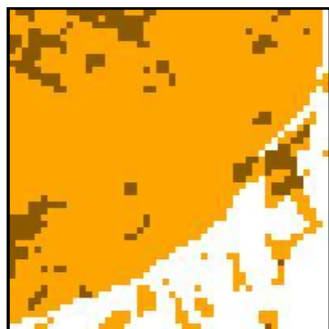
Figure 21 : 1er Cas : Erodabilité faible, pente douce et bon couvert végétal, de faibles conditions d'aléa érosif



Erodabilité	Classe 3
Erosivité	Classe 2
Pente	Classe 1 (<5%)
R.P.E	Classe 2 (Moyen)



Clas.couv-vgt	Classe 2 (>20%)
---------------	-----------------



R.A.E	Classe 2 (moyen)
-------	------------------

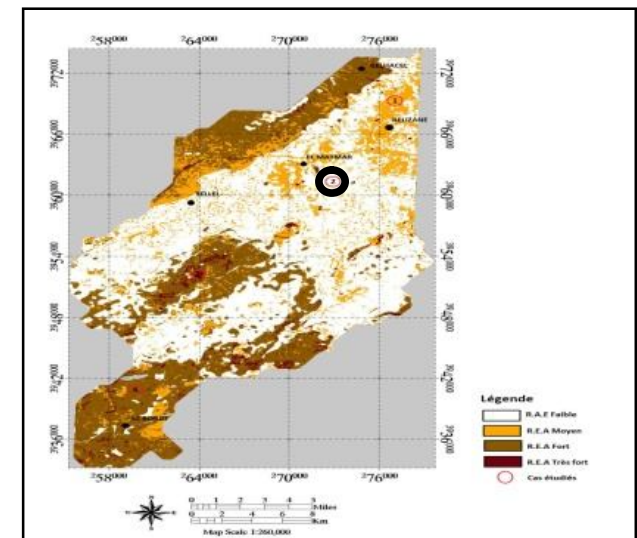
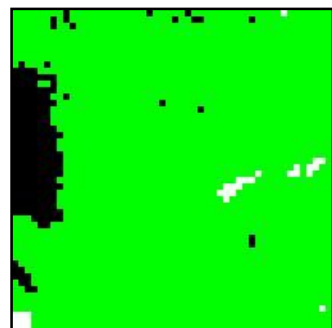


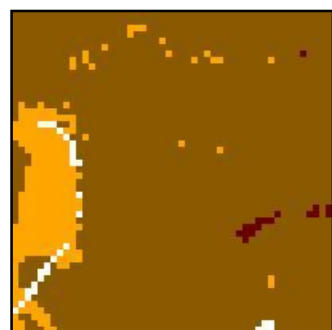
Figure 22 : 2eme Cas : Forte érodabilité, pente moyenne et couvert végétal clairsemé de conditions moyennes d'aléa érosif



Erodabilité	Classe 3
Erosivité	Classe 2
Pente	Classe 3 (15-30%)
R.P.E	Classe 3 (élevé)



Clas.couv-vgt	Classe 2 (<20%)
---------------	-----------------



R.A.E	Classe 3 (fort)
-------	-----------------

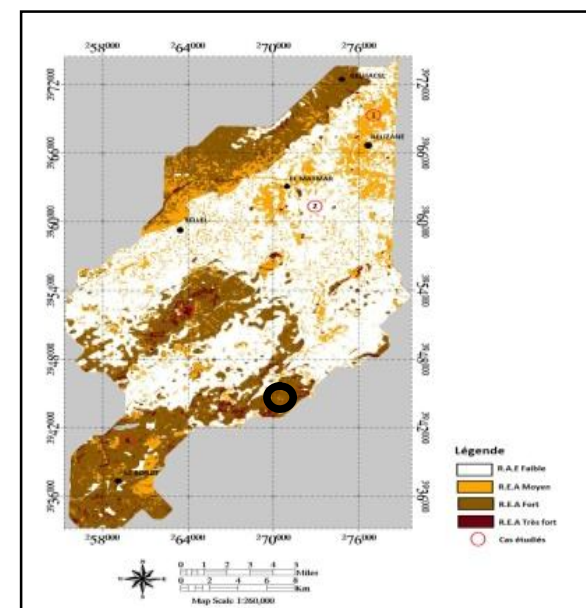
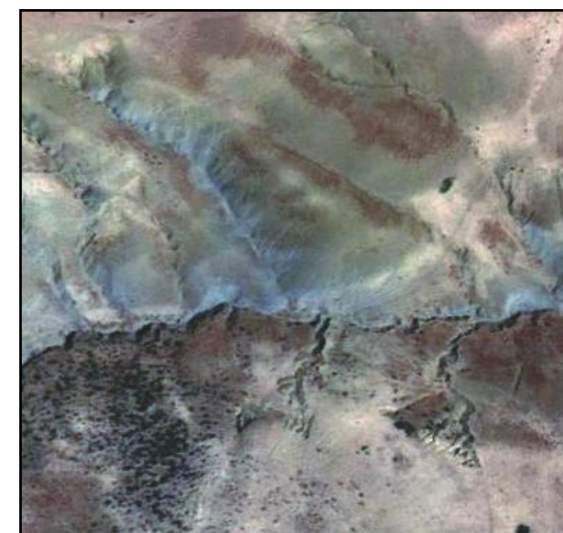
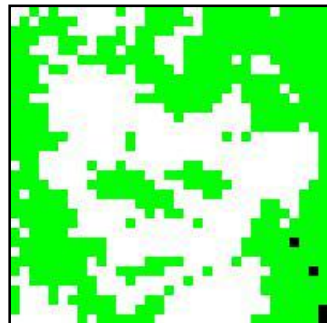


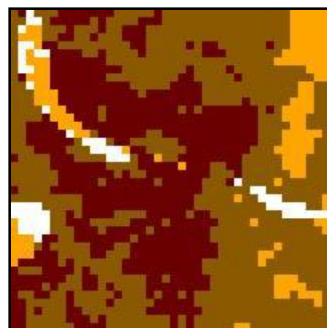
Figure 23 : 3eme Cas : Forte érodabilité, forte pente et faible couvert végétal de conditions qui favorisent un fort risque actuel d'érosion



Erodabilité	Classe 3
Erosivité	Classe 2
Pente	Classe 3 (15-30%)
R.P.E	Classe 3 (fort)



Clas.couv-vgt	Classe 3 (sols nus < 2%)
---------------	--------------------------



R.A.E	Classe 4 (très fort)
-------	----------------------

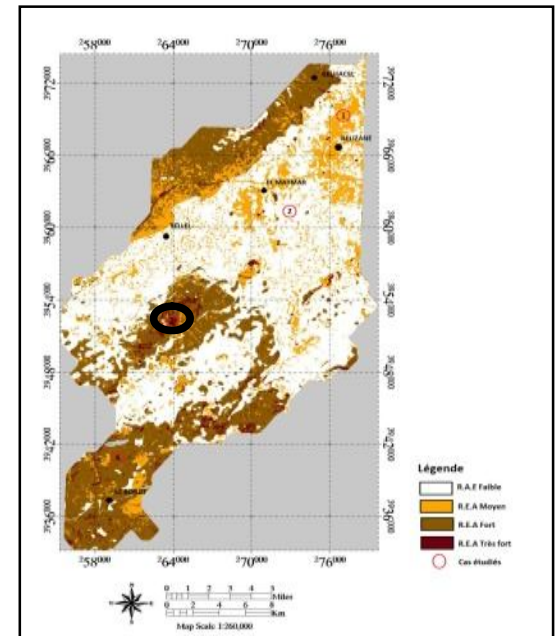


Figure 24 : 4eme Cas : Forte érodabilité, sols nus et l'agressivité de la pente facteurs favorisant un risque actuel d'érosion très élevé

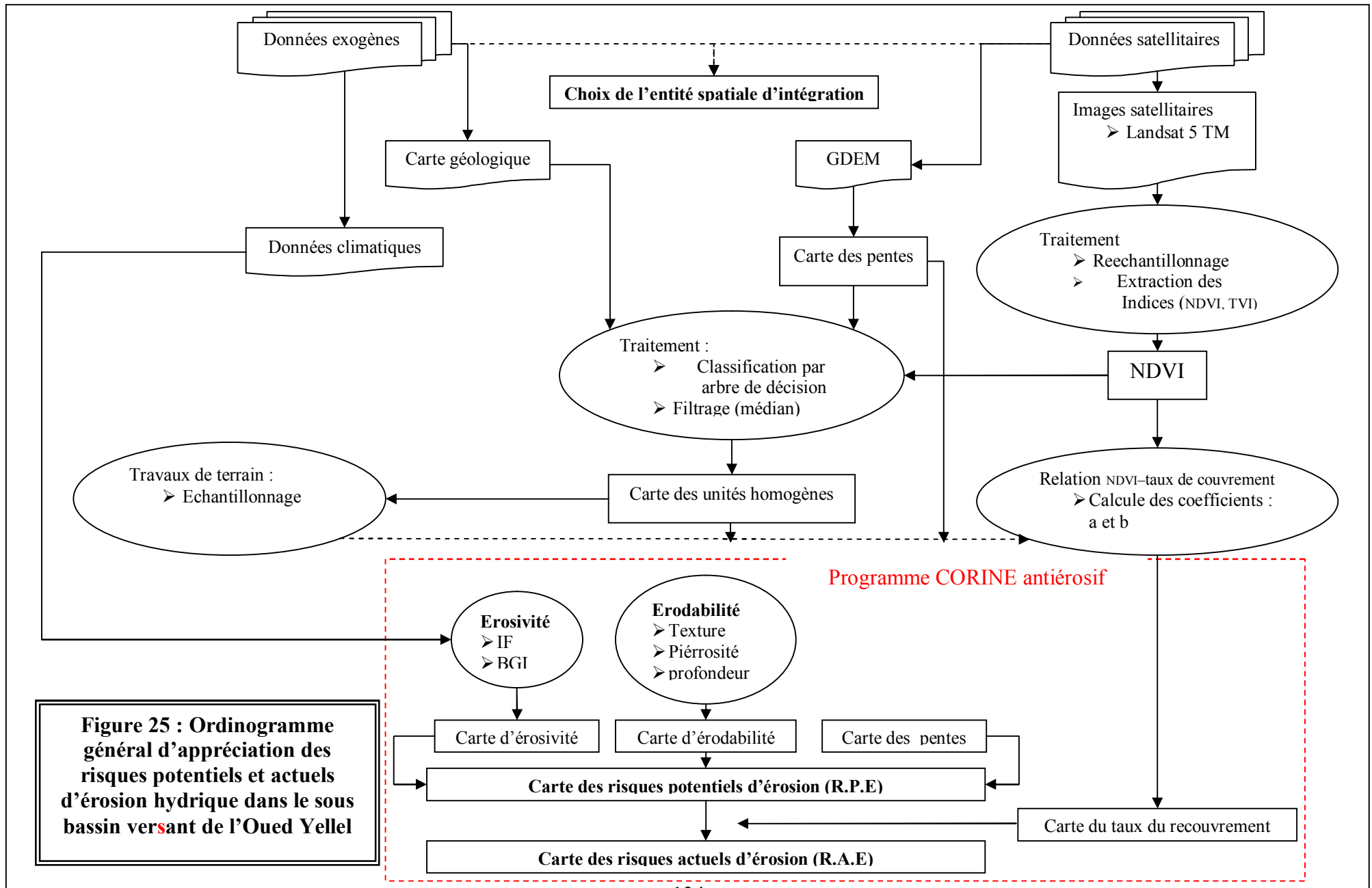


Figure 25 : Ordigramme général d'appréciation des risques potentiels et actuels d'érosion hydrique dans le sous bassin versant de l'Oued Yellel

Conclusion générale

Les résultats de ce travail montrent l'intérêt de l'utilisation de la technologie de la télédétection et des SIG dans l'évaluation des risques de l'érosion hydrique dans une région semi-aride et partiellement montagneuse. La carte du risque d'érosion élaborée pourrait constituer un document de base pour tout aménagement proposé.

La méthode utilisée a permis d'identifier des zones à risque fort, moyen ou faible d'érosion dans le sous bassin versant de l'Oued Yellel. Elle peut être généralisée sur tout le bassin versant de l'Oued Mina qui connaît actuellement des aléas d'érosion hydrique qui présentent un très grand risque dans la région en englobant les terres à vocation agricole aux berges des oueds et cours d'eau.

La méthodologie adoptée dans cette étude a permis de réaliser une carte du risque d'érosion à travers l'application du programme CORINE antiérosif, qui est un système d'informations coordonnées sur l'état de l'environnement et des ressources naturelles. Il nous a permis de présenter les risques (potentiels et actuels) d'érosion sous forme d'un document cartographique. En nous basant sur des données de télédétection et d'autres données exogènes, nous avons pu réaliser une série de cartes thématiques et, à l'aide des SIG, nous avons fait le croisement de ces cartes afin de déterminer les régions sujettes aux risques d'érosion.

La présente étude pose la problématique de l'érosion, fournit un document de base ,apporte quelques réponses notamment en terme de choix des zones prioritaires d'intervention et, construit un document cartographique d'aide à la décision et aux propositions d'aménagement pour des fins de restauration des terres en voie de dégradation

Le présent travail a permis de :

- Constituer une base de données multi-sources de la région, à l'aide du SIG, qui est un outil essentiel pour la spatialisation de l'information ainsi que pour la mise à jour des données.
- Cartographier les zones à risque potentiel et actuel d'érosion selon le programme CORINE et d'élaborer un document numérique qui peut être agrandi et édité selon la zone d'intérêt et l'échelle souhaitée.
- Orienter les perspectives et la priorité d'intervention et d'aménagement, par une localisation plus précise des zones les plus vulnérables à l'érosion, en tenant compte du couvert végétal.

Il pourra également contribuer à une bonne gestion des terres dans un milieu semi-aride connu par sa fragilité et sa menace par l'érosion.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Achit, M., Touaibia, B. 2000. Analyse multivariée de la variable « Erosion spécifique » cas du bassin versant de l'Oued Mina dans la Wilaya de Relizane. Séminaire international Hydrologie des régions méditerranéennes IRD Montpellier, France : 11-12 et 13 Octobre.
- AEE. 1999. L'environnement dans l'Union européenne à l'aube du XXI^e siècle. Agence européenne pour l'environnement, rapport 651p.
- Aronoff, S. 1989. Geographic Information Systems: A management perspective WDL Publications, Ottawa, Canada.
- Baise, D., Jabio, I.B. 1995. Guidelines for soil description, Edition I.N.R.A, Paris.375p.
- Baret, F., Guyot, G. 1991.Potentials and limits of vegetation indices for LAI and PAR assessment.RemoteSensing of Environment 35: 161-173.
- BNEDER. 1982. Bureau national d'étude pour le développement rural, Etude de développement des Monts de Béni Chougrane. Rapport Tome I, Algérie.
- Brabant, P. 1989. La cartographie des sols dans les régions tropicales : une procédure à 5 niveaux coordonnés. Science du Sol 27 (4) : 369-385.
- Burrough, P.A. 1986. Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment.Monographs on Soil and Resources Survey 12. Edition Oxford Science, New York.
- Bowers, S.A., and R.J. Hanks. 1965. Reflection of radiant energy from soils. Soil Sci. 2:130–138.
- Burroughs, P.P., McDonnel, R.A. 1998. Principles of GIS, Oxford University Press, pp. 299.
- Cattell, R. B. 1966. The scree test for the number of factors.MultivariateBehavioralResearch 1: 245-276.
- Cayrol, P. 2000.Assimilation de données satellitaire dans un modèle de croissance de la végétation et de bilan d'énergie. Application à des zones semi-arides. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Coote, D.R., Mc Donald, E.M., Dickinson, W.T., Ostry, R.C., Frank, R. 1982. Agricultural and water quality and the Canadian Great Lakes Basin: Representative agricultural watershed. Journal of Environment Quality 11: 475 - 481.
- Cyr, D.M., Stuart, R.A., Neupert, W. 1993. A matrix ATP requirement for presequence translocation across the inner membrane of mitochondria.Journal of Biological Chemistry268 : 23751-23754.
- Deering, D. W., Rouse, J., Haas, W R. H., Schell, J. A. 1975. Measuring forage production of grazing units from Landsat MSS data. Proceedings of the Tenth International Symposium on Remote Sensing of Environment, ERIM, Ann Arbor, MI: 1169-1178.
- Demmak, A. 1982. Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de Doctorat, Université de Pierre et Marie Curie, Paris XI.

- Deploux M. 1972. Ecosystème et paysage. Revue de Géographie des Pyrénées et du Sud Ouest. Edition Presses Universitaires du Mirail. pp. 157-174.
- Douaoui, A. 1993. Contribution à l'étude des sols des plaines du Chélif- Variabilité spatiale de quelques propriétés physico-chimiques des sols du moyen Chélif-Incidences cartographiques. Thèse de Magister.
- Dubreuil, P., Guiscafne, J. 1971. La planification du réseau hydrométrique minimal. Cah. Edition ORSTOM, série hydrologie vol 8, n° 2.
- Duthil, J. 1971. Eléments d'écologie et d'agronomie. Tome II: Exploitation et amélioration du milieu. Edition Baillièreet fils, Paris. 385 p.
- FAO. 1989. Carte Mondiale des Sols 1 : 5,000,000 - Légende révisée. Rapport sur les ressources en sols du monde, 60. FAO, Rome.
- FAO. 2000. Guide sur la gestion et la conservation des sols. AGL/MISC/27/2000. FAO, Rome.
- Gaucher, G., Burdin, S. 1974. Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés E.D.P.U.F, Paris. 231p.
- Gaucher, G., Burdin, S. 1974. Géologie, Géomorphologie et hydrologie des terrains salés. Techniques vivantes, Presses Universitaires de France, Edition Boudin, Paris. 234 p.
- Gaultier, J.P., Legros, J.P., Bornand, M., King, D., Favrot, J.C., Hardy, R. 1993. L'organisation et la gestion des données pédologiques spatialisées : Le projet DONESOL. Revue de géomatique 3 : 235-253.
- Girard, M.C., Walter, C., Remy, J.C., Berthelin, J., Morel, J.L. 2005. Sols et Environnement. Edition Dunod, Paris. 816p.
- Gomer, D. 1994. Ecoulement et érosion dans les petits bassins versants à sols marneux sous climat semi-méditerranéen. Coopération technique algéro-allemande. GTZ-ANRH, Allemagne.
- Greco, J. 1966. L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie.
- Gupta, S.K., Diez, E., Heasley, L.E., Osawa, S., Johnson, G.L. 1990. A G protein mutant that inhibits thrombin and purinergic receptor activation of phospholipase A2. Science 249: 662-666.
- Haddouche, D. 1998. Cartographie pédopaysagique de synthèse par télédétection « images landsattm » Cas de la région de GHASSOUL (EL-BAYADH). Thèse de Doctorat, Institut National d'Agronomie. 138 p.
- Halitim, A. 1973. Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie. Thèse de Doctorat, U.E.R des sciences biologiques.
- Hénensal, P. 1986. L'érosion externe des sols par l'eau ; approche quantitative et mécanismes. Rapport de recherche LPC 138 :76 p.
- Howard, P.H., Boethling, R.S., Jarvis, W.F., Meylan, W.W., Michalenko, E.M. 1991. Handbook of Environmental Degradation Rates. Edition Lewis, Boca Raton, Florida. 776p.

- Huete, A., Liu, R., H. Q. 1994. An error and sensitivity analysis of the atmospheric and soil correcting variants of the NDVI for the MODIS-EOS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 32: 897-905.
- Huete, A.R. 1988. A Soil-adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3): 295-309.
- Jackson, R.D. 1983. Spectral indices in n-space. *Remote Sensing Environ* 13: 409-421.
- Kaiser, H.F. 1960. The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement* 20: 141-151.
- Kaufman, Y. J., Tanre, D. 1992. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30: 261- 270.
- King, D., Daroussin, J., Jamagne, M. 1994. Proposal for a Model of a Spatial Organization in Soil Science: Example of the European Communities Soil Map. *Journal of the American Society for Information Sciences*.45 (9): 705-717.
- Kouri, L., Vogt, H. 1993. Détermination de la sensibilité des terrains marneux au ravinement au moyen de système d'information géographique. Bassin-versant de l'Oued Mina, Tell Oranais, Algérie. Rapport interne. Alger.
- Kouri, L. 1993. L'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de l'Oued Mina. Etude des processus et type de fonctionnement des ravins dans la zone des marnes tertiaires. Thèse de Doctorat. Université de Louis Pasteur, Strasbourg. 238 p.
- Legoupil, J.C. 1974. Evolution de la salure du sol sous Résultats expérimentaux. I.N.R.A, Alger. 73 p.
- Mahieddine, M. 1997. Quantification et variabilité parcellaire sous simulation de pluie dans le bassin versant de l'Oued Mina. Thèse de Magister, Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agronomiques, Alger. 120p.
- MATE. 2000. Ministère de l'environnement et l'aménagement du territoire. Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement. 95 p.
- Meddi, M. 1992. Hydro-pluviométrie et transport solide dans le bassin versant de l'Oued Mina (Algérie). Thèse de Doctorat, Université de Louis Pasteur, Strasbourg. 285 p.
- Meyer, D. E. 1975. Long term memory retrieval. During the comprehension of affirmative and negative sentences. In R. A. Kennedy & A. Wilkes (Ed), *Studies on long-term memory*. pp. 289-412.
- Missoumi, A., Tadjerouni, K. 2003. Algérie, SIG et imagerie Alsat1 pour la cartographie du risque d'incendie de forêt. 2^d FIG Regional Conference Marrakech, Morocco: December 2-5.
- Oldeman, L., Hakkeling, R., Sombroek, W. 1990. World map of the status of human induced soil degradation, an explanatory note. International soil reference and information center, Wageningen, United Nations Environmental Program, Nairobi, Kenya, Global Assessment of Soil Degradation GLASOD, 1st edition. 41p.

- Pearson, R. L., Miller, L. D. 1972. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the short-grass Prairie, Pawnee National Grassland, Colorado. 8th International Symposium on Remote Sensing of Environment: 1357-1381.
- Pimental, D.C. 1995. Environmental and economic cost of soil erosion and conservation benefits. *Science* 199 : 267: 1117-112.
- Purevdorj, Ts., Tateishi, R., Ishiyama, T., Honda, Y. 1998. Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices. *International Journal of Remote Sensing* 19 (18): 3519-3535.
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H., Sorooshian, S. 1994. A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment* 48: 119-126.
- Roujean, J. L., Leroy, M., Deschamps, P. Y., Podaire, A. 1992. Evidence of surface reflectance bidirectional effects from a NOAA/AVHRR multitemporal data set, *International Journal of Remote Sensing* 13: 685-698.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, In: Freden, S.C., Mercanti, E.P., Becker, M. (eds) *Third ERTS-1 Symposium NASA, NASA SP-351, Washington DC: 309-317.*
- Ruelland, D., Ardoin-Bardin, S., Billen, G. Servat, E. 2008. Sensitivity of a lumped and semi-distributed hydrological model to several methods of rainfall interpolation over a large basin in West Africa. *Journal of Hydrology* 361: 96-117.
- Soudani, K. 2005. Introduction général à la télédétection. Cours en ligne Fac des Sciences d'Orsay - Université Paris Sud XI. 26p.
- Starkel, L. 1976. The role of extreme (catastrophic) meteorological events in the contemporary evolution of slopes. In: J. Wiley (Ed) *Geomorphology and Climate: 203-246.*
- Tanré, D., Holben, B.N., Kaufman, Y.J. 1992. Atmospheric correction algorithm for NOAA-AVHRR products: theory and application. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30: 231-248.
- Taibi, M., Tardif, L., Carrier, D., La flamme, G., Rompré, M., 1990. Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 27 p.
- Touaibia, B. 2000. Erosion-Transport solide-Envasement des barrages. Cas du bassin versant de l'oued Mina. Thèse de Doctorat, INA. Alger.
- Toutin, T. 1996. La correction géométrique rigoureuse : un mal nécessaire pour la santé de vos résultats. *Journal Canadien de Télédétection* 22(2) : 184-189.
- USDA Soil taxonomy. 1999. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. *Agriculture handbook 36.2^d*. Washington DC. 869 p.
- USSLS. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United State Salinity Laboratory Staff, US Department of Agriculture, Handbook n°60, U. S. Gov. Print. Office, Washington DC.

Vtikasin, H. L., Roos, L., Spicer, N.H.O., Davies, M., 1995. Production without destruction. A manual for trainers and reference book for those practicing natural or organic farming. Natural farming network. Zimbabwe.

Vogt, H., Paschen, H. 1996. L'aménagement des zones marneuses dans les bassins versants des montagnes de l'Atlas tellien semi-aride. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH, 142 p.

Walter, C., Schvartz, C., Claudot, B., Bouedo, T., Aurousseau, P. 1997. Synthèse nationale des analyses de terre réalisées entre 1990 et 1994. Description statistique et cartographique de la variabilité des horizons de surface cultivés. Etude et Gestion des Sols 4(3) : 205-218 p.

Wicherek, S.P., Laverditxe, M.R. 1993. Les terres agricoles du Canada. Dégradation et Conservation. Cahiers Agriculture 2: 245-255.

WEBOGRAPHIE

DESPA, 2005. <http://despa.obspmJr/-moncuque/DESS/nodel.html>

Fox D., Carrega P., Morschel J., Emsellem K. 2008. La dégradation des sols dans le monde. [<http://unt.unice.fr/uoh/degsoil/index.php>].

Mitasova H., Brown W.M., Hohmann M., Warren S. (s.d., en ligne) *Using Soil Erosion Modeling for Improved Conservation Planning: A GIS-based Tutorial*. Geographic Modeling Systems Lab, University of Illinois at Urbana-Champaign. [<http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/reports/CerlErosionTutorial/denix/default.htm>].

Nafó I.I. 2000. *Conservation des sols avec l'aide du SIG et de la télédétection; Exemple d'utilisation du SIG et de la télédétection pour l'estimation des pertes en terres dans un petit bassin de l'ouest du Mali*. Symposium Malien sur les Sciences Appliquées, 2000, 11 p. [<http://www.msas.maliwatch.org/msas2000/html/msas009a.html>], pp. 141-151.

Ruellan A., Blanchart E., Brauman A., Grimaldi ., Grünberger O., Barbiero L., Chaplot V., Monga O., Bernoux M. 2008. Les sols, des milieux vivants très fragiles. Les dossiers thématiques de l'Institut de recherche pour le développement IRD. SUDS en ligne. [<http://www.mpl.ird.fr/suds-en-ligne/sols/index.html>].

Tsague G.E. 2005. La compaction des sols : les causes et les solutions. *Agri-réseau, grandes cultures*, 5 p. [<http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/navigation.aspx?sid=1015>].

Zaher H. 2010. Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs. Département Sol-Eau-Biodiversité, Tabriquet, Salé, MAROC. [<http://www.ma.auf.org/erosion/index.html>].

Annexe1

Etapes de conception de la base de données

La conception d'une base de données se déroule en plusieurs étapes :

Etape 1 : Dictionnaire de données

C'est une description du contenu de la base de données, il comporte le nom de l'entité et sa désignation avec leurs contraintes d'intégrités.

Tableau : Dictionnaire de données de la base de données hydrologiques

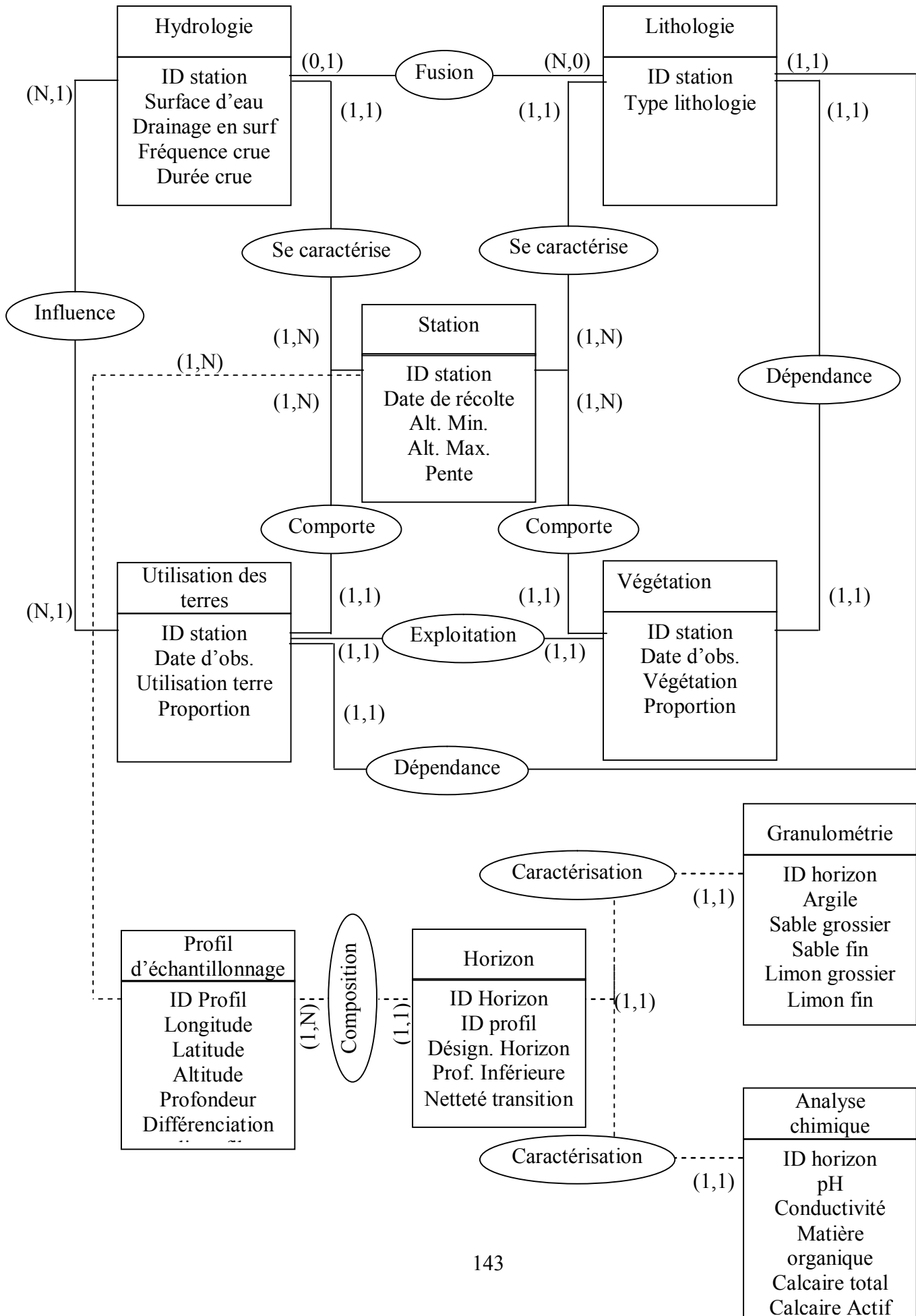
Code	Désignation	Type	Taille
IDH	ID Hydrologie	Numérique	Numéro Auto
NBV	Nom du bassin versant	Texte	30
NSBV	Nom sous bassin versant	Texte	30
ORSBV	Ordre du sous bassin versant	Numérique	Entier
LongTot	Longueur total	Numérique	Réel
Surf	Surface du bassin versant	Numérique	Réel
SEP	Surface d'eau permanente	Numérique	Réel
DS	Drainage en surface	Texte	20
FC	Fréquence des crues	Numérique	Réel
DC	Durée des crues	Numérique	Réel
IDS	ID Station	Numérique	Numéro Auto
WI	Wilaya	Texte	20
Dr	Daïra	Texte	20
Com	Commune	Texte	20
LD	Lieu-dit	Texte	20
DR	Date de récolte	Date	jj/mm/aa
NC	Numéro de la carte	Texte	20
TC	Titre de la carte	Texte	20
Alt min	Altitude minimale	Numérique	Réel
Alt max	Altitude maximale	Numérique	Réel
P	Pente	Numérique	Réel
Hyp	Hypsométrie	Numérique	Réel
Expo	Exposition	Texte	05
Dd	Densité de drainage	Numérique	Réel
IDL	ID Lithologie	Numérique	Numéro Auto
LitGéo	Lithogéologie	Texte	20
TRM	Type de la roche mère	Texte	30
SEP	Surface d'eau permanente	Numérique	Réel
DrS	Drainage en surface	Texte	20
FC	Fréquence de crue	Texte	20
DC	Durée de crue	Texte	20
DO	Date d'observation	Date	jj/mm/aa
IDT	ID Utilisation des terres	Numérique	Numéro Auto
UT	Utilisation des terres	Texte	30

PS	Proportion de la station	Numérique	Réel
IDV	ID Végétation	Numérique	Numéro Auto
V	Végétation	Texte	30
IDP	ID Profil	Numérique	Numéro Auto
Long	Longitude	Numérique	Réel
Lat	Latitude	Numérique	Réel
Prof	profondeur	Numérique	Réel
DE	Date d'échantillonnage	Date	jj/mm/aa
DP	Différentiation du profil	Texte	30
RS	Rochosité en surface	Texte	30
SR	Sensibilité au recouvrement	Texte	50
ProfEnr	Profondeur d'enracinement	Texte	40
Dr	Drainage	Texte	30
MOS	Matière organique en surface	Texte	40
IDH	ID Horizon	Numérique	Numéro Auto
DH	Désignation des horizons	Texte	05
ProfInf	Profondeur Inférieure	Numérique	Réel
NT	Netteté de transition	Texte	20
SG	Sable grossier	Numérique	Réel
SF	Sable fin	Numérique	Réel
LG	Limon grossier	Numérique	Réel
LF	Limon fin	Numérique	Réel
A	Argile	Numérique	Réel
CG	Classe granulométrique	Texte	30
pH	pH	Numérique	Réel
CE	Conductivité électrique	Numérique	Réel
CT	Calcaire total	Numérique	Réel
CA	Calcaire actif	Numérique	Réel
NT	Azote total	Numérique	Réel
MO	Matière organique	Numérique	Réel

Etape 2 : Modèle Conceptuel de données

Il exprime de manière générale la structure statique d'une base de données, en termes de classes et de relations entre ces classes. De même qu'une classe décrit un ensemble d'objets, une association décrit un ensemble de liens (Muller, 1997).

Le modèle conceptuel se construit sur des concepts établis. Par ailleurs, il sert de base à la conception de la base de données. Ce n'est pas seulement un outil de schématisation et de représentation du monde réel, mais également un excellent outil suscitant la discussion et le dialogue avec les utilisateurs. Un bon modèle doit être compréhensible et avoir l'aval des différents utilisateurs concernés par la conception de la future base de données.



Modèle conceptuel de données

Etape 3 : La phase suivante du développement est la création des tables de la base de données réalisée avec le modèle logique à partir du modèle conceptuel élaboré avec les relations entre les classes (domaines) et leurs attributs.

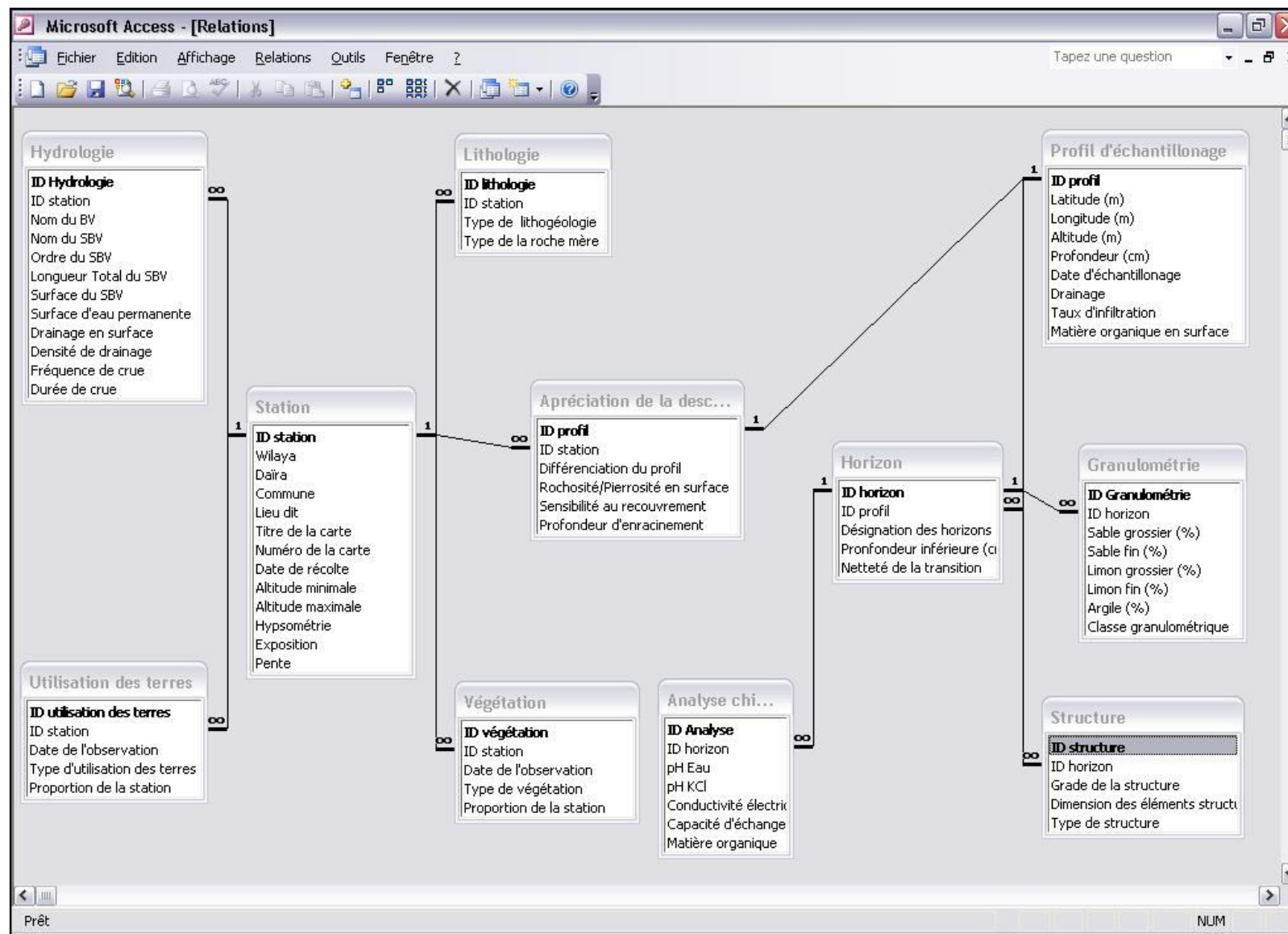
Etape 4 : Modèle logique

Le niveau logique est le premier niveau informatique. Il permet d'adapter le modèle conceptuel aux exigences des Systèmes de Gestion de Bases de Données (SGBD). C'est durant cette phase que l'on réalise la première optimisation du futur système. Dans notre cas, cette optimisation n'est pas vraiment utile puisqu'il s'agit surtout pour nous de tester les idées développées autour du modèle conceptuel, et

de mettre en place des modélisations qui dépendent des données disponibles (ce qui, pour l'évaluation du risque d'érosion, pose toujours problème).

Le schéma relationnel permet la création de la base de données correspondant au système d'information.

Annexe II : Structuration de la base de données du risque d'érosion



Annexe 3 : Tableau brute des résultats des analyses physico-chimiques des horizons

Profil	% A	% LF	% LG	% SF	% SG	MO %	pH	C.E	CT (%)	% CA	N‰	CEC
P01A01	7,63	16,72	3,44	39,93	32,29	3,70	6,85	0,34	1,70			10,42
P01A02	67,73	0,00	4,28	12,25	15,73	0,11	6,12	2,00	17,41	5,20	0,18	
P02A01	82,73	0,51	9,91	6,23	0,63	0,81	6,91	2,00	19,53	4,75	0,70	
P02A02	51,97	1,52	33,19	12,46	0,86	5,04	6,52	6,66	16,98	3,63		1,69
P03A01	40,48	17,10	10,37	20,50	11,56	6,25	6,98	0,86	8,49	2,63	0,44	6,54
P04A01	21,82	33,48	10,55	25,59	8,56	7,71	6,86	0,33	0,42			11,30
P05A01	61,60	8,80	10,14	13,36	6,09	3,53	6,95	1,43	14,01	3,69	0,57	3,27
P06A01	36,43	22,37	9,93	21,17	10,10	5,55	6,99	0,73	7,54	1,73	0,51	5,80
P07A01	60,53	0,78	7,18	18,67	12,83	0,98	6,96	0,37	19,74	6,13	0,70	6,45
P08A01	46,41	1,16	0,46	27,99	23,97	0,13	6,70	0,39	17,41	4,38		10,65
P09A01	40,38	10,57	24,02	16,59	8,45	5,82	7,27	0,30	5,73	0,73	0,13	2,81
P09A02	32,42	18,94	17,44	20,29	10,91	5,35	7,23	0,30	6,37	0,69	0,53	2,49
P10A01	42,25	4,82	21,71	22,37	8,85	4,56	7,11	0,39	7,00	1,25	0,35	8,12
P10A02	37,73	13,36	21,82	17,82	9,27	5,66	7,26	0,30	5,94	0,72	0,26	2,70
P11A01	62,10	1,01	10,64	19,76	6,50	2,17	7,11	0,40	14,86	3,13	0,88	6,66
P12A01	60,51	1,64	4,33	21,20	12,32	1,40	7,20	0,54	16,98	3,56		6,68
P12A02	73,33	1,87	4,24	12,37	8,19	2,80	7,12	0,98	9,55	2,69		6,68
P13A01	45,40	1,82	5,40	32,51	14,87	1,73	7,30	0,73	15,28	1,75		
P13A02	30,05	0,40	6,58	54,24	8,73	5,84	7,01	0,75	15,28	2,13	0,70	1,69
P14A01	30,28	4,22	18,27	37,57	9,67	10,32	6,86	0,26	2,97	0,38	0,18	6,53
P14A02	29,49	1,26	13,77	44,59	10,89	8,90	6,67	0,35	4,46	0,88	0,53	11,73
P15A01	25,25	0,40	6,84	50,96	16,55	1,35	6,50	0,25	0,42			12,44
P16A01	22,02	0,25	10,55	52,34	14,83	2,69	6,56	0,27	5,31	0,88	0,53	6,22
P16A02	38,61	5,08	16,68	32,63	7,00	1,21	7,36	0,27	7,00	1,13	0,53	
P17A01	24,47	29,00	11,80	24,17	10,55	6,37	7,03	0,31	3,61	0,33	0,39	6,79
P17A02	21,82	31,79	9,61	25,41	11,37	6,21	7,01	0,31	3,82	0,31	0,53	6,68
P18A01	51,04	12,95	10,25	16,93	8,83	4,89	6,96	1,15	11,25	3,16	0,50	4,91
P19A01	27,12	24,52	13,05	22,76	12,55	5,03	7,19	0,30	6,79	0,66	0,79	2,28
P19A02	34,12	16,48	5,03	26,70	17,67	3,17	6,86	0,35	10,61	2,34	0,26	8,67
P20A01	29,12	27,08	9,77	23,29	10,74	5,88	7,00	0,52	5,68	1,02	0,52	6,24
P21A01	59,14	0,71	10,18	15,40	14,57	4,79	7,10	1,39	16,56	5,25	0,88	1,79
P22A01	43,03	7,78	26,21	15,35	7,63	5,98	7,29	0,30	5,52	0,75		2,92
P23A01	57,37	3,64	19,45	15,21	4,33	4,98	6,67	14,47	20,80	5,31	0,44	1,50
P23A02	56,04	3,31	11,87	17,38	11,40	2,37	6,98	2,43	14,86	4,50	0,70	1,12
P24A01	21,36	4,95	19,15	33,26	21,27	2,76	6,83	0,25	12,31	2,88	0,53	
P24A02	33,59	3,99	24,75	29,49	8,19	2,97	6,46	1,14	22,08	6,50		1,19
P25A01	21,82	30,10	8,66	25,23	14,19	4,71	7,16	0,30	7,22	0,63	1,05	2,07
P26A01	18,79	0,10	14,27	53,73	13,12	4,03	6,61	0,29	10,19	1,75	1,05	
P26A02	40,66	0,35	15,80	30,13	13,06	0,27	7,40	0,32	13,16	2,25	1,05	
P27A01	82,73	0,15	4,07	10,13	2,93	1,19	7,30	0,32	21,23	4,50	1,05	

Annexe 3: résultats des analyses physico-chimiques des horizons

P28A01	70,93	0,61	10,05	10,81	7,60	2,80	7,01	1,70	18,04	5,00	0,79	0,89
P29A01	75,61	1,46	3,27	9,89	9,77	1,06	7,10	0,35	18,68	5,38		13,37
P30A01	71,06	2,27	5,21	14,84	6,62	4,54	7,13	1,61	0,42			
P30A02	39,34	3,13	0,42	26,91	30,20	1,37	7,11	0,55	10,19	1,38	0,35	
P31A01	80,35	1,21	7,53	7,41	3,50	3,56	6,70	0,38	0,42			2,96
P32A01	17,53	0,66	10,33	59,78	11,70	14,66	6,42	0,21	0,42		0,35	10,14
P32A02	7,27	0,96	4,52	70,65	16,60	2,24	6,14	0,18	0,42			12,36
P33A01	41,46	1,87	17,21	29,39	10,07	3,15	6,92	0,48	8,49	1,75	0,70	13,32
P34A01	74,65	0,40	13,91	9,35	1,69	1,84	7,21	0,34	22,08	7,88	1,40	2,24
P34A02	64,70	3,43	12,66	9,50	9,71	0,71	7,71	0,29	18,68	7,88		
P35A01	30,91	5,10	12,19	43,05	8,75	1,75	6,91	0,24	0,64			6,22
P36A01	36,57	9,80	17,55	35,13	0,95	2,16	7,31	0,22	0,85			
P37A01	90,71	1,67	4,59	1,51	1,53	1,98	7,12	4,62	17,41	6,13	0,88	2,24
P37A02	81,16	3,28	14,16	0,92	0,48	6,98	6,88	27,80	19,53	4,13	0,88	1,82
P38A01	39,34	9,49	4,32	27,39	19,45	4,12	6,99	0,97	1,06			5,21
P38A02	53,54	1,57	2,35	19,58	22,97	0,74	6,62	1,27	13,80	0,69	0,26	

Annexe 3 : Fiches descriptives des stations d'échantillonnage (selon STIPA, 1982)

Données morphométriques

		<u>Hypsométrie</u>		<u>Exposition</u>		<u>Pente</u>	
ID de station :		<input type="checkbox"/> 0-50	<input type="checkbox"/> 450-500	<input type="checkbox"/> Nord	<input type="checkbox"/> 0-2 %		
Wilaya :		<input type="checkbox"/> 50-100	<input type="checkbox"/> 500-550	<input type="checkbox"/> Sud	<input type="checkbox"/> 2-5 %		
Daïra :		<input type="checkbox"/> 100-150	<input type="checkbox"/> 550-600	<input type="checkbox"/> Est	<input type="checkbox"/> 5-8 %		
Commune :		<input type="checkbox"/> 150-200	<input type="checkbox"/> 600-650	<input type="checkbox"/> Ouest			
Lieu dit :		<input type="checkbox"/> 200-250	<input type="checkbox"/> 650-700	<input type="checkbox"/> Nord-Est			
Titre de la carte :		<input type="checkbox"/> 250-300	<input type="checkbox"/> 700-750	<input type="checkbox"/> Nord-Ouest			
N° de la carte :		<input type="checkbox"/> 300-350	<input type="checkbox"/> 750-800	<input type="checkbox"/> Sud-Est			
Date de récolte :		<input type="checkbox"/> 350-400	<input type="checkbox"/> 800-850	<input type="checkbox"/> Sud-Ouest			
Altitude minimale :		<input type="checkbox"/> 400-450					
Altitude maximale :							

Données hydrologiques

Nom du BV : Longueur total du SBV :
 Nom du SBV : Surface du SBV :
 Ordre du SBV : Surface d'eau permanente (%) :

Densité de drainage

- 1,3-1,4 % (Légère)
 1,4-1,5 % (Moyenne)
 > 1,5 % (Forte)

Drainage en surface

- Extrêmement lent (+30j) Rapide
 Lent (30 j) Très rapide
 Bon (2 j)

Fréquences des crues

- Aucune Bisannuelles
 Journalières Une fois tous les 2-5 ans
 Hebdomadaires Une fois tous les 5-10 ans
 Mensuelles Rares
 Annuelles Inconnues

Durée des crues

- Moins d'un jour 30-90 jours
 1-15 jours 90-180 jours
 15-30 jours Continues

Données lithologiques

Lithogéologie

- Alluvions
 Sables
 Carapaces calcaires
 Marnes
 Alluvions+Sables
 Alluvions+C. calcaires
 Sables+C. calcaires
 Sables+Marnes

Nature de la roche

- Marne Calcaires
 Marnes gypseuses Sables (dunes)
 Marnes argileuses Sables argileux
 Grès Croûte calcaire
 Grès calcaires Gypse
 Grès alternant avec marnes Sel (NaCl)

Végétation

Date de l'observation : **Proportion de la station (%) :**

Végétation

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Forêt
<input type="checkbox"/> Matorral
<input type="checkbox"/> Végétations herbacées
<input type="checkbox"/> Arboriculture | <input type="checkbox"/> Vigne
<input type="checkbox"/> Verger
<input type="checkbox"/> Maraîchage
<input type="checkbox"/> Autres |
|---|---|

Utilisation des terres

Date de l'observation : **Proportion de la station (%) :**

Utilisation des terres

<input type="checkbox"/> Utilisation résidentielle	Installations/ Industrie	<input type="checkbox"/> Exploitation de forêt	Foresterie
<input type="checkbox"/> Utilisation industrielle		<input type="checkbox"/> Plantation forestière	
<input type="checkbox"/> Transport		Agriculture	<input type="checkbox"/> Agro-foresterie
<input type="checkbox"/> Cultures annuelles	<input type="checkbox"/> Agro-pastoralisme		Exploitation/ Capture
<input type="checkbox"/> Cultures pyrènes	<input type="checkbox"/> Exploitation de la végétation naturelle		
<input type="checkbox"/> Cultures arborescentes/ arbustives	Elevage		<input type="checkbox"/> Chasse et pêche
<input type="checkbox"/> Elevage extensif		<input type="checkbox"/> Préservation de la nature	
<input type="checkbox"/> Elevage intensif		<input type="checkbox"/> maîtrise de la dégradation	
<input type="checkbox"/> Non utilisé			

Profil d'échantillonnage

ID profil : **Latitude (m) :**
Profondeur (cm) : **Longitude (m) :**
Date d'échantillonnage : **Altitude (m) :**

Différenciation du profil

- Non différencié
- Peu différencié
- Par la couleur
- Par la texture
- Par la structure
- Par la compacité
- Par le drainage
- Par la charge en éléments grossiers
- Par la perméabilité
- Par l'effervescence

Rochosité/Pierrosité en surface

- Aucune (0 %)
- Très peu (0-2 %)
- Peu (0-5 %)
- Communs (5-15 %)
- Nombreux (15-40 %)
- Abondants (40-80 %)
- Dominants (> 80 %)

Matière organique en surface

- Fibrique (faiblement décomposée)
- Hémique (décomposition intermédiaire)
- Saprique (très décomposée)

Sensibilité au recouvrement

- Aucune
- Faible (croûte tendre - de 0,5 cm d'épaisseur)
- Modérée (croûte tendre + de 0,5 cm d'épaisseur)
- Forte (croûte dure + de 0,5 cm d'épaisseur)

Profondeur d'enracinement

- Très superficielle (< 30 cm)
- Superficielle (30-50 cm)
- Modérément profonde (50-100 cm)
- Profonde (100-150 cm)
- Très profonde (> 150 cm)

Drainage

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Excessivement drainé <input type="checkbox"/> Quelque peu excessivement drainé <input type="checkbox"/> Bien drainé <input type="checkbox"/> Modérément bien drainé | <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Imparfaitement drainé <input type="checkbox"/> Médiocrement drainé <input type="checkbox"/> Très médiocrement drainé |
|---|---|

Taux d'infiltration

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Très lent (<0,1 cm/h) <input type="checkbox"/> Lent (0,1-0,5 cm/h) <input type="checkbox"/> Modérément lent (0,5-2,0 cm/h) <input type="checkbox"/> Modéré (2,0-6,0 cm/h) | <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Rapide (6,0-12,5 cm/h) <input type="checkbox"/> Très rapide (12,5-25,0 cm/h) <input type="checkbox"/> Extrêmement rapide (>25 cm/h) |
|--|---|

Horizons

ID Profil : Désignation des horizons :
 ID horizon : Profondeur inférieure (cm) :

Netteté de la transition

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Abrupte (0-2 cm) | <input type="checkbox"/> Graduelle (5-15 cm) |
| <input type="checkbox"/> Claire (2-5 cm) | <input type="checkbox"/> Diffuse (> 15 cm) |

Granulométrie

Sable grossier (%) :
 Sable fin (%) :
 Limon grossier (%) :
 Limon fin (%) :
 Argile (%) :

Classe granulométrique

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Sableux | <input type="checkbox"/> Limono-argileux |
| <input type="checkbox"/> Sablo-Limoneux | <input type="checkbox"/> Argileux |
| <input type="checkbox"/> Sablo-argileux | <input type="checkbox"/> Argilo-sableux |
| <input type="checkbox"/> Limoneux | <input type="checkbox"/> Argilo-limoneux |
| <input type="checkbox"/> Limono-sableux | |

Structure

Grade de la structure

- | |
|---|
| <input type="checkbox"/> Sans structure |
| <input type="checkbox"/> Faible |
| <input type="checkbox"/> Modérée |
| <input type="checkbox"/> Forte |

Dimension des éléments structuraux

- | |
|---|
| <input type="checkbox"/> Très fine |
| <input type="checkbox"/> Fine |
| <input type="checkbox"/> Moyenne |
| <input type="checkbox"/> Grossière |
| <input type="checkbox"/> Très grossière |

Type de structure

- | |
|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Lamellaire |
| <input type="checkbox"/> Prismatique |
| <input type="checkbox"/> En colonnes |
| <input type="checkbox"/> Polyédrique |
| <input type="checkbox"/> Granulaire |
| <input type="checkbox"/> Grumeleuse |

Analyse chimique

pH Eau : Calcaire total (%) :
 pHKCl : Calcaire actif (%) :
 Conductivité électrique (mMhos/cm) : Carbone organique (%) :
 Capacité d'échange cationique (cmol/kg) : Azote total (%) :
 Matière organique (%) : Rapport C/N (%) :

