

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIC ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE HASSIBA BENBOUALI DE CHLEF  
FACULTE DE GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE  
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

Spécialité : Hydraulique  
Option : Ouvrages Hydrauliques

## Mémoire de Magister

Présenté Par: CHAIEB FATMA

### Thème

Impact du MNT (Modèle Numérique de Terrain)  
Pour l'Evaluation de l'Erosion Hydrique  
(Cas du Bassin Versant d'Oued Haddad Application des SIG)

Soutenu le : 4 juillet 2012

#### Devant le Jury composé de :

M <sup>r</sup> REMAOUN Mohamed	Maître de Conférences « A » ; UHB Chlef	Président
M <sup>r</sup> SAAED Hamoudi	Professeur, UHB Chlef	Promoteur
M <sup>r</sup> EZZIANE Karim	Maître de Conférences « A » ; UHB Chlef	Examineur
M <sup>r</sup> REMINI Boualem	Professeur, USD Blida	Examineur
M <sup>r</sup> BOUTHIBA Abdelkader	Maître de Conférences « A » ; UHB Chlef	Examineur
M <sup>r</sup> ZIDANE Larbi	Assistant « A » ; UHB Chlef	Invite

# Remerciements

Je tiens à remercier au terme de cette étude, tous ceux qui ont coopéré de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

Mes encadrants : M. SAAED Hamoudi , M. ZIDANE Larbi pour leurs orientations lors de la réalisation de ce travail et surtout leur patience.

Je tiens ainsi à remercier les membres de jury : Monsieur REMAOUNE Mohamed , Monsieur EZZIANE Karim , Monsieur REMINI Boualem et Monsieur BOUTHIBA Abdelkader , pour avoir accepté d'affecter un temps à ce modeste travail et de l'attribuer des remarques et des corrections très intéressantes.

Je tiens à remercier aussi les personnes de l' ABH Chlef et la direction des forêts de la wilaya de Relizane pour leur accueil chaleureux.

Mes remerciements vont aussi à tous les membres de ma famille pour leurs soutiens aussi bien moralement que financièrement, mes amis et tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour réaliser ce travail.

## RESUME

Depuis longtemps ,l'érosion en tant qu'aspect général était un phénomène complexe et plus particulièrement l'érosion Hydrique qui menace périodiquement les potentialités en eau et en sol .

En Algérie le taux annuel d'érosion spécifique augmente de plus en plus que le couvert végétal se dégrade et le sol devient pratiquement désertique.

La quantification de l'érosion à été faite par plusieurs approche notamment l'évaluation des débit solides basée souvent soit sur l'utilisation des formules empiriques, soit par estimation de la concentration des débits liquides, Ces approches d'estimations des pertes en terres nous aident a estimer la quantité de terre transporté par l'eau de ruissellement dans les oueds , mais pour la lutte contre ce phénomène d'érosion, ils faut contrôler la totalité du bassin et faire des cartes de zonage relatives au degrés d'érosion .

Devant l'aggravation des dégâts observés dans nos bassins hydrographiques (la dégradation et le changement des reliefs, l'envasement des barrages et les pertes des couches de sols arables). Pour pouvoir démunir la gravité du danger d'érosion. Nous proposons ce thème afin de décortiquer tout les problèmes liés à ce phénomène dans le bassin par l'étude du model numérique de terrain (MNT) qui nous permet a son tour d' étudier l'inclinaison de terrain , l'utilisation des SIG (systèmes d'informations géographiques)dont les principaux outils mis en œuvre pour l'étude d'évaluation de l'érosion Hydrique dans le bassin versant de l'oued Haddad.

**Mot clés** : Erosion Hydrique, Oued Haddad , SIG , images satellitaires , MNT .

## الملخص

منذ قديم الزمن ، ظاهرة انجراف التربة حالة مستعصية بشكل عام و خاصة انجراف التربة بواسطة جريان مياه الأمطار على سطح الأرض ، مسبباً أخطاراً كثيرة بالنسبة لتربة و مخزون المياه السطحية .

في الجزائر ، سجلت النسبة السنوية للانجراف التربة ارتفاعاً ملحوظاً ، و في نفس الوقت انخفاض في غطاء النباتي و لذا الأراضي صارت بتدرج قاحلة على أكملها.

أمام خطر هذه الظاهرة الملاحظ في حوض الترسيب و المتمثل في تغيير التضاريس ، توحد السدود بنسبة عالية و فقدان طبقات التربة الصالحة للزراعة.

لمواجهة الظاهرة بكل ابعادها و أخذ بعين الاعتبار كل المسببات الطبيعية على مستوى الحوض ،لذا نقترح هذا الموضوع لمناقشة الدوافع و الأسباب لتطور الظاهرة و الحد من خطرها وذلك باستخدام نموذج الكمي للأرضية و النظام المعلومات الجغرافية، بشكل عام يعتبر هذان الآخران وسائل رئيسية لتحليل ومراقبة تطور ظاهرة انجراف التربة في حوض منحدر واد حداد.

مفتاح الكلمات : التعرية بواسطة الماء، وادي حداد ، نضام المعلومات الجغرافية ، صور القمر الاصطناعي، النموذج العددي لدراسة المنطقة.

## **Abstract**

For longtime, erosion as a general aspect has been a complex phenomenon and more particularly hydric erosion which menaces periodically potentials on water as well as on soil.

In Algeria the annual water of specific erosion increases more and more than the green landscape which decreases and the soil becomes practically deserted .

The quantification of erosion was made by many approaches like the evaluation of solid capacities usually based either on the use of empiric formulary or on estimation of the concentration of liquid capacities . The approaches of estimation of loses on ground help us estimating the quantity of soil transported by water of rivers ( Oued).

But to fight this phenomenon on of erosion , we must control the totality of the slope nautical and make cards of relative zones of erosion .

Before it gets worse on the hydric level ( the degradation before il gets worse on the hydric level ( the degradation of change of the relief , mudding of the loses of soils layers ) to eliminate the danger of erosion .

We propose this theme in order to solve all problems linked to the phenomenon in the slope nautical by the study of digital modal of ground ( soil) ( MNT)

Which all on us on his turn study the of ground, the use of SIG ( geographic system of Information of Hydric erosion in the slope nautical dropping in Oued Haddad

**Key Words :** Hydric erosion , SIG , MNT , Oued Haddad , Systems de rayon transmission Mondiale.

# Table des Matière

Remerciements

Résumé , ملخص , Abstract

table des matière ,liste des figures , liste des tableaux

<b>I- RECHERCHE BIBLIOGRAPH</b> .....	8
<b>I.2. Types d'érosion</b> .....	9
I. 2.1. Erosion éolienne.....	9
I.2.2. L'érosion hydrique.....	10
I.2.2.1. Erosion Fluviale.....	11
I.2.2.2. Erosion pluviale.....	11
I.2.2.3. Erosion en nappe.....	12
I.2.2.4 Erosion linéaire, en griffes ou en rigoles .....	12
I.2.2.5 Erosion mécanique sèche ou érosion aratoire.....	13
I.2. 3. Comparaison entre les différents types d'érosion .....	13
<b>I.3.Estimation des volumes de terre arrachée</b> .....	14
I.3.1.Erosion brute .....	14
I.3.2. Erosion globale.....	14
<b>I.4. Quantification de l'érosion</b> .....	15
I.4.1.Calcul de l'érosivité de la pluie.....	15
a) La formule de Henin "1950" .....	17
b) Formule universelle de Wischmeier "1959" .....	17
c) Formule de Graviovic ( 1960 ).....	19
f ) Formule de Fournier (1960) .....	21
I.4.2- Quantification de l'érosion par le facteur topographique.....	22
I.4.2.1. La forme du versant.....	22
I.4.2.2. Le couvert végétal.....	25
I.4.2.3 Estimation du volume des rigoles.....	27
<b>I.5-TRANSPORT SOLIDE</b> .....	28
I.5.1- La naissance du ruissèlement.....	28
I.5 .1.2 -Théorie de la saturation du milieu.....	30
I.5 .2 - Théorie de la contribution partielle de la surface du bassin .....	30

I.5.3. Le développement des ravines .....	31
I.5.3.1. L'inclinaison de la pente.....	33
I.5.3.2. La vitesse de ruissellement .....	33
I.5.3.3. Transport par gravite pure.....	34
I.5.4. Charriage .....	35
a. une loi classique du charriage est la loi de MEYER. Peter.....	35
b. Application de la formule de VELKANOV .....	35
Conclusion .....	<b>36</b>
<b>II – PRESENTATION DU BASSIN DE L'OUED HADDAD .....</b>	<b>37</b>
<b>II-2. Caractéristiques Physiques du Bassin.....</b>	<b>40</b>
II.2.1 Lithologie .....	42
II.2.1. 1 – Miocène .....	42
II.2.1. 2 – Pliocène.....	43
II.2.1.3 – Quaternaire.....	44
II-2.2 . Indice de compacité de Gravelius .....	47
II-2.3 . Altitudes caractéristiques .....	48
a) Altitude maximale et minimale .....	48
b) Altitude moyenne .....	48
c) Altitude médiane .....	48
II-2.4.4. Pentes dans le bassin versant .....	48
II-2.4.5 Pente moyenne du bassin versant.....	49
II-2.4.6 Indice de pente Ip.....	50
II-2-5-Rectangle équivalent .....	52
II-2.6 Les Caractéristiques Du Réseau Hydrographiques .....	56
II-2.6.1. Densité De Drainage .....	56
III-2.7. Climat.....	58
II-2.7.1 Pluies .....	58
II-2.7.2 Température.....	60
II-2.7.3 L'humidité du sol.....	60
II-2.8. Ecoulements .....	63
II-2.8. 1. Caractéristiques de l'écoulement.....	63
II-3. Couvert végétal .....	67
II-4 Erosion dans le bassin de Oued Haddad.....	70
Conclusion .....	73
<b>III . Carte d'occupation du sol.....</b>	<b>74</b>

III.1 Introduction.....	74
III-2 . La Télédétection.....	75
III-2 .1 Notions Fondamentales de Télédétection .....	76
III-2 .2 System d'acquisition des images satellitaires .....	76
III-2 .3 Obtention de l'image satellite numérique .....	78
III-2 .4 Différents modes d'acquisition .....	78
III-2 .5 Différents instruments.....	79
III-2 .6 Transfert des images du satellite vers la Terre .....	81
III-2 .7 .Caractères des données satellitaires .....	82
III-2 .8 .Techniques d'exploitation.....	82
III-3. Notions Géographiques.....	83
III-3.1. Les coordonnées terrestres .....	83
III-3.2. Classement des projections d'après les altérations .....	84
III-3.3. Classement des systèmes d'après la surface de projection .....	85
III-4. Méthodologie.....	86
III-4.1 Interprétation visuelle.....	86
III-4.2 Classification.....	86
III-4.2.1 Méthode de classification de CORINE Land Cover « CLC » .....	87
III-4.2.2 Les principes de base .....	87
III-4.2.3 L'échelle de travail.....	87
III-4.2.4 L'unité spatiale et la superficie de la plus petite unité cartographiée .....	88
III-4.2.5 Photo-interprétation .....	88
III-4.2.6 Nomenclature .....	89
III-5 Choix d'inventorier l'occupation biophysique du sol .....	89
III-5.1 Systèmes parcellaires et culturaux complexes (242).....	89
III-5.2 Territoires principalement occupés par l'agriculture.....	90
III-5.3 Poste forêts et végétation arbustive en mutation .....	90
III-6 Recommandations liées au seuil de description.....	90
III-6.1 Comparaison avec d'autres bases d'occupation du sol .....	90
III-6 .2 Exploitation de la base de données CORINE Land Cover .....	91
III-6 .2.1 Nomenclature CORINE Land Cover .....	92
III-7 Interprétation du résultat ( la carte d'occupation de sol ).....	100

Conclusion .....	101
<b>IV . Le Modèle Numérique de Terrain « MNT »</b> .....	102
<b>IV-3. Les Données Cartographiques</b> .....	105
IV –3.1 Les cartes topographiques .....	105
IV –3.2 Numérisation et traitement des données .....	106
IV –3.2.1 Carte des tranches d'altitude (TIN) .....	106
IV -3.2.2 Calculs des courbes de niveau.....	107
IV -3.2.3 Carte des pentes.....	107
<b>IV -4 CARTES DES PENTES</b> .....	110
IV -4 .1 Introduction .....	110
IV -4 .2 Méthodologie .....	110
<b>IV – 5 CARTES DES PENTES</b> .....	118
IV -5 .1 Interprétation des classe des pentes.....	121
IV -5 .1.1 Carte de 9 classes .....	121
IV -5 .1.1 Carte des pentes de 4classes .....	126
<b>IV -6 Conclusion comparative</b> .....	130
<b>Conclusion</b> .....	132
<b>Annexe</b> .....	132
<b>Références bibliographique</b> .....	134

## Liste des abréviations

µm: micromètre

°C: degré Celsius

%: pourcent

AEE : Agence européenne pour l'environnement

ANRH : Agence National des Ressources Hydrauliques

BNEDER : Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural

CDRS : Centre de Développement et de la Recherche Scientifique

CNAID : Centre National Algérien de l'Irrigation et de Drainage

CORINE : Coordination de l'information sur l'environnement

D.A.S : domaines agricoles socialistes

EAC : exploitations agricoles collectives

EAI : exploitations agricoles individuelles

ERTS : Earth Resources Technology Satellite

ETM+ : Enhanced Thematic Mapper Plus

ETR : l'évapotranspiration réelle

FAO : food and agricultural organisation

ha : hectare

IB : Indice de brillance

IDCS : Indice dynamique de couverture des sols

INCT : Institut National de la Cartographie

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique d'Alger

INSID : Institut National des Sols, d'Irrigation et de Drainage

Km : kilomètre

Km/h: kilomètre par heure

m: mètre

m<sup>3</sup> :mètre cube

m<sup>3</sup> /an : mètre cube par an

TIN : (Triangular Irregular Network)

mm : millimètre

Mm<sup>3</sup>: millimètre cube

MSS : Multi Spectrale Scanner

NASA : National Aeronautics and Space Administration

NDVI: Indice de Végétation Différence Normalisée

NOAA AVHRR: National Oceanic and Atmospheric Administration

NRC: National Research Council

Nm : nanomètre

ONID : Office National d'Irrigation et de Drainage

P : précipitation

PAR : photosynthétiquement active de rayonnement

PIR: canal proche infrarouge

PNDA : Plan National de Développement Agricole

P.O.S : plan d'occupation du sol

PVI : Perpendicular Vegetation Index

R: canal rouge

RBV : Return Beam Vidicon

SAVI : Soil Adjusted Vegetation Index

SIG: système d'information géographique

SIRMA : Système d'irrigation du Maghreb

t: temp

T: température

TSAVI: Transformed Soil Adjusted Vegetation Index

UV: ultra violet

WDVI: Weighted Difference Vegetation Index

WGS 84 : World Geodetic System (révision de 1984)



# INTRODUCTION

# INTRODUCTION

---

## INTRODUCTION GENERALE

L'érosion est un phénomène très complexe, lié à des facteurs naturels et anthropiques difficilement maîtrisables, évolutifs aussi bien dans le temps que dans l'espace, consistant à une désagrégation du sol sous l'effet d'agents atmosphériques et du ruissellement et enfin érosion fluviale et ce la porte de graves préjudices aux infrastructures hydrauliques, agricoles et routières ( j. Gréco, 1966) . Sur le plan physique, la sensibilité du relief du bassin hydrographique est, en particulier, bien soulignée par la topographie et le réseau hydrographique très ramifié , par la structure et surtout la lithologie du sol et l'homme tout favorisent l'évolution du phénomène de l'érosion . elle se développe lorsque les eaux de pluie, ne peuvent plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent sur la parcelle en emportant les particules de terres. Ce refus du sol d'absorber les eaux en excédent, apparaît soit lorsque l'intensité des pluies est supérieures aux taux d'infiltration du sol, soit lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée par une nappe ( ruissellement par saturation). 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 diffusé ou en rigoles parallèles et l'érosion linéaire ou concentré de talweg.

La prédisposition du milieu au déclenchement de l'érosion doit être relative. Elle peut être atténuée par d'autres facteurs dans des conditions précises, la couverture végétale et l'occupation particulière du sol.

L'érosion des bassins versants en amont des retenues, sous toutes ses formes - laminaire, en rigole, en ravine, des berges, glissement de terrain, coulée de boue, etc. - est à l'origine de l'envasement des retenues, L'estimation du taux de sédimentation des barrages et de leur durée de vie nécessite une bonne connaissance des apports solides.

## INTRODUCTION

---

L'objectif de notre étude est de développer une méthodologie utilisant le SIG, pour faire déduire la carte d'occupation de sol et établir un modèle numérique de terrain " MNT " pour déduire la carte des pentes . L'utilisation du système d'information géographique (SIG) pour cartographier les zones à risque d'érosion hydrique dans le bassin versant de Oued Haddad, un sous-bassin de Oued Mina qui fait partie du bassin du Cheliff. Le bassin de Oued Haddad est confronté à un grave problème de dégradation du sol. Ce problème provoque l'envasement du barrage d'Es Saâda sur l'oued de Mina (sous bassin Cheliff)

La situation géographique de la zone d'étude, se trouve dans la région méditerranéenne est caractérisée par un climat semi aride et un relief dans la conjoncture présente de nombreux facteurs, physique et 'humains, font des chainons telliens des régions de forte érosion .ou se phénomène est spectaculaire dans les zones marneuses de l'Atlas tellien (SARI D, 1977).

Les conséquences de l'érosion ne se limitent pas uniquement à l'envasement des retenues. L'érosion contribue aussi à la perte de la couche arable, la plus fertile du sol, diminuant sa productivité et dégradant la qualité des eaux de surface. Par ailleurs, les particules de sol qui rejoignent les oueds et les retenues, contribuent d'une part à rehausser le lit des cours d'eau entraînant un risque plus élevé d'inondation, et d'autre part à augmenter la turbidité des eaux ce qui affecte alors les infrastructures en aval telles que les barrages. Ce problème touche particulièrement les pays du Maghreb.

En Algérie, une réduction de 20% de la capacité initiale de stockage de quoi était liée à l'envasement des retenues depuis la construction des barrages (Benblidia et al.,2001). Le taux de sédimentation des barrages du bassin hydrographique du Cheliff est le plus élevé de toutes les régions de l'Algérie (Remini, 2006). L'Algérie disposait de 120 barrages en exploitation en 2007 (ANBT), d'une capacité de 7 milliards de m<sup>3</sup> d'eau, avec un volume régularisé de 3 milliards de m<sup>3</sup> par année. Un cumul de vase d'environ un milliard de m<sup>3</sup> s'est déposé au fond de ces barrages. Le taux d'érosion spécifique a atteint les valeurs les plus importantes d'Afrique du Nord, dépassant les 2000 t/km<sup>2</sup> par an et concerne la plupart des bassins versants de l'Atlas Tellien, il atteint 4000 t/km<sup>2</sup> par an sur la chaîne des Côtiers Dahra et 5000 t/km<sup>2</sup>.an sur le bassin d'Ighi-Emda (Demmak, 1982).

# INTRODUCTION

---

Désormais, on peut cartographier sur une vaste étendue les domaines de forte dissection et établir des informations précises et riches sur l'altimétrie, par acquisition de MNT à très haute résolution spatiale, métrique à sub-métrique.

Pour mener notre étude on a défini une approche qui a pour objectifs de:

- ✓ rechercher les différences de relief entre les deux périodes ;
- ✓ détecter sur les plus longues périodes d'observation possibles si les contours du bassin de Oued Haddad ont évolué dans le temps ;
- ✓ rechercher des zones (parcelles, fractions de parcelles) au sein du périmètres de bassin où la végétation est systématiquement moins vigoureuse (ou plus vigoureuse) et tenter une fois de plus une liaison avec le milieu physique notamment la roche marneuse .

L' étude est scindé en deux (2) partie :

- ▶ la premier partie : Recherche bibliographique , généralités sur l'érosion et présentation de la zone d'étude
- ▶ la deuxième partie : vise principalement la cartographie de l'occupation du sol et MNT de bassin avec l'établissement des cartes des pentes pour de période ( 30 an)

# Première partie

Le phénomène de l'érosion hydrique

- ▶ Chapitre I : Recherche bibliographique
- ▶ Chapitre II : Présentation du bassin de Oued Haddad

# CHAPITRE I

**RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUES**

## RCHE BIBLIOGRAPHIQUES

### I.1. Définition de l'Erosion et type d'érosion

Erosion vient de "*ERODERE*", verbe latin qui signifie "ronger". Donc l'**érosion** est le processus naturel de détachement, transport de particules du sol et sédimentation. Ce processus naturel peut se faire sous l'action de l'eau (érosion hydrique) ou sous l'action du vent (érosion éolienne).

Quelle que soit l'échelle d'étude, du mètre carré au bassin versant de centaines de milliers de km<sup>2</sup>, on retrouve partout les trois phases de l'érosion mais avec des intensités différentes. D'où la diversité des acteurs de l'érosion en fonction des phases dominantes.

L'érosion affecte l'ensemble de la couverture terrestre géo pédologique et c'est l'un des facteurs important de formation et l'évolution des milieux naturels(Dutil.1984). C'est aussi l'ensemble des actions chimique et organique qui aboutissent à la destruction des roches et au nivellement progressif du terrain plus simplement, l'érosion est l'usure de la partie superficielle de l'écorce terrestre, l'eau et le vent sont les principaux agents naturels ( Greco 1966) .

Dans la zone méditerranéenne, l'érosion tient surtout au climat contrasté. En début d'été, des orages violents se succèdent et saturent rapidement le sol, pouvant provoquer des rigoles plus ou moins profondes et entraînant de grandes quantités de terres sur les espaces dégradés. En automne, des orages surviennent après une longue période sans pluie, sur des sols desséchés ayant subi la dessiccation estivale.

Ainsi, des pluies de très forte intensité mais souvent localisées, peuvent provoquer des dégâts importants sur tous les types de cultures. Les dégâts sont d'autant plus importants que les sols de la région sont souvent minces et pauvres en matière organique.

## I.2. Types d'érosion

L'érosion existe sous deux formes (Rampon 1987):

### I. 2.1. Erosion éolienne

Le vent exerce sur les particules solides au repos une pression sur la surface exposée au flux d'air, appliquée au-dessus du centre de gravité, auquel s'oppose un frottement centré sur la base des particules. Ces deux forces constituent un couple tendant à faire basculer et rouler les particules lourdes (0.5 à 2 mm), de plus, la différence de vitesse entre la base et le sommet des particules provoque leur aspiration vers le haut. Les particules les plus légères s'élèvent à la verticale par le vent, suivant une trajectoire sub- horizontale. En retombant, ces grains de sable transmettent leur énergie à d'autres grains sable( comme dans un jeu de boules ) ou dégradent les agrégats limono-argileux en dégageant de la poussière ( Heusch, 1988). L'érosion éolienne prend de l'importance en Afrique de l'Ouest dans les zones tropicales sèches, là où la pluviométrie annuelle est à 600 mm, où la saison sèche s'étend sur plus de six mois et où la végétation de type steppique laisse de larges plaques de sol dénudé.

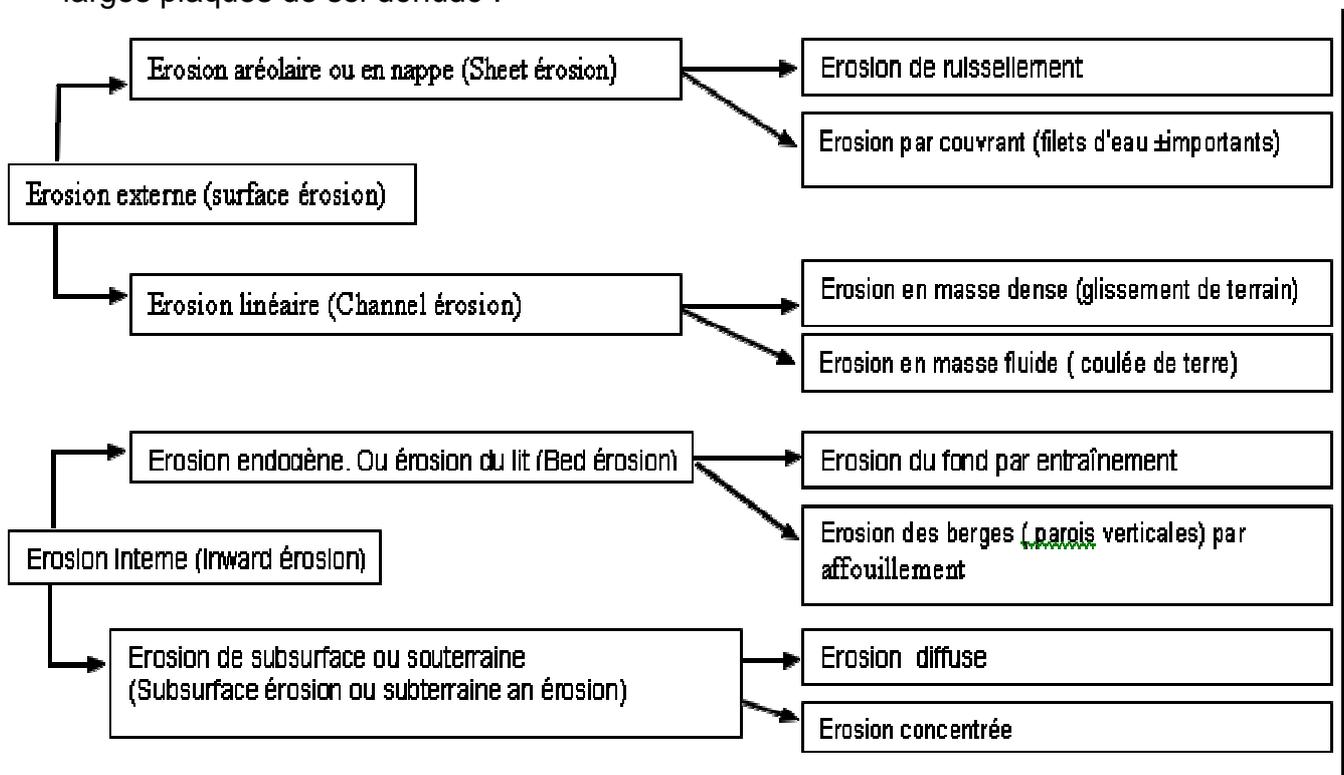
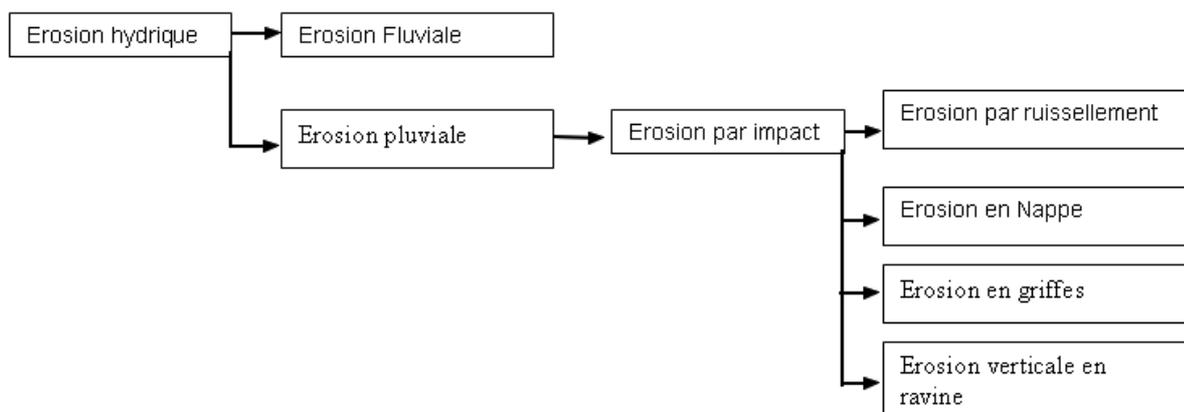


Figure 1 : Types d'érosion d'après Rampon (1987)

### I.2.2. Erosion hydrique

se développe lorsque les eaux de pluie, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent sur la parcelle en emportant les particules de terre. Ce refus du sol d'absorber les eaux en excédent apparaît soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltration de l'eau dans le sol, soit lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée par une 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 ou en rigoles parallèles et l'érosion linéaire ou concentrée de talweg figures 1 et 2. Comme le suggèrent ces définitions, les processus érosifs dépendent d'une multiplicité de facteurs interagissant entre eux, et sont de ce fait complexes à modéliser. Les facteurs de l'érosion devant être pris en compte pour étudier les phénomènes érosifs font maintenant l'objet d'un consensus et regroupent le sol, l'occupation du sol, la topographie et le climat (Wischmeier and Smith, 1978 ; King et Le Bissonais, 1992).



**Figure 2 : Type d'érosion hydrique d'après J.Gréco**

Plusieurs types d'érosion sont dus à l'action de l'eau sur le sol et se caractérisent sous diverses formes :

**I.2.2.1. Erosion Fluviale**

L'élément déclencheur de ce type d'érosion est la pluie, qui provoque le détachement des particules élémentaires du sol (figure 1 ).

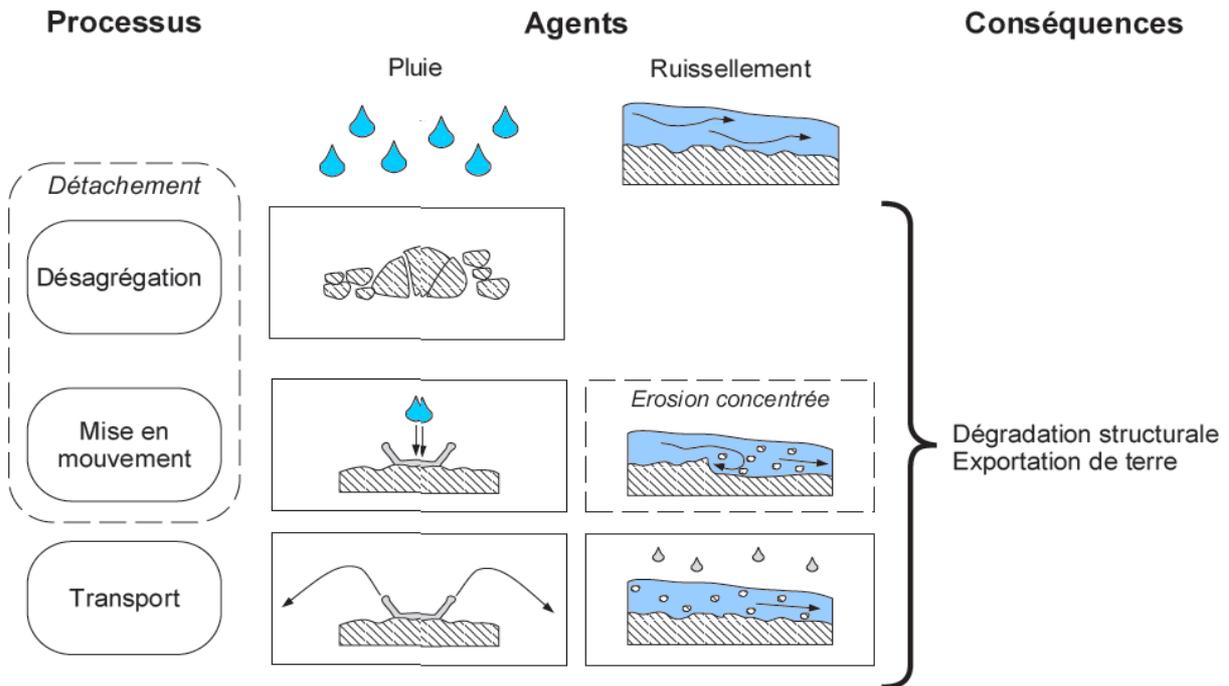


Figure 3: différents procédés de l'érosion hydrique

**I.2.2.2. Erosion pluviale**

C'est l'aspect le plus important de l'érosion au Nord de l'Algérie et précisément l'érosion par ruissellement dû aux eaux de pluie et surtout à la suite des averses torrentielles. Ce type d'érosion découpe les horizons supérieurs du sol progressivement et sa force augmente avec l'intensité de la pluie et la longueur du bassin versant. Cette force d'érosion diminue avec l'importance des obstacles rencontrés.

### I.2.2.3. Erosion en nappe

Elle est caractérisée par une eau de ruissellement sans griffes ou rigoles visibles. Sous l'effet de l'impact des gouttes de pluies (effet splash voir figure N°01), les particules sont arrachées et transportées. Ce phénomène est observé sur les pentes faibles, où l'eau ne peut pas se concentrer. Dans un premier temps, c'est l'impact des gouttes qui va arracher les particules. La battance des gouttes de pluie va envoyer des gouttelettes dans toutes les directions. Seulement, sous l'effet de la gravité les gouttelettes auront une vitesse plus importante vers l'aval que vers l'amont. Si l'on réalise une moyenne sur l'ensemble des gouttelettes, la vitesse sera dirigée de l'amont vers l'aval. A partir de là, il y aura formation de flaques et débordement de l'eau non infiltrée d'une flaque à l'autre ce qui entraînera un ruissellement en nappe.

L'érosion en nappe dépend de:

- L'intensité maximale des pluies qui déclenchent le ruissellement
- L'énergie cinétique des pluies qui détachent les particules
- La durée des pluies et/ou l'humidité avant les pluies

### I.2.2.4 Erosion linéaire, en griffes ou en rigoles

Ce type d'érosion intervient à la suite du ruissellement. Dans un premier temps, des flaques se forment. En débordant, les flaques communiquent entre elles et des lignes d'écoulement limitées dans l'espace apparaissent selon la ligne de plus grande pente: selon la profondeur de ces lignes, le vocabulaire employé est différent d'après Roose, (1994) au Tableau N°01.

Tableau 1: Appellation des lignes d'écoulement (d'après Roose, 1994)

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

**I.2.2.5 Erosion mécanique sèche ou érosion aratoire**

Ce phénomène d'érosion n'est pas dû à l'intervention de l'eau. C'est le travail du sol qui arrache les particules, les transporte et les dépose soit en bas de parcelle, soit en talus. Plus la pente est forte, plus les mottes de terres détachées roulent bas. C'est ce qui explique que les sommets des collines sont souvent décapés.

**I.2. 3. Comparaison entre les différents types d'érosion**

Les formes de dégradation et d'érosion, causes, facteurs de résistance du milieu et conséquences (d'après Roose, 1994) au tableau N°2

Tableau 2: Comparaison entre les différents types d'érosion

Les processus de dégradation et d'érosion et leurs formes	Les causes : différentes sources d'énergie	Les facteurs de résistance du milieu	Les conséquences : sélectivité de l'érosion et des dépôts
Erosion mécanique sèche Forme : creeping	Gravité et poussée par les outils de travail du sol	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ fonction de l'intensité du travail du sol, c'est-à-dire de la fréquence des travaux et du type d'outil</li> <li>❖ fonction de la pente et de la cohésion du terrain</li> </ul>	Sélectivité Erosion: nul Dépôt: : nul
Erosion en nappe Forme: nappe de sable, pellicule de battance ou de sédimentation, "demoiselle coiffée", micro-falaise	Battance des gouttes de pluie	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ le couvert</li> <li>➤ végétal,</li> <li>➤ la pente</li> <li>➤ le sol,</li> <li>➤ les techniques et structures antiérosives</li> </ul>	Sélectivité Erosion: forte Dépôt: : fort
Erosion linéaire Formes: griffes, rigoles, ravines	L'énergie du ruissellement dépend du volume du ruissellement et de sa vitesse au carré $1/2MV^2 = 1/2MGH$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la vitesse du ruissellement est fonction de la pente et de la rugosité,</li> <li>- le volume ruisselé est fonction de la surface du bassin versant et de la capacité d'infiltration,</li> <li>- résistance du profil du sol et des racines</li> </ul>	Sélectivité Erosion: fable Dépôt: : fort

### **I.3. Estimation des volumes de terre arrachée**

Ceci étant précisé, nous allons envisager les différentes méthodes d'estimation des volumes de terre arrachée dans un bassin versant, en distinguant le facteur production (érosion brute) du facteur restitution représentativité par le cours d'eau et érosion globale.

#### **I.3.1. Erosion brute**

Les forces érosives, sont d'autant plus importants que la pente du terrain est grande, que le taux d'humidité du sol est élevé et que l'intensité de la pluie est forte.

La résistance des terres à l'érosion dépend essentiellement de la texture du sol (forces de cohésion, taille des grains ) et du couvert végétal.

La relation entre forces érosives et forces résistantes est bien sur influencée par les pratiques culturales (désherbage chimique, enherbement, labours et griffage,...) et par l'occupation du sol. Dans de nombreux cas , l'intervention de l'homme peut générer un déséquilibre dans ce bilan de forces, qui conduit à une fragilisation des parcelles.

#### **I.3.2. Erosion globale**

Pour cette forme d'érosion, la prise en compte des facteurs d'échelle et d'homogénéité entre les sous bassins est fondamentale.

En fait, le transport solide doit être considéré comme un phénomène discontinu dans le temps et dans l'espace, ceci à tous les niveaux:

✓ la parcelle, les discontinuités de topographie créent une succession de zones tampons " dans les quelles les sédiments arrachés et véhiculés par ruissellement sont temporairement ou définitivement bloqués.

✓ Dans les émissaires récepteurs, les forces tractrices ( moteur du transport de sédiments) varient dans l'espace( discontinuités géométriques) et dans le temps ( crues et étiages) .Ces variations conduisent à un entraînement discontinu des sédiments dans les différents talwegs ( éphémères ou permanents)

La zone de transition entre la parcelle et l'émissaire adjacent est en général sujette au colluvionnement et marque une barrière plus ou moins infranchissable à l'échelle de temps qui nous intéresse.

La valeur du coefficient de restitution, qui représente dans ce cas la capacité des sédiments érodés à être transportés de leur point d'arrachement à la parcelle, jusqu'en un point du réseau hydrographique, peut ainsi être excessivement augmenté dans un contexte aménagé, tout au moins localement.

**I.4. Quantification de l'érosion**

Il existe diverses méthodes de mesure de l'érosion, notamment à l'échelle de la parcelle par la simulation de la pluie et à l'échelle du micro-bassin par l'observation quotidienne de la turbidité. Ces dernières méthodes de quantification restent difficiles à extrapoler à l'échelle du bassin versant car la pluie est une variable aléatoire; en outre les sols du bassin versant ne sont pas homogènes Tableau 3.

**I.4.1. Calcul de l'érosivité de la pluie**

Le détachement de particules dû à l'effet "splash", c'est-à-dire qu'une faible partie de l'érosion totale. En effet la pente n'est pas assez longue pour développer une énergie importante de ruissellement, des effets de bord et des effets de rugosité. L'effet du gradient de pente est réduit par l'absence d'énergie de ruissellement. (Roose, 2002)

L'érosivité de la pluie est définie par :

$$R = E \times I_{30} \dots\dots\dots(1)$$

avec

- ✚ E, l'énergie cinétique des pluies
- ✚  $I_{30}$  , l'intensité maximale des pluies en 30 minutes exprimées en cm/heure.

L'énergie cinétique des pluies est donnée par la formule:

$$E = 210 + 89 \log_{10} I_p \dots\dots\dots(2)$$

où



$I_p$  : l'intensité de pluie ( mm /ha)

Pour ce faire , il y a eu lieu de quantifier cette érosion par des méthodes empiriques sont utilisées pour la quantification de l'érosion hydrique .

**Tableau 3: La quantification de l'érosion à différentes échelles spatiales ( Touibia .1998)**

Echelle spatiale	Erosion spécifique	Type d'érosion
Parcelle Wischmeïrr	0.12 à 1.09 T/Ha.an	En nappe : faible
Mini Simulation de pluie (1m <sup>2</sup> )	9 à 1407 g/m <sup>2</sup> .h	En nappe, en rigole : faible
Simulation géante ( 87 m <sup>2</sup> )	0.1 à 184 g/m <sup>2</sup> .h	Toute forme d'érosion : appréciable et dangereuse
Micro-bassin expérimentaux de l'ordre de l'hectare	12.38 à 48.72 T/Ha.an	Toute forme d'érosion : appréciable
Retenues collinaires	23.74 T/Ha.an	Toute forme d'érosion faible ( Effet de surface néfaste)
Stations hydrométriques	2.12 à 3 T/Ha	
Barrage SMB : - d'après la bathymétrie 1196 - d'après les stations hydrométriques	3.27 T/Ha.an 7.10 T/Ha.an	Toute forme d'érosion, faible Toute forme d'érosion , nom négligeable

**I.4.1.a) Formule de Henin "1950"**

Cette formule symbolise la relation existante entre l'érosion pluviale et les facteurs susceptibles de la favoriser ou de la limiter. La quantification de l'érosion spécifique "Es" est donnée par la formule suivante :

$$E_s = \frac{I_p \cdot I \cdot S}{K \cdot V_e} \dots\dots\dots(3)$$

Les facteurs " I<sub>p</sub> " et " I " favorisent l'érosion :

Avec

- ✚ I<sub>p</sub> : Intensité des précipitations ( mm/ha);
- ✚ I : pente du bassin versant ( m/m);

Les facteurs S, K et V<sub>e</sub> limitent l'érosion et en plus, les facteurs S et V<sub>e</sub> semblent les plus difficiles à quantifier:

Avec :

- ✚ S: Susceptibilité des Sols;
- ✚ K: Perméabilité;
- ✚ V<sub>e</sub>: Végétation.

**I.4.1.b) Formule universelle de Wischmeier "1959"**

Le modèle empirique de perte en terre de Wischmeier et Smith ( USLE ), vingt ans après la mise en Place des essais d'érosion en parcelles dans une bonne dizaine d'Etats d'Amérique du Nord, il existait une accumulation d'un grand nombre de données sur l'érosion dont il convenait de faire la synthèse . En 1958, Wischmeier, statisticien du Service de Conservation des Sols fut chargé de l'analyse et de la synthèse de plus de 10 000 mesures annuelles de l'érosion sur parcelles et sur petits bassins versant dans , 46 stations de la grande Plaine américaine. L'objectif de Wischmeier et al ( 1978 ) était d'établir un modèle empirique de prévision de l'érosion à l'échelle du champ cultivé pour permettre aux techniciens de la lutte antiérosive de choisir le type d'aménagement nécessaire pour garder l'érosion en dessous d'une valeur limite tolérable étant donné le climat, la pente et les facteurs de production .

Selon ce modèle, l'érosion est une fonction multiplicative de l'érosive des pluies ( le facteur R. qui est égal à l'énergie potentielle ) que multiplie la résistance du milieu, laquelle comprend K )( l'érodabilité du sol), S.L( le facteur Topographique), C( le couvert végétal et les pratiques culturales) et P ( las pratiques antiérosives ). C'est une fonction multiplicative, de telle sorte que si un facteur tend vers zéro, l'érosion tend vers 0 .

Ce modèle de prévision de l'érosion est constitué d'un ensemble de cinq sous modèles

$$A = R \times S \times L_s \times C \times P \quad \dots\dots\dots( 4 )$$

Avec :

- ✚ A: Perte de terre par unité de surface ( T/ha )
- ✚ R: Indice- pluie caractérisant l'agressivité de la pluie en ( T/ha)
- ✚ S: Indice- Sol mesurant la plus ou moins grande susceptibilité du sol à l'érosion.
- ✚ L<sub>s</sub> : Indice- pente, (Facteur topographique) permettant de comparer les conditions topographiques Locales à des végétal;
- ✚ C : Effet du couvert végéta
- ✚ P : Effet des pratiques anti-érosives

Cette équation a été appliquée dans l'Est de l'Algérie et a montré la gravité du problème de l'érosion et a déterminé les périodes où l'érosion est intense. Les dégâts graves et intenses causés par l'érosion hydrique au fil des siècles ont poussé l'homme par le biais de différentes formules empiriques à quantifier les pertes en sols, ces formules restent toujours à utiliser avec précaution du fait de leurs limites d'application.

**I.4.1.c) Formule de Grivilovic ( 1960 )**

Il a défini l'érosion spécifique, comme étant proportionnel à la température, la pluie et un coefficient d'érosion :

$$E_s = 3.14.T.P_0\sqrt{Z^3} \dots\dots\dots( 5 )$$

Avec :

- ✚ Es : érosion spécifique dans le bassin versant ( T/km<sup>2</sup>.an)
- ✚ T : coefficient de température

$$T = \sqrt{\frac{t_0}{10}} + 0.1 \dots\dots\dots( 6 )$$

Avec:

- ✚ t<sub>0</sub> : température moyenne annuelle en 0° .
- ✚ P<sub>0</sub>: pluie annuelle en (mm).
- ✚ Z: coefficient d'érosion.
- ✚  $Z = y.[x.a](\delta + \sqrt{I_{moy}})$

D'où:

- ❖ y : valeur du coefficient de la résistance du sol du à l'érosion. Il dépend de la roche mère, le type du sol et du climat.
- ❖ [ x.a ] : Coefficient de régularisation du bassin versant , se rapportant au protection des sols, des influences des phénomènes atmosphériques des forces érosives liées aux conditions naturelles. Il est aussi tabulé.
- ❖ δ: équivalent numérique des processus visibles et nettement prononcés dans le bassin versant.
- ❖ Imoy : indice de pente moyenne

**I.4.1.d) Formule de L'A.N.R.H ( 1970)**

$$T_{ss} = 26.62Ie + 5.071IP + 9.77Ct - 593.59 \quad \dots\dots\dots ( 7 )$$

Avec:

- ✚ Tss: transport solide spécifique moyen annuel( T/Km<sup>2</sup>.an)
- ✚ Ie : indice lithologique (%).
- ✚ IP: indice des précipitations (%) .
- ✚ Ct=Dd.F<sub>1</sub> : coefficient de torrentialité.

d'ou :

- Dd: densité de drainage

$$Dd = \frac{\sum_{l=1}^N L_l}{A} \quad \dots\dots\dots ( 8 )$$

L<sub>l</sub>: longueur de tous les cours d'eau d'ordre "1" ( Km) .

- F<sub>1</sub> : nombre de talweg/surface fréquence des talwegs élémentaire

Cette formule est applicable dans les conditions suivantes : Ie >10% et IP>300

**I.4.1. e) Formule de Tixeront ( 1960)**

$$Es = [S_1.T_{a1} + S_2.T_{a2} + S_3.T_{a3} + \dots\dots\dots + S_N.T_{aN}] \quad \dots\dots\dots( 9 )$$

Avec

- ✚ Es : érosion spécifique (t/Km<sup>2</sup>. an)
- ✚ Ta<sub>1</sub>,Ta<sub>2</sub>,Ta<sub>N</sub> : taux d'abrasion en fonction de la perméabilité du sol dans les sous bassin ( T/Km<sup>2</sup>).
- ✚ S: superficie totale du bassin (Km<sup>2</sup>) .
- ✚ S1,S2,SN: superficies des sous bassins (Km<sup>2</sup>).

Maintenant si on suppose que la totalité du bassin possède une même perméabilité:

$$E_s = K \cdot L_e \quad \dots\dots\dots (10)$$

Avec :

- ✚ Le : Lamme d'eau ruisselée moyenne inter annuel en (mm) .
- ✚ K: constante ,un coefficient qui est déterminé en fonction de la perméabilité des terrains
  - K = 8.5 pour les terrains d'une perméabilité élevée .
  - K= 75 pour les terrains d'une perméabilité moyenne élevée .
  - K= 350 pour les terrains d'une perméabilité faible à moyenne
  - K= 1400 pour les terrains d'une perméabilité faible.
  - K= 3200 pour les terrains perméables.

#### I.4.1.f ) Formule de Fournier (1960)

$$Q_s = \frac{1}{36} \cdot \left[ \frac{P^2}{P_a} \right]^{2,65} \cdot \left[ \frac{H_{moy}^2}{S} \right]^{1,46} \quad \dots\dots\dots (11)$$

Avec

- ✚ Qs : l'apport solide moyen inter annuel (T/Km<sup>2</sup>.an)
- ✚ P: la pluviométrie du mois le plus arrosé ( en mm) .
- ✚ H<sub>moy</sub> : l'altitude moyenne ( en mm)
- ✚ Pa : la pluviométrie moyenne interannuelle ( en mm).
- ✚ S : superficie du bassin versant ( en Km<sup>2</sup>).

Si la pluie est forte, le sol ne peut pas absorber toute l'eau tombée, la partie supérieure du sol devient saturée mais le transfert vers la profondeur n'est pas assez rapide. Une pellicule d'eau s'accumule en surface et s'écoule selon la pente: c'est le ruissellement. L'eau qui s'écoule arrache des particules puis se rassemble en chenaux de plus en plus importants (cours d'eau). Lorsque la surface du sol est

imperméable (roche imperméable, route ou zone urbaine bitumée), le ruissellement apparaît sitôt que les dépressions du sol ont été remplies. La végétation favorise l'infiltration et s'oppose ainsi au ruissellement.

#### **I.4.2- Quantification de l'érosion par le facteur topographique**

La topographie de la parcelle influence l'érosion selon trois critères:

##### **I.4.2.1. Forme du versant**

Suivant la forme de la pente (convexe, concave, replat, etc.), il pourra y avoir dépôt et infiltration de l'eau (CAYOT et al -1993) .

En effet à mesure que les parcelles d'érosion vieillissent et sont soumises à une forte érosion, elles deviennent de plus en plus concaves puisque la base de la parcelle reste fixe (le canal de ruissellement) et que le milieu de la parcelle s'érode plus vite que le haut.

D'après Wischmeier (1974), à pente moyenne égale, une pente gauchie ou concave diminue les transports solides (par sédimentation localisée) tandis qu'une pente convexe l'augmente en fonction de l'inclinaison du segment le plus pentu. La présence de pentes concaves dans le paysage indique qu'il doit y avoir des piègeages, des colluvions et des alluvions dans la vallée.

En général, l'érosion sur versant est supérieure au transport solide dans la rivière: ce n'est pas le cas en zone méditerranéenne où la cause principale des transports solides est l'énergie et le volume du ruissellement (Heusch, 1971: Arabi, Roose, 1989).

##### **I.4.2.1.a) Inclinaison de la pente**

Lorsque la pente augmente, c'est l'énergie cinétique du ruissellement qui augmente et l'emporte sur l'énergie cinétique des pluies lorsque les pentes sont supérieures à 15 %. De plus, ce sont les particules fines qui sont le plus sensibles et qui seront arrachées les premières. Or, une grande quantité des particules fines est composée de matières organiques. Etant donné que ces matières organiques servent de nourriture aux plantes, c'est la partie la plus riche du sol qui migre.

Par ailleurs, du fait des carences en matières organiques, le couvert végétal diminue lorsque la pente augmente, ce qui entraîne des vitesses de ruissellement plus importantes. Il y a donc une forte interaction entre l'augmentation de la pente et la diminution du couvert végétal.

D'autre part, il est intéressant de noter que les formes d'érosion changent selon l'inclinaison de la pente. Ainsi, pour des pentes inférieures à 4%, ce sont les particules fines qui migrent. Pour des pentes supérieures à 7 %, des rigoles apparaissent. Des particules plus importantes sont transportées à l'intérieur de ces griffes. Enfin, au delà de 20 %, les rigoles se creusent et deviennent de plus en plus profondes (5 à 20 cm), ce qui se traduit par une surface très accidentée. (Roose, 1994)

Aux Etats-Unis, Wischmeier et Smith(1960) ont montré que l'on pouvait exprimer l'érosion de parcelles soumises à des pluies naturelles pendant 17 ans, et dont la pente est comprise entre 3 et 18 %, sous la forme d'une équation du second degré:

$$E = \frac{\sqrt{L}}{30.48} (0.76 + 0.53S + 0.076S^2) \dots\dots\dots( 12 )$$

✚ E : Erosion en t/ha

✚ S : Pente exprimée en pourcentage

✚ L : Longueur exprimée en mètres

**Tableau 4:** Directives d'évaluation des catégories d'érosion de sols potentielles

Classe de risque d'érosion	Perte de terre possible ( T/Ha.an)
Très faible ( tolérable)	<6
Faible	6-11
Modéré	11-22
Elevé	22-33
Grave	>33

**Source : Adapté de Wall et al. 1997.**

#### I.4.2.1.b) Longueur de la pente

La vitesse étant proportionnelle à la distance parcourue, plus la longueur de la parcelle est grande, plus la vitesse augmente. Les particules d'eau qui ruissellent emmagasinent donc une énergie plus importante qui se traduit par la création et le creusement de rigoles. Cependant, même si l'influence de la longueur de la pente est reconnue, il est très difficile de connaître précisément l'exposant qui relie l'érosion et la longueur de la pente. De nombreuses formules ont été proposées, mais elle ne sont pas applicables de manières universelles. De plus, tout comme pour l'inclinaison de la pente, il faut prendre en compte le type d'érosion pour pouvoir . déterminer quelle est l'influence de la longueur de la parcelle(Figure N°5 )

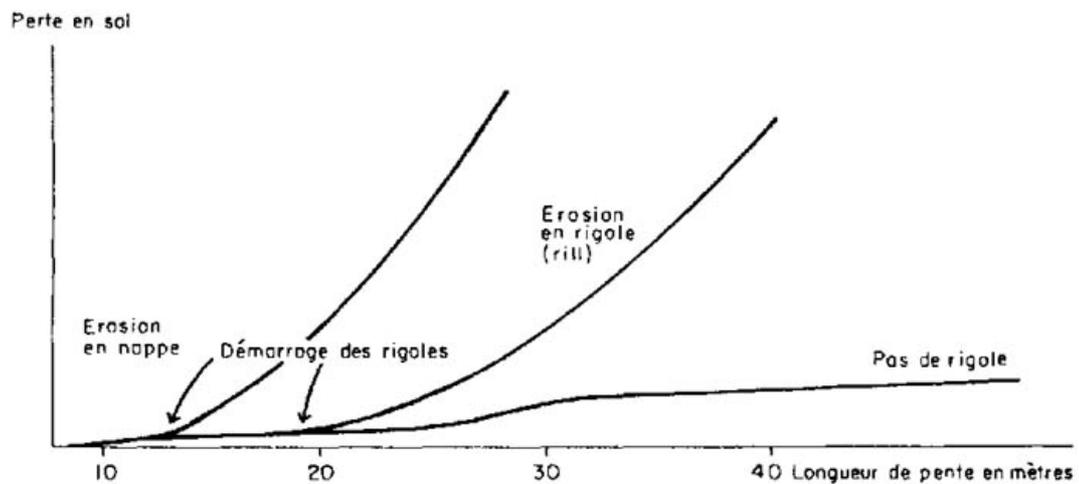


Figure 4: Perte en terre en fonction de la longueur de la pente et du type d'érosion (d'après Roose, 1994)

Cependant, le facteur topographique de Wischmeïrr & Smith donné sur le graphe ci-dessous permet de donner des résultats satisfaisants.

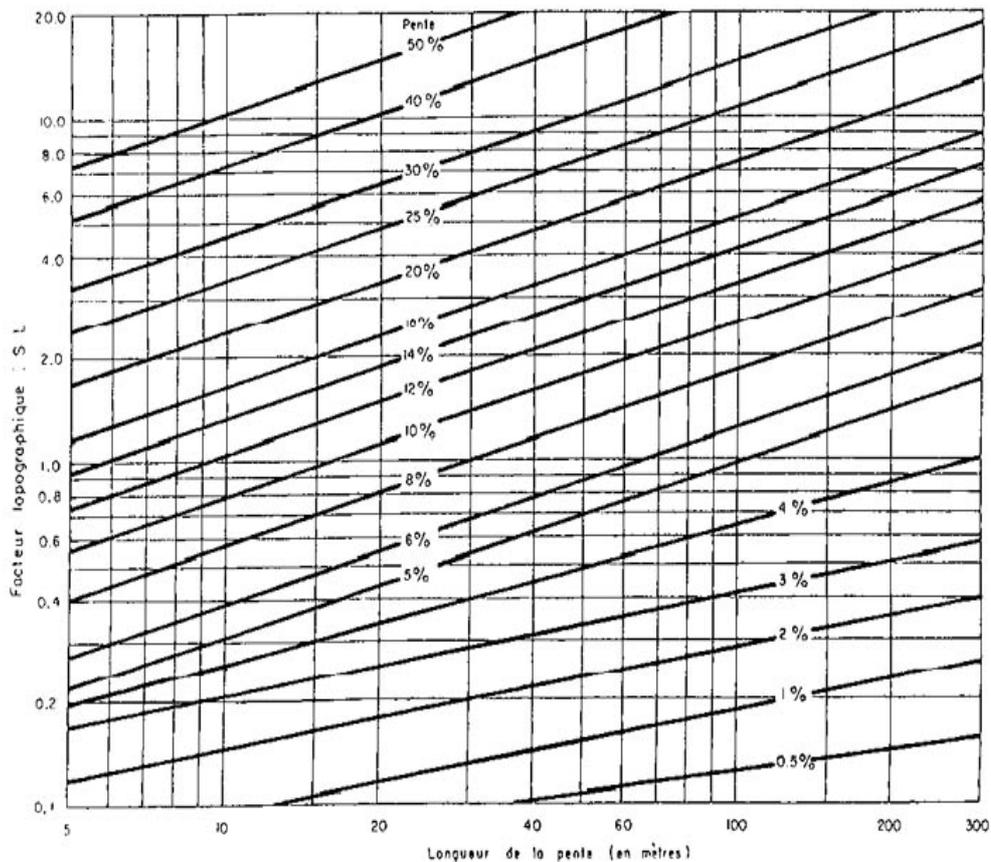


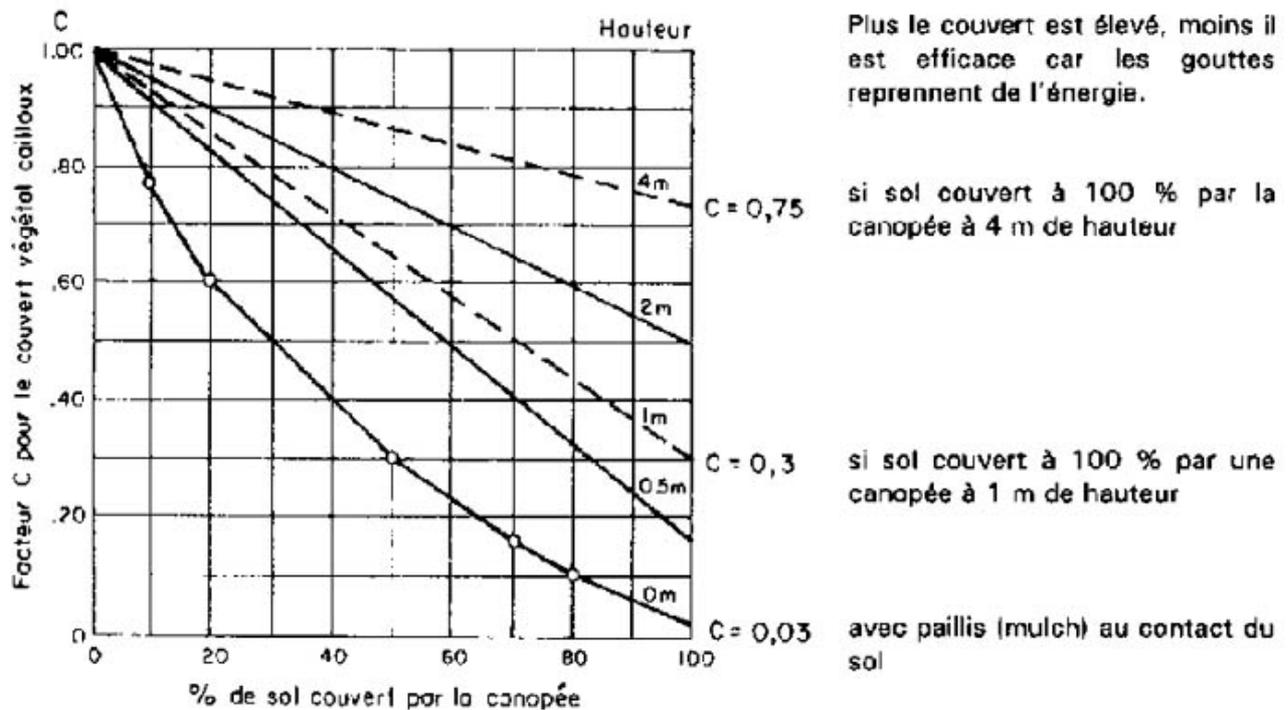
Figure 5 : Facteur topographique en fonction de la longueur de la pente et de son inclinaison

#### I.4.2.2. Couvert végétal

Il est admis de façon générale que le boisement offre la meilleure protection des bassins – versants,, d'une part protégé contre la battance des pluies, donc prolonge la perméabilité du sol et réduit le volume ruisselé. Sa litière entretient la mésafaune (laquelle creuse la macroporosité) et absorbe une grande quantité d'énergie de ruissellement, et la rugosité au sol dépend du nombre de tiges par  $m^2$ . C'est ainsi qu'une couverture végétale formée d'herbacées à tiges nombreuses est plus efficace pour protéger le sol contre le ruissellement que des arbres.

Le type de couvert végétal est à prendre absolument en compte puisque c'est de lui que va dépendre l'amortissement des gouttes de pluies, le ralentissement du ruissellement, et l'infiltration. Le facteur C tenant compte de la couverture dépend de:

- **Le pourcentage de sol à nu** : l'érosion intervient majoritairement sur des sols à nus lors d'épisodes de pluies agressifs.
- **La hauteur du couvert végétal** : il est intéressant d'avoir un couvert végétal, mais si celui-ci est trop élevé, l'amortissement des gouttes de pluies n'interviendra plus. En effet, après une première interception, les gouttes seront de nouveau rejetées vers le sol.
- **les plantes dites "parapluie"** vont disperser les gouttes d'eau et donc diminuer leur énergie.



**Figure 6:** Valeur du facteur de couvert végétal en fonction du pourcentage de couverture du sol et de la hauteur de la végétation (Roose, 1994)

### I.4.2.3 Estimation du volume des rigoles

Cette méthode fait l'hypothèse que l'érosion en nappe est négligeable, elle s'attache à ne calculer que les pertes en terre dues à l'érosion en nappe. Son but est de mesurer les volumes de terre évidés. Une méthode volumétrique est utilisée pour estimer la quantité moyenne de matériaux décapés par les griffes ou les rigoles.

Pour être prises en compte la section droite des rigoles doit être supérieure à 5 cm<sup>2</sup> et la longueur de celles-ci supérieure à 10 m. "La longueur du réseau de la rigole est la distance comprise entre le point le plus haut sur le versant où démarre le creusement et le point le plus bas où commence la sédimentation, en suivant la tortuosité." (Charruyer, 1996)

Tout d'abord, la tête d'incision et la fin de la rigole selon le paramètre ci-dessus sont repérées.

**Li** : longueur partiel de La rigole (découpée en tronçons de 5 à 20 m, en général 10 m.

**I** : largeur moyenne a différents points de la rigole,

**P** : la profondeur de l'incision. Le volume évidé par la rigole s'écrit ainsi:

$$V = \sum (L_i * I * P) \dots\dots\dots(13)$$

La fiabilité de cette estimation des volumes de terre évidés a été testée par B. LUDWIG, le pourcentage d'erreur est d'autant plus grand que les rigoles sont petites. Ainsi, il a estimé la marge d'erreur à 20% pour les petites rigoles (section incisée < à 10 cm<sup>2</sup>) et à 5% pour les rigoles ayant une section incisée supérieure à 80 cm<sup>2</sup>.

Cette méthode permet d'avoir un premier ordre de grandeur du volume de terre décapée par l'érosion linéaire, mais elle ne permet pas de connaître l'impact d'une pluie de forte intensité, à moins de faire un suivi régulier des rigoles choisies.

## **I.5 -Transport Solide**

En zone méditerranéenne et semi-aride, l'énergie de ruissellement est plus importante que celle de la pluie (Heusch, 1970; Meddi, 1992) et le transports solides dépend essentiellement des conditions climatiques (types de précipitations), topographiques et pédologiques des surfaces drainées, Il évoluent avec les changements d'occupation des terres et avec les fluctuations du climat (Olive & Rieger, 1991).

L'écoulement de l'eau produit sur l'élément une force verticale, dirigée de bas en haut, qui s'oppose à son poids apparent et tend à le soulever. Cette force est proportionnelle à la vitesse du courant. Les petits éléments (argiles, sables) sont arrachés du fond et suspendus dans l'eau. Toute diminution de vitesse produit leur chute. la dégradation des sols agricoles, l'alluvionnement des retenues et de nombreux dégâts dont les coûts sont considérables. En Algérie, par exemple, les études d'aménagement hydromécaniques butent sur le problème de manque de données sur le transport solide afin d'évaluer son importance.

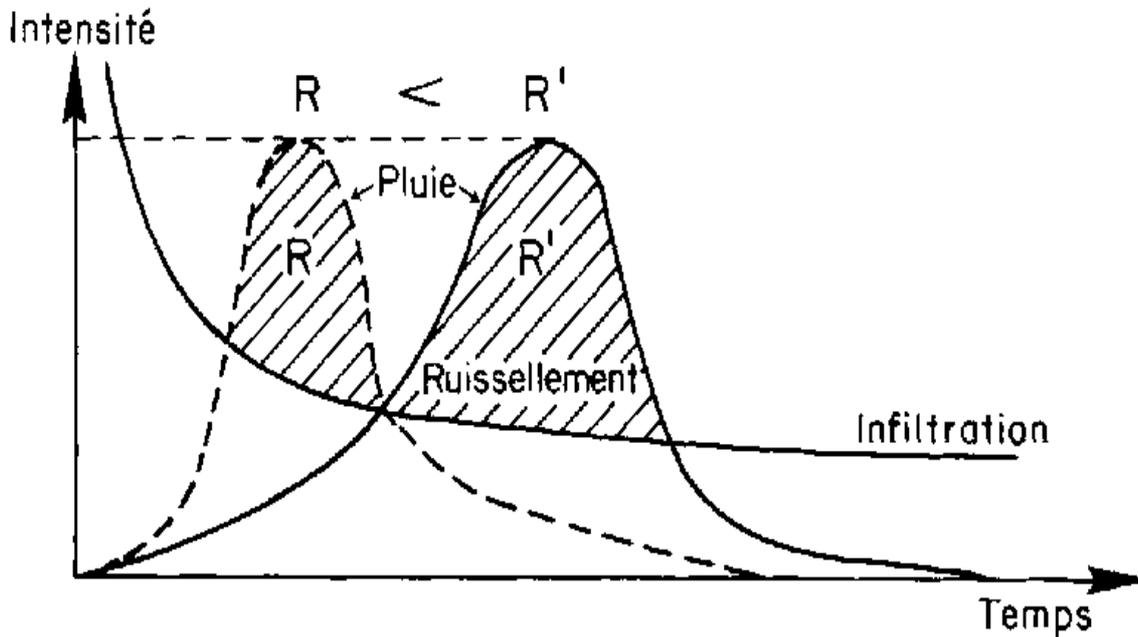
### **I.5.1- Naissance du ruissèlement**

Trois théories pour expliquer la naissance du ruissellement

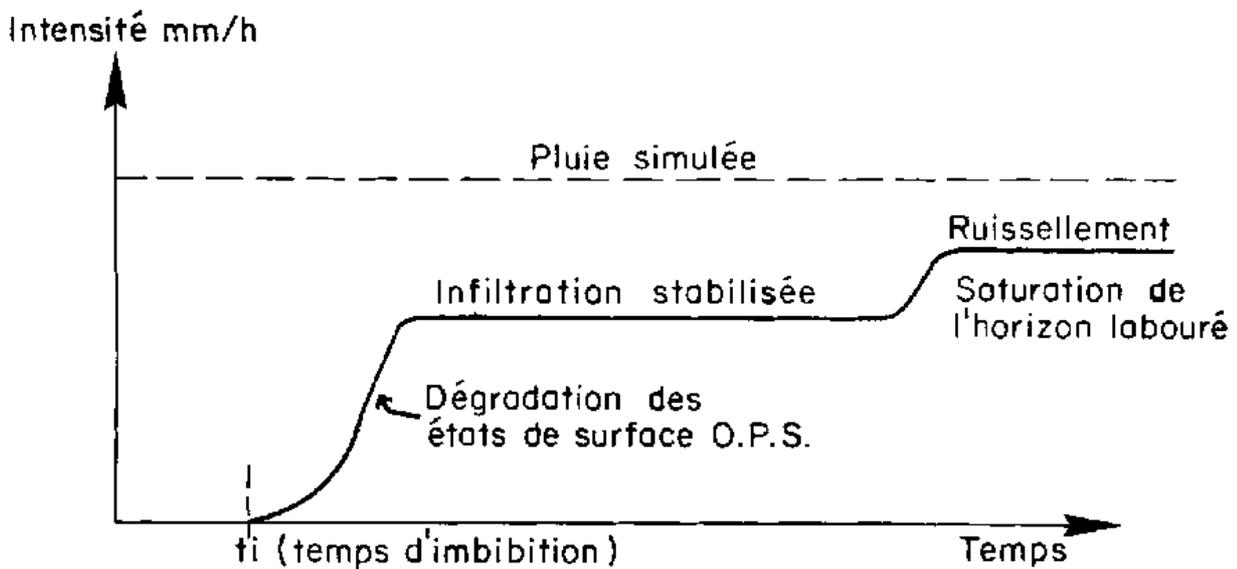
#### **I.5.1.1- Théorie de Horton (1945)**

Le ruissellement naît lorsque l'intensité des pluies est supérieure à la capacité d'infiltration du sol (figure 8.A) . Si on compare l'infiltration à l'intensité de la pluie, on constate que l'intensité d'infiltration décroît au cours du temps, d'une part parce que le potentiel capillaire diminue à mesure que le front d'infiltration pénètre à l'intérieur du sol et d'autre part, par dégradation de l'état de la structure à la surface du sol. Par contre, l'intensité de la pluie passe généralement par un (ou plusieurs) maximum et le volume de la pluie situé au-dessus de la courbe d'infiltration peut être considéré comme le ruissellement. On constate dans l'exemple choisi, pour une séquence d'intensité voisine que le volume du ruissellement peut varier considérablement en fonction de la période où apparaît le maximum d'intensité dans l'averse. Plus tôt apparaît ce maximum, plus réduit sera le ruissellement puisque la capacité d'infiltration diminue au cours du temps. Cependant, les hydrologues ont montré qu'il

était rare d'obtenir une bonne corrélation entre le volume ruisselé sur un bassin versant et l'intensité des pluies. On a donc cherché une autre explication.



A : Si intensité pluie > Infiltration (Horton)



B : Si la porosité du sol est saturée:

Figure 7: Naissance du ruissellement: deux théories ( A, et B )

### **I.5.1.2 -Théorie de la saturation du milieu**

Le ruissellement naît lorsque l'espace poreux du sol est saturé (figure 8.B). Si au cours d'une pluie simulée on constate d'abord le démarrage du ruissellement après une pluie d'imbibition, le ruissellement va augmenter jusqu'à atteindre un niveau stabilisé correspondant à la capacité d'infiltration stabilisée du sol. Mais si la pluie persévère (plus de 100 mm), il peut arriver que l'on observe une nouvelle croissance du ruissellement et un nouveau plateau d'infiltration stabilisée. Il s'agit simplement de la saturation de l'horizon labouré; elle provoque le débordement de cette capacité de stockage que représente la macroporosité de l'horizon labouré. On peut constater soit que l'intensité de ruissellement correspond exactement à celle de la pluie simulée si l'horizon de profondeur est totalement imperméable ou qu'il reste une certaine capacité d'infiltration résiduelle correspondant à celle du fond de labour. Lorsqu'un milieu est totalement saturé, toute goutte d'eau tombant dans ce milieu ruisselle, quelle que soit l'intensité de la pluie.

### **I.5.1.3 - Théorie de la contribution partielle de la surface du bassin au ruissellement**

On constate que le ruissellement observé au niveau de la rivière est fonction de la surface du sol saturé au fond de la vallée. Si, au cours de la saison sèche, on mesure le ruissellement sur un bassin versant, on constate que la rivière réagit très rapidement aux orages alors qu'on n'observe pas de ruissellement sur les versants ! Le volume ruisselé est réduit pendant cette période sèche car la surface saturée du fond de vallée est très étroite, souvent réduite au lit mineur. En fin de l'hiver, par contre, lorsque tout le volume de la couverture pédologique a été réhumecté jusqu'à capacité au champ, la moindre averse réalimente la nappe, laquelle va latéralement saturer une surface plus grande de la vallée. Par conséquent, même s'il n'y a pas de ruissellement sur le versant en période humide, l'ensemble du bassin versant va contribuer au volume écoulé par la rivière par extension de la surface saturée, la nappe étant alimentée directement par le drainage de l'ensemble du bassin.

En fonction de l'origine du ruissellement, la lutte antiérosive devra donc s'organiser différemment. Si comme dans le premier cas, le ruissellement provient de la

dégradation de l'état de la surface du sol, la lutte antiérosive devra s'organiser essentiellement en protégeant cette surface du sol par la couverture végétale ou en retardant la formation de pellicule de battance.

Si par contre, le ruissellement s'organise à partir de la saturation du sol, il importe d'organiser un certain drainage. La végétation va freiner le ruissellement et le stocker provisoirement: elle va diminuer les pointes de crue et l'énergie disponible pour l'arrachement des matériaux. Enfin, si le ruissellement ne se manifeste que localement sur un bassin versant, il est inutile d'organiser des banquettes de diversion sur les versants et les pentes fortes, puisqu'il s'y forme très peu de ruissellement.

### **I.5.2. Développement des ravines**

Le long d'un versant, l'énergie cinétique des gouttes de pluie est une constante à ceci près, qu'elle dépend de la vitesse du vent. Par contre, le ruissellement tend à s'accumuler et à s'organiser lorsque la longueur de pente augmente. Si le débit de pointe augmente, on observe l'entaille de la surface du sol et la formation d'une rigole. Celle-ci va évoluer par un frottement du fond par les sédiments transportés par le fluide et par effondrement des berges et transport du matériau ainsi désorganisé (figure 8) .

Dans la nature, on observe le plus souvent des ravines en forme de « V » qui s'impriment dans un matériau homogène, plus ou moins meuble, sablo argileux; argileux, marneux ou schisteux. Un deuxième type de ravines en « U » s'observe fréquemment dans la nature sur des matériaux hétérogènes.

Lors des orages de fin de saison sèche, les eaux pénètrent dans ces sols fissurés jusqu'à la roche altérée, ruissellent dans ces fissures jusqu'en bas de pente où elles peuvent former des ravines régressives.

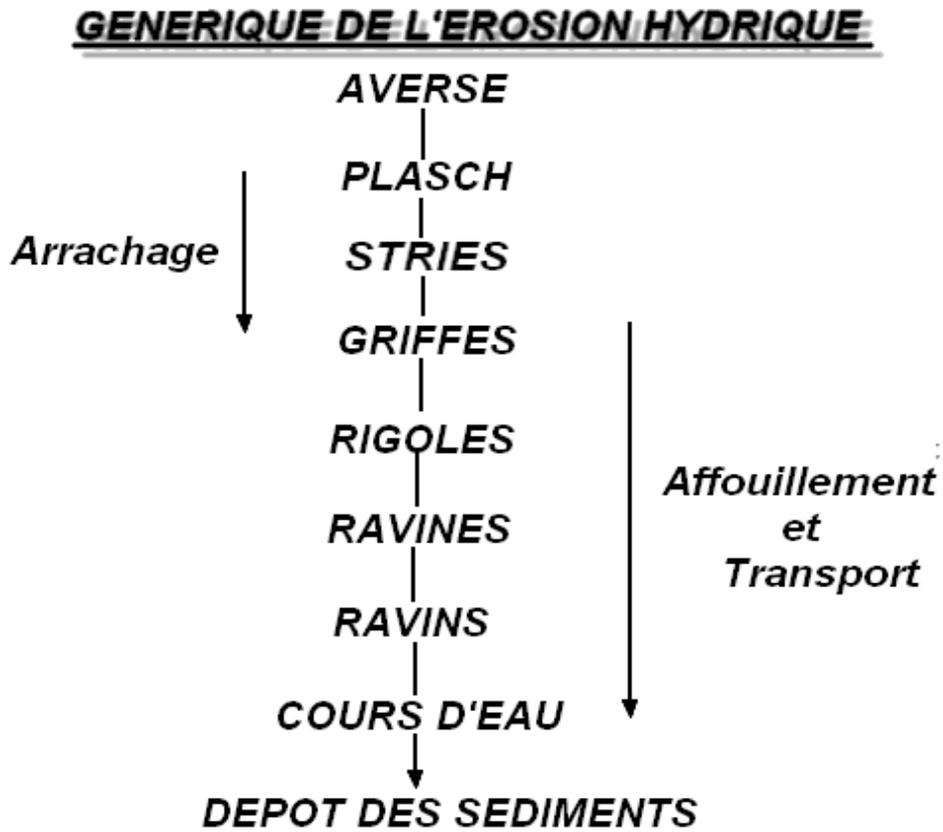


Figure8 : Générique de l'érosion hydrique .

### **I.5.3. Facteurs du ruissellement**

les facteurs qui font varier le volume ruisselle sont :

#### **I.5.3.1. Inclinaison de la pente**

Généralement, l'inclinaison de la pente diminue le volume ruisselé car sur forte pente, on observe un meilleur drainage interne et une formation plus lente des pellicules de battance, lesquelles sont détruites au fur et à mesure par l'énergie du ruissellement.

Le facteur longueur de pente intervient également sur le volume ruisselé, mais si théoriquement, ce volume en pourcentage reste constant le long de la pente, il apparaît dans de nombreux cas, lorsque les sols sont dénudés, que le coefficient de ruissellement diminue lorsque la pente augmente (Roose, 1973; Valentin, 1978).

#### **I.5.3.2. Vitesse de ruissellement**

Le deuxième facteur, qui peut jouer pour réduire ou augmenter l'énergie cinétique du ruissellement, est la vitesse de celui-ci. Cette vitesse dépend d'une part de l'épaisseur de la lame ruisselante et de la pente du canal et d'autre part, de sa rugosité. La pente augmente la vitesse de l'écoulement et donc la vitesse d'avancement de la ravine mais le ravinement peut très bien commencer sur des pentes inférieures à 1 %.

La position de la parcelle dans la topographie peut aussi avoir un rôle majeur (Heusch, 1970). En effet les eaux peuvent drainer dans le sol jusqu'à atteindre le fond de la vallée mais au niveau d'affleurement des nappes, il peut se développer du ravinement qui entraîne par la suite une érosion régressive.

Enfin, il faut noter la différence d'altitude qui va régler la profondeur des ravines; en effet, la hauteur de chute des eaux dans la ravine, entraîne une énergie de tourbillon considérable, laquelle va accélérer la vitesse d'érosion .

L'énergie du ruissellement E est égale à

$$E = \frac{1}{2} \cdot M \cdot V^2 \quad \text{ou} \quad E = \frac{1}{2} \cdot M \cdot g \cdot H \quad \dots\dots\dots( 14 )$$

à l'échelle du bassin versant.

- ✚ M: la masse volumique de l'eau
- ✚ V : la vitesse de l'eau
- ✚ H : la dénivelé du bassin

### I.5.4 Transport par gravite pure

Ce mode de transport se rencontre dans les régions présentant des différences d'altitude créant des pentes, et où la désagrégation mécanique de la roche est forte, c'est à dire essentiellement en montagne. Le transport des matériaux est de toute taille; les plus gros descendent plus loin et forment la frange du cône: un certain grano-classement horizontal s'établit. La porosité des éboulis est grande et la percolation des eaux bonne. La cimentation est rapide , donne une brèche de pente à éléments anguleux.

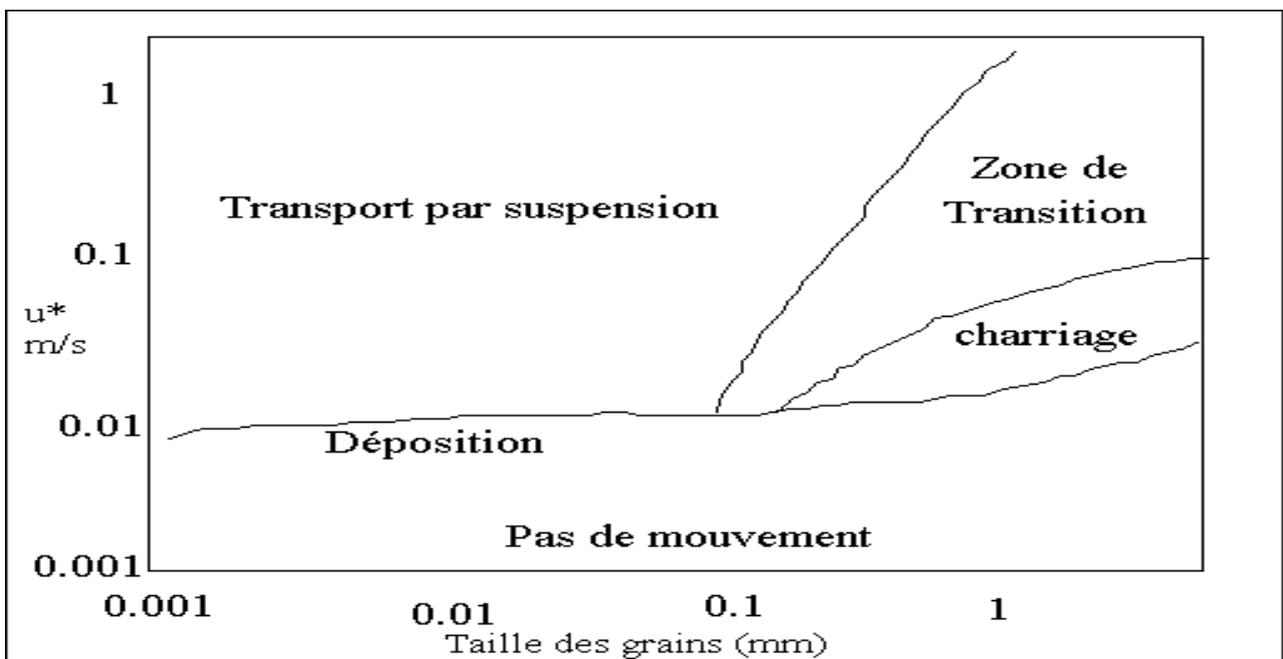


Figure 9:Transport solide par gravite

**I-5.4.1 - Charriage**

**A) une loi classique du charriage est la loi de MEYER. Peter**

$$q_s = \frac{8}{\sqrt{\rho}} (\tau_0 - \tau_c)^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (15)$$

avec

qs : débit solide correspondant à la masse de sédiments transportés par unité de largeur du lit mobile.

L'intérêt de cette formule est qu'elle montre que qs est proportionnel à u\*<sup>3</sup>.

$$u^{*3} = (\tau_0 - \tau_c)^{1/2} \dots\dots\dots (16)$$

Donc de faibles changements dans la vitesse du courant entraînent des conséquences notables sur le taux de transport

**b) Application de la formule de VELKANOV**

Cette formule est applicable pour des rivières dont le lit est large et sableux.

$$\bar{C} = \eta \frac{\rho_0 \cdot \rho}{\rho_0 - \rho} \cdot \frac{J \cdot \bar{U}}{w} \dots\dots\dots (17)$$

- $\bar{C}$  : Concentration moyenne
- $\bar{U}$  : Vitesse moyenne de l'écoulement
- $\bar{w}$  : Vitesse moyenne de chute des particules transportées par suspension .
- $\eta$  : Coefficient de VELIKANOV, il est compris entre 0,0007 et 0,007 .
- J : pente moyenne

La méthode d'application de cette formule consiste à :

- ✓ Diviser la courbe granulométrique choisie en trois classes.
- ✓ Appliquer la formule pour chaque classe et pour un pas de 0,0007 pour  $\eta$  .
- ✓ Déterminer la concentration totale comme étant la somme des trois concentrations partielles .
- ✓ Choisir la valeur de  $\eta$  qui donne les résultats qui s'approche le mieux des mesures .
- ✓ En déduire le débit solide en multipliant la concentration total par le débit liquide correspondant ( le pas de hauteur étant le même que pour le charriage )
- ✓ Calculer le volume de sédiments en suspension pour l'année.
- ✓ En déduire une concentration moyenne pour chaque cas .

## Conclusion

Dans notre recherche bibliographique , on remarque que plusieurs modèles ont été proposés dont chacun a son domaine d'application pour la quantification de l'érosion ( le volume de terre transporter par l'eau )

- Méthode basée sur la mesure de la concentration du débit liquide
- Méthode basée sur le suivi du profil en travers et le type de ravinement
- Méthode basée sur l'utilisation des facteurs hydrologiques et physiques du bassin

Si bien qu'il est intéressant de déterminer et de quantifier la charge solide transporté par l'eau de ruissellement dans les oueds au droit des stations hydrométriques et d'autre points d'observation, l'étude du danger d'érosion fera l'objectif de notre travail .

# CHAPITRE II

**PRESENTATION DU BASSIN DE L'OUED HADDAD**

## II – PRESENTATION DU BASSIN DE L'OUED HADDAD

### II -1. Situation Géographique

Le bassin versant de l'oued Haddad se situe dans la rive gauche d'oued Mina, ( figure 10) ,il se trouve à 300 km à l'Ouest d'Alger , dans l'Oranais . la taille total du bassin est de 509 km<sup>2</sup> à l'extrême sud de Relizane à (nord-ouest algérien) sont périmètre est 92 km,et il draine une superficie de 470 km<sup>2</sup> à la station hydrométrique de Sidi Abdel Kader El Djillali .Il est situé entre( 0° 24' , 0° 40' ) de longitude Est et entre (35° 12' , 35° 25' ) de latitude Nord. Groupant une petite partie de la daïra d'El Matmar (Wilaya de Relizane ) et une grande partie ( presque la totalité) de la daïra de Tighenif ( Wilaya de Mascara) limité du côté Nord-Est par la daïra d'El Matmar , du Nord-Ouest par la daïra de Tighenif et du côté Sud par la daïra de Ghriss .

Oued Haddad suit une direction sud Ouest –Nord Est. Il prend sa source dans le djebel Bazita (côte 1000 -1100 m) et collecte les eaux des oueds Baloul, Rekada et Medjaref (figure11).

Le cour d'eau Oued Haddad a une pente moyenne de 8,91 m/km sur une longueur de 40,8 km jusqu'à la station de. Sidi Abdelkader El Djilali .

Le bassin versant a une section droite d'un cours d'eau, est donc défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section. Il est entièrement caractérisé par son exutoire, à partir duquel nous pouvons tracer le point de départ et d'arrivée de la ligne de partage des eaux qui le délimite.

Généralement, la ligne de partage des eaux correspond à la ligne de crête. On parle alors de bassin versant topographique.

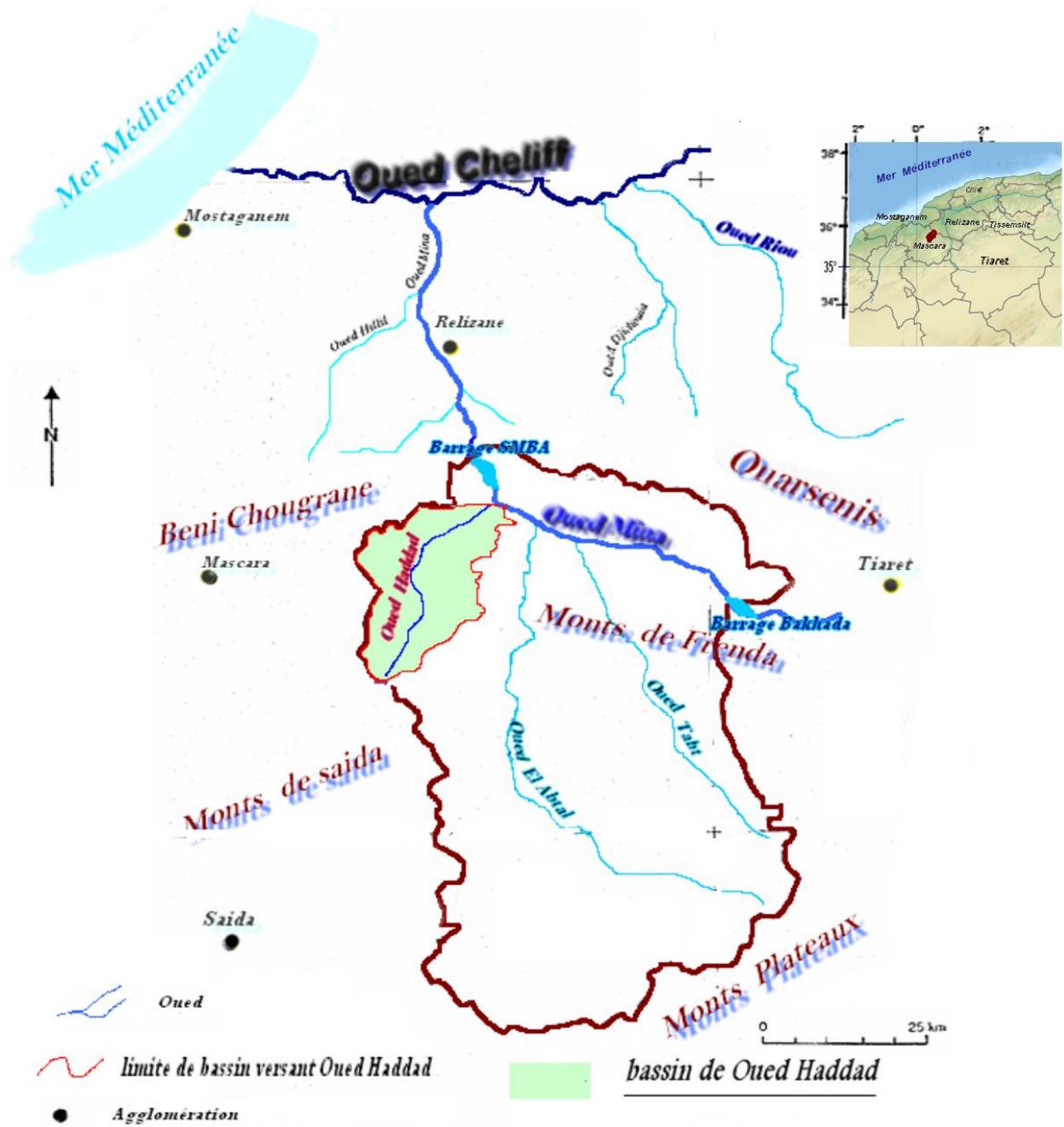


Figure 10: Situation de bassin de Oued Haddad

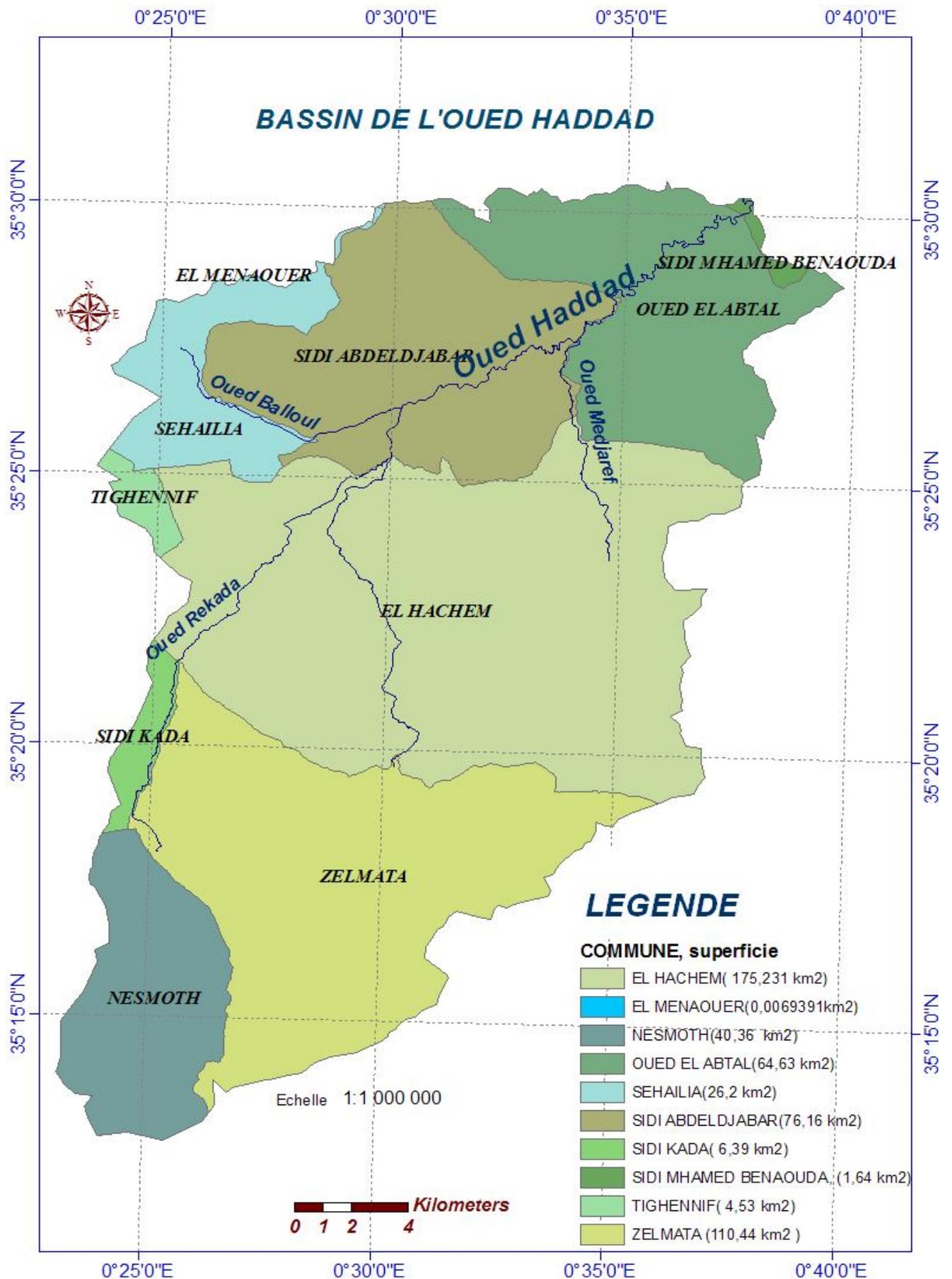


Figure 11: Carte d'occupation par secteur communal du bassin de Oued Haddad

## II-2. Caractéristiques Physiques du Bassin

Le relief de la zone des marnes tertiaires du bassin versant de l'oued Mina est très morcelé. Les profondes entailles en V sont généralement plus raides en exposition sud qu'en exposition nord. Selon BLUM (1989), d'autres processus géomorphologiques sont les glissements de terrains, liés aux sels et aux anhydrites inclus dans les marnes, et qui peuvent donner aux versants une forme en gradins. Les caractéristiques physiographiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue. La taille du bassin (sa surface), sa forme, son élévation, sa pente et son orientation (figure n°12)

L'étude géologique du sol et du sous-sol est la plus souvent pour objet de classer ces derniers d'après leur plus ou moins grande perméabilité; celle-ci intervient au premier chef sur la rapidité de montée des crues et le soutien apporté aux débits d'étiages par les nappes souterraines.

A ces facteurs s'ajoutent encore le type de sol, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique. Ces facteurs, d'ordre purement géométrique ou physique, s'estiment aisément à partir de cartes adéquates ou en recourant à des techniques digitales et à des modèles numériques du terrain (MNT).

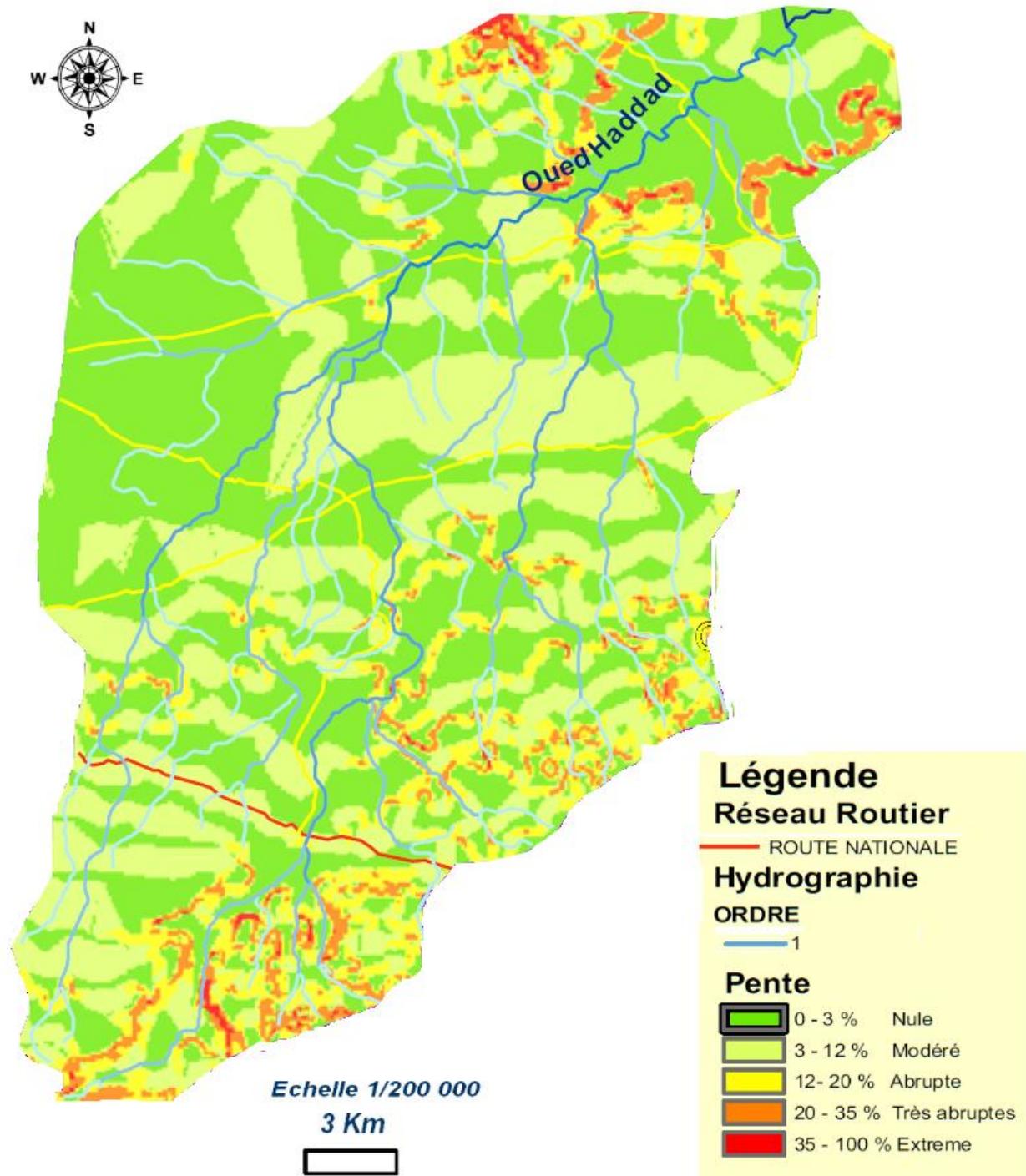


Figure 12: Carte des pentes du Bassin de Oued Haddad année 2009

- Source ABH Cheliff-Zahrez

Etablie par la Coopération Española dans le cadre projet étude de développement d'un plan de gestion intégrée des ressources en eau de la région hydrographique cheliff-zahrez ,2009

### II.2.1 Lithologie

Le bassin de oued Mina en général et de oued Haddad en particulier sont des zones caractérisées par la prédominance de formations lithologiques friables telles que les marnes, les marno-calcaires et les schistes (Ennadifi 1974, Leblanc 1975, Suter 1980). Inexistence de la couches protectrices sur les marnes, d'importantes manifestations de l'érosion se produisent.

les principales formations géologiques qui constituent l'ossature de la région d'étude sont regroupé dans la carte géologique de la zone d'étude. cette dernier nous l'avons réalisée à partir de la carte géologique du bassin Cheliff (source ABH Chlef) La légende explicative, décrit la stratigraphie et les grands traits structuraux de la région ; l'évolution géologique régionale y est résumée.

Dans la zone d'étude on remarque que, les marnes jurassiques sont sujettes à l'érosion, la partie sud-ouest est formée par un complexe calcaire –dolomie du jurassique moyen qui est très résistant à l'érosion vu ses fortes caractéristiques rocheuses d'une part, et d'autres part, au sud les précipitations sont plus faibles que dans le nord.

Tout le bassin n'est pas soumis avec la même intensité à l'attaque érosive. La détermination par planimétrie des différentes formations lithologiques est importante dans cette approche géomorphologique ( figure 13)

La stratigraphie venant sur un substratum forme essentiellement de grés et argiles Numidien, de flysch vert (Crétacé inférieur) puis de marnes et marno-calcaires, on peut suivant les travaux de A.Perrodon (1957) distinguer deux grands cycles sédimentaires : le Miocène et le Pliocène, sans oublier de prendre en compte le cycle Quaternaire qui est le prolongement immédiat et la figure 12 montre ces variations au niveau du bassin de Oued Haddad.

#### II.2.1. 1 – Miocène

##### Miocène inférieur :

Le Miocène inférieur a été reconnu par forage qui a révélé un Miocène inférieur marneux à faciès saumâtre.

Au nord Est coupe assez semblable :

- Conglomérats et marnes rouges ( 20 m ) à la base.
- Marnes bigarrées, gypseuses, azoïques, parfois bréchiques dans leur partie supérieure ( 330 m ).
- Marnes bleues à faciès littoral devenant plus marin vers le haut où l'on trouve quelques espèces planctoniques caractéristiques ( 200 m ) .

### **II.2.1. 2 – Pliocène**

Dans la zone d'étude à des formations pliocènes généralement discordantes et érodées d'âge du Calabrien (Perrodon).

#### **Le Plaisancien :**

Le Plaisancien est représenté par des marnes bleues à coccolithes très comparables aux marnes bleues miocènes. Elles sont souvent plus claires, grisâtres et même blanchâtres et également plus fossilifères. La base du Plaisancien peut être constituée par des horizons sableux (grés de base). L'épaisseur de ce complexe est de l'ordre de 200 à 500 m .

A l'Est le Plaisancien est constitué par des marnes sableuses et des grés argileux et quelquefois par des niveaux conglomératiques à la base.

#### **L'Astien :**

Le Plaisancien passe verticalement à des marnes sableuses ou des sables argileux à la base de l'Astien.

L'Astien est représenté par une série marine sableuse ou gréseuse de couleur jaune fauve. Les grains formés essentiellement de quartz sont généralement assez mal classés.

L'épaisseur moyenne de cette formation est d'une centaine de mètres. La limite supérieure est difficile à tracer quand les grés passent verticalement à des séries sableuses dunaires Quaternaires.

Les grés Astiens ont été traversés par les forages d'Hillil dans la plaine de la Mina sur une épaisseur de 30 m , ils semblent érodés sous le Calabrien transgressif. Ces formations représentent par des grés calcaires jaunes, avec une épaisseur de 100 m .

**Pliocène continental P :**

Le Pliocène continental est formé par des sables roux et gris à hélix souvent d'origine dunaire et par des limons gris. Il est en contact avec les grés marins astiens et débute par des dépôts fluviatiles et lacustres, après quelques alternances de niveaux marins et continentaux.

La sédimentation des niveaux Pliocènes continentaux est très irrégulière et discontinue. Des passés de conglomérats et de poudingues sont aussi observés à différents niveaux, les sables sont fins ou grossiers, gris, beiges ou rougeâtre et sont mal classés.

**II.2.1.3 – Quaternaire****Le Calabrien :**

Le Calabrien forme un plateau allongé s'inclinant assez régulièrement du Dahra vers la mer et se prolonge au Sud Ouest formant le plateau de Mostaganem.

**Le Villafranchien :**

Sur la rive du Bas Chélif, le pléistocène présente de belles variations de faciès. Les différences des faciès nous permettent de distinguer approximativement deux ensembles :

**✓ Villafranchien I (contemporain du Calabrien) :**

Dépôts d'argile ou de calcaire lacustre de couleur grise ou brune, parfois blanche.

**✓ Villafranchien II (couches rouges) :** Sables et argiles roux ou brunes.

## CARTE GEOLOGIQUE DU BASSIN DE OUED HADDAD

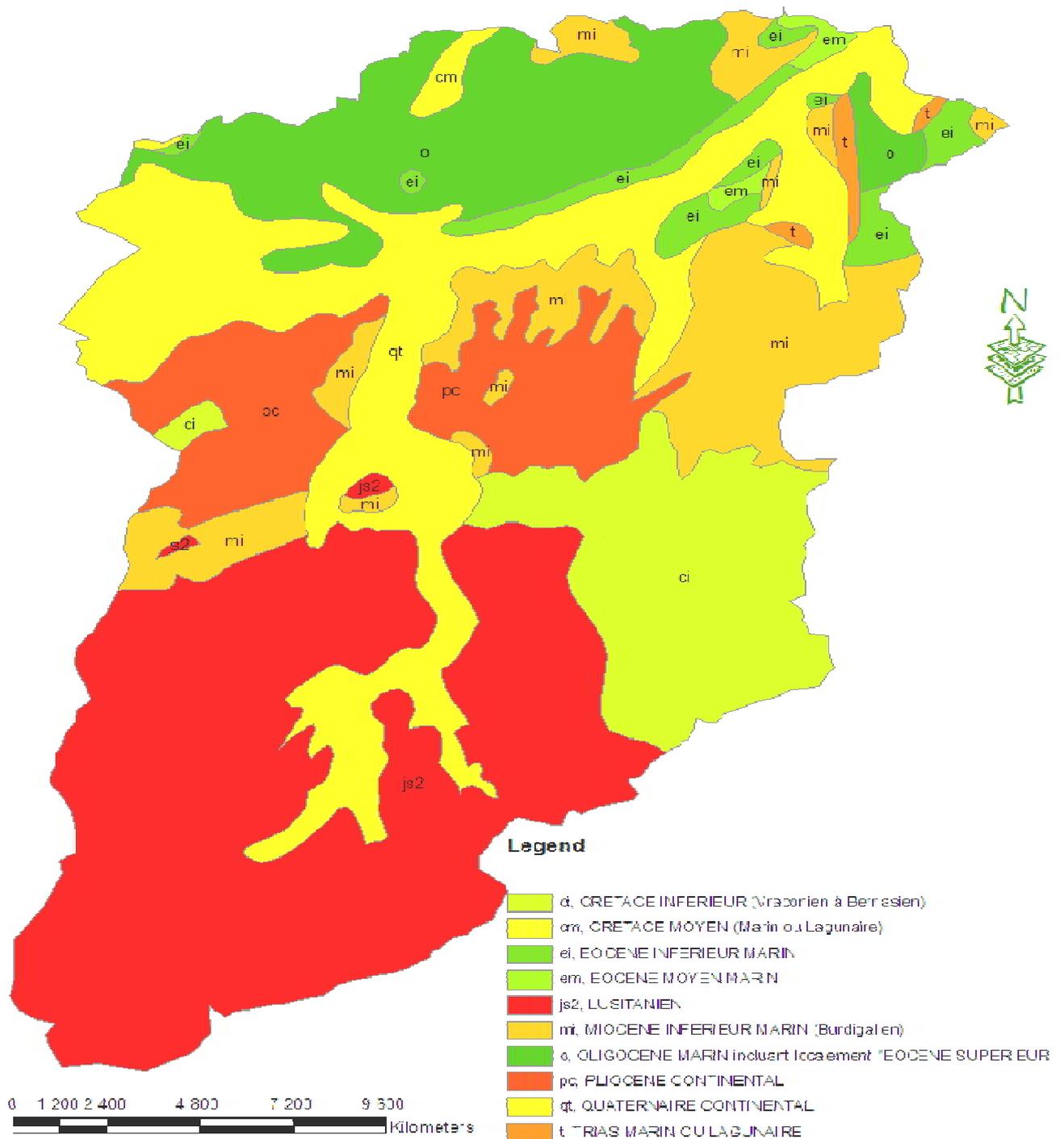


Figure 13: Carte géologique du bassin de Oued Haddad

Tableau 5: Les différentes formations lithologiques du bassin versant de oued Haddad

Légende	Désignation	Période	ERE	Surface Km <sup>2</sup>	Pourcentage %
pc	Sables Fins rouges clairs, dunes + Grés sableux avec en partie un peu de cimentation carbonatée, calcaires sableux et croutes calcaires pouvant atteindre 1 m d'épaisseur	Pliocène continental	TERTIAIRE	48	9,43
mi	Marnes avec des intercalations de minces plaques de grés et de bancs de limon .	Miocène inférieure		58,0	11,39
qt	Dépôts de carbonates et de grés en partie sous forme de conglomérats et de brèches, et par endroits de minces plaques de grés et de marnes.			102,0	20,04
o	Marnes vert clair avec sporadiquement de faibles bancs de grés et de limon, en partie de marnes sableuses foncées .	Oligocène		59	11.59
em	Calcaires fossilisés surtout d'origine marine et calcaires à nummulites, en partie congloméra bien ronds, grés mal assortis avec cimentation carbonatée	Eocène moyen		3	0.59
ei	Calcaires à foraminifères, grés marins avec des marnes colorées.	Eocène inférieur		15,0	2.95
ci	Calcaires en partie sableux et par endroits stromalithe	Crétacé inférieur	Secondaire	54	10.61
Js2	Calcaires et dolomies alternant en général avec des marnes et de calcaires sableux	Jurassique Supérieur		165,0	32,42
t	Grés durs et dolomies	Trias		5	0.98

Nous remarquons que la région d'étude est composée dans sa majeure partie de marne, se sont des argiles contenant du calcaire. Ce qui provoque l'effervescence avec Hcl , Celles qui contiennent moins de 15% d'argile sont appelées argiles calcaires .Mélangées au calcaire et chauffées, les marnes donnent du ciment. Généralement, elle sont de couleur gris ou jaune. Par temps humide donnent des terres collantes ,difficiles à cultiver sur les reliefs. Elles sont facilement érodées et sont sujettes aux glissements de terrains.il serait préalable d'aborder la description des marnes d'après (WILLI.MEIER ,1987 ) : les principales composantes du marne sont

- ▶ 10 à 70%  $\text{CaCO}_3$  ( calcaire )
- ▶ 1 à 5 % de  $\text{CaM}_6$  ( COs )<sub>2</sub>
- ▶ 90% minéraux argileux qui sont des silicates stratifiés. Les plus observés dans la région sont :
  - Smectite : sont capacité d'augmentation de volume est très gonflable.
  - Chlorite et Illite : sont capacité d'augmentation de volume est gonflable.
  - Kolinite : sont capacité d'augmentation de volume non gonflable.

## II-2.2 -L'indice de compacité de Gravelius

Est caractérisée par l'indice de compacité de (Gravelius ,1914)  $K_c$ , défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

On a :

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} = 0.28 \frac{91}{\sqrt{S}} \dots\dots\dots ( 16 )$$

, D'où :  $K_c = 1.18$

Avec :

$K_c$  : indice de compacité de Gravelius;

P : périmètre du bassin ( m)

S : surface du bassin (  $\text{Km}^2$ )

### II-2.3 . Altitudes caractéristiques

#### II-2.3.a Altitude maximale et minimale

Elles sont obtenues directement à partir de cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire

#### II-2.3.b Altitude moyenne

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit :

$$H_{moy} = \frac{\sum S_i \cdot h_i}{S} \dots\dots\dots ( 17 )$$

Avec :

$H_{moy}$  : altitude moyenne du bassin [m] ;

$S_i$  : aire comprise entre deux courbes de niveau [km<sup>2</sup>] ;

$h_i$  : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] ;

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

#### II-2.3.c Altitude médiane

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique

### II-2.4. Les pentes

Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement directe, influencé directement le débit de pointe lors d'une averse, la pente est un facteur important pour déterminer l'aptitude à l'érosion du relief et du sol.

La valeur de la pente conditionne la vitesse de l'eau compte tenu de l'état de surface du sol, de sa rugosité, l'eau coulant plus vite, le débit en chaque point se trouve augmenté.

L'érosion augmente proportionnellement plus vite que la pente mais le phénomène est complexe en particulier sur sol nu.

La longueur de la pente intervient en augmentant la quantité d'eau disponible.

On peut distinguer 4 types de pentes:

#### **II-2.4.1 Pente orographique**

La pente orographique caractérise le relief. Elle favorise l'élévation des masses d'air en mouvement au dessus des reliefs et provoque la condensation de l'humidité qu'elles contiennent.

#### **II-2.4.2 Pente topographique**

C'est la pente qui influence l'écoulement superficiel des eaux: ruissellement de surface et écoulement hypodermique. Elle accélère le ruissellement sur les versants et détermine en partie le temps de réponse du cours d'eau aux impulsions pluviométriques.

La pente topographique se lit et se mesure sur la carte topographique ou à l'aide de M.N.T.

#### **II-2.4.3 Pente hydrographique**

La pente hydrographique, ou profil en long du cours d'eau, peut-être déterminée sur la carte ou mesurée sur le terrain par un nivellement de précision. Cette pente exprimée généralement en m/km conditionne:

- la vitesse de l'eau dans le chenal;
- la vitesse de l'onde de crue;
- le tirant d'eau de la rivière: pour un même débit et une même largeur une rivière plus pentue a une vitesse d'écoulement plus grande et donc, généralement, une profondeur plus faible.

La pente hydrographique varie plus ou moins irrégulièrement pour un même cours d'eau selon les structures géologiques traversées et diminue en général d'amont en aval (forme concave des profils en long)  
La pente d'un cours d'eau varie beaucoup d'un type de cours d'eau à un autre: supérieurs à  $10^2$  m/km pour les torrents fortement pentus à  $10^{-2}$  m/km pour les grands fleuves. Elle conditionne la forme des hydro grammes de crue.

#### **II-2.4.4 Pente stratigraphique**

Elle contrôle le chemin des eaux infiltrées qui alimentent les aquifères. Elle détermine la direction de l'écoulement des eaux souterraines.

#### **II-2.5 Pente moyenne du bassin versant**

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle est considérée comme une variable indépendante. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct - donc sur

le temps de concentration  $t_c$  - et influence directement le débit de pointe lors d'une averse.

Plusieurs méthodes ont été développées pour estimer la pente moyenne d'un bassin. Toutes se basent sur une lecture d'une carte topographique réelle ou approximative. La méthode proposée par (Carlier, Leclerc. 1964) consiste à calculer la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires comprises entre deux altitudes données. Une valeur approchée de la pente moyenne est alors donnée par la relation suivante :

$$I_m = \frac{D \cdot L}{S} \dots\dots\dots ( 18 )$$

Où :

$I_m$  : pente moyenne[m/km ou ‰],

$L$  : longueur totale de courbes de niveau [km],

$D$  : équidistance entre deux courbes de niveau [m],

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

Cette méthode de calcul donne de bons résultats dans le cas d'un relief modéré et pour des courbes de niveau simples et uniformément espacées. Dans les autres cas, il convient de styliser les courbes de niveau pour que leur longueur totale ait un sens réel vis-à-vis de la pente.

Le calcul de la pente moyenne tout comme celui de leur exposition (orientation des pentes) peut-être assez facilement automatisée en se basant sur des données numériques représentant la topographie des bassins versants (Modèle Numérique d'Altitude). Le recours à ces données et méthodes est vivement encouragé. La dernière section de ce chapitre est consacrée aux informations digitales et aux modèles numériques.

### II-2.6 Indice de pente $I_p$

Les indices de pentes permettent, comme pour certaines caractéristiques géométriques, de comparer les bassins versants entre eux.

L'indice de pente de Roche caractérise la pente globale du bassin versant.

Ce indice se calcule à partir du rectangle équivalent. Il est égal à la somme des racines carrées des pentes moyennes de chacun des éléments pondérés par la surface intéressée, soit :

$$I_p = \frac{1}{L} \cdot \sum_{i=1}^n \left( x_i \cdot \sqrt{\frac{d}{x_i}} \right) \dots\dots\dots (19)$$

où :

$I_p$ : indice de pente [%],

$L$ : longueur du rectangle [m],

$x_i$ : distance qui sépare deux courbes sur la rectangle [m] (la largeur du rectangle étant constante, cette distance est égale au facteur de pondération),

$d$ : distance entre 2 courbes de niveau successives (peut être variable) [m],

$d/x_i$ : pente moyenne d'un élément [%].

où  $S_i$  représente la fraction en % de la surface  $S$  comprise entre deux courbes de niveau voisines distantes de  $d_i$ .

- L'indice global de pente. Sur la courbe hypsométrique, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de  $S$ . On en déduit les altitudes  $H_5$  et  $H_{95}$  entre les quelles s'inscrit 90% de la superficie du bassin et la dénivelée

$$D = H_5 - H_{95} \dots\dots\dots (20)$$

L'indice global est égal à :

$$I_G = \frac{D}{L} \dots\dots\dots (21)$$

$D$ : dénivelée entre  $H_{5\%}$  et  $H_{95\%}$

Selon ( A.GHACHI , 1986 ) l'indice de pente globale sert aussi à classer le relief du bassin versant, et cela on calculant la dénivelée spécifique "  $D_s$ " avec :

$$D_s = I_g \frac{S}{2} \dots\dots\dots (22)$$



Figure 14: Profile en long d' Oued Haddad

### II-2-5-Rectangle équivalent

La notion de rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius, introduite par Roche (1963), permet de comparer facilement des bassins versants entre eux, en ce qui concerne l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement.

Le bassin versant rectangulaire résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dans laquelle on conserve la même superficie, le même périmètre (ou le même coefficient de compacité) et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Les courbes de niveau deviennent des droites parallèles aux petits côtés du rectangle.

La climatologie, la répartition des sols, la couverture végétale et la densité de drainage restent inchangées entre les courbes de niveau.

Si  $L$  et  $l$  représentent respectivement la longueur et la largeur du rectangle équivalent, alors :

Le périmètre du rectangle équivalent vaut :  $P = 2(L + l)$  .....( 22 )

la surface :  $S = L \times l$  ; le coefficient de compacité :  $Kc = 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{S}}$  .....( 23 )

En combinant ces trois relations, on obtient :

$$L = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1.12} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right) \text{ si } Kc \geq 1.12 \dots\dots\dots( 24 )$$

#### II-2-5- Relief du bassin versant d'Oued Haddad

C'est un facteur important dans la détermination du comportement hydrologique du bassin (figure 14) à savoir l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et en outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices ou de caractéristiques suivants : l'évapotranspiration et la morphologie du bassin

Il a une forte influence sur l'hydrogramme de crue, une pente forte provoque un écoulement plus rapide, donc un temps de concentration très court, d'où une montée rapide de la crue. De manière générale, il permet de savoir l'aptitude d'un sol à l'érosion. L'importance de cette étude, caractérisée par la répartition altimétrique et la courbe hypsométrique, réside au niveau du régime d'écoulement des eaux, car le relief peut modifier la répartition entre l'infiltration et le ruissellement, par conséquent il influe sur les processus d'érosion.

Le relief d'un bassin est souvent caractérisé par la courbe de sa répartition hypsométrique.

### II-2.5.1. Courbe hypsométrique

La répartition hypsométrique est donnée par le pourcentage de la surface comprise entre les différentes courbes de niveau à la surface totale (tableau n°1).

\*En ordonnée, les altitudes H

\*En abscisses, les surfaces partielles correspondantes aux altitudes dont l'altitude est à supérieure ou égale à H rapportée à la surface totale du bassin ( les pourcentages cumulés « Si » )

Par contre la répartition hypsométrique est faite en portant à l'ordonnée, les altitudes et en abscisses les pourcentages de surfaces partielles (S%) .

$$\text{On a } S(\%) = \frac{S_i}{S} \dots\dots\dots ( 25 )$$

S : la surface total du bassin

S<sub>i</sub> : la surface partielle

La courbe hypsométrique, s'établit en planimètres les surfaces correspondantes à l'unité d'ordonnée, surface comprise entre deux courbes de niveau séparées par l'unité admise exprimée en pourcentage ou en fonction de la surface totale du bassin versant , à partir de cette courbe, on peut déterminer les altitudes, minimale, maximale, médiane et moyenne.

Les coordonnées du graphe sont groupées dans le tableau N° 1

**Tableau 6: REPARTITION DES SURFACES PARTIELLES**

Altitude (m)	Surface ( Km <sup>2</sup> )	S partielle (%)	S cumulée (%)
1100 - 1000	8.0	1.71	1.71
1000 - 900	9.8	2.09	3.80
900 - 800	48.6	10.38	14.18
800 - 700	56.2	12.00	26.18
700 - 600	44.5	9.50	35.69
600 - 500	87.1	18.60	54.29
500 - 400	16.8	35.88	90.17
400 - 300	36.6	7.82	97.99
300 - 250	9.4	2.01	100.00
TOTAL	470	100%	

A partir de la courbe hypsométrique, on obtient L'altitude médiane

Tableau 7: Répartition des surfaces et des altitudes moyennes partielles

Altitude (m)	Surface ( Km <sup>2</sup> )	Hi moy (m)	S cumulée (%)
1100 - 1000	8.0	1050	1.71
1000 - 900	9.8	950	3.80
900 - 800	48.6	850	14.18
800 - 700	56.2	750	26.18
700 - 600	44.5	650	35.69
600 - 500	87.1	550	54.29
500 - 400	16.8	450	90.17
400 - 300	36.6	350	97.99
300 - 250	9.4	275	100.00
TOTAL	470		

$$H_{moy} = \frac{\sum Si \cdot hi_{moy}}{S} \dots\dots\dots( 26 )$$

L'observation du profile en long de l'Oued (figure 14), nous permet de dégager trois domaines assez prononcée apparents :

- A l'aval, la pente faible , la surface montrant une évolution en plaine
- Au milieu, une pente assez prononcée descendant brusquement entre 550 et 850 m
- A l'amont, une pente très forte, ayant une valeur remarquable entre 850 et 1100 m.

L'allure de la courbe nous donne une idée on a affaire à un relief à peu près fort et a l'érosion qui est important a l'évolution du massif de la zone d'étude .

Calcul de la pente moyenne du bassin versant :

On a formule suivante :

$$I_M = \frac{\Delta H(0.5L_1 + L_2 + L_3 + \dots\dots\dots + 0.5L_n | )}{S} \dots\dots\dots( 27 )$$

Li : longueur des courbes de niveau ( m ) ;

S : surface du bassin versant (km<sup>2</sup>) ;

**Tableau 8 : REPARTITION DES LONGUEURS DE COURBES**

courbe	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
Longueur(km)	6	30	24	22	28	26	8	4	10

Donc :  $l_m = 3.20 \%$

**II-2.6 Caractéristiques Du Réseau Hydrographiques**

Le réseau hydrographique est souvent schématisé sous forme de linéaires arborescents qui conduisent à définir réseau, densité de drainage et distances aux drains (Rodriguez-Iturbe et Rinaldo, 1997 ; Tarboton *et al.*, 1991).

**II-2.6.1 Densité De Drainage**

Est rapport entre la longueur totale de tous les cours d'eau d'ordre " i " :

$$D_d = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S} \quad (\text{Km /Km}^2) \dots\dots\dots( 28)$$

Avec

- $L_i$  : somme entre la longueur totale de tous les cours d'eau d'ordre " i " (km),
- $S$  : surface du bassin versant (  $\text{Km}^2$ ).

talwegs nettement marqués et empruntés par des écoulements temporaires sur les oueds non pérennes; la densité de drainage peut nous renseigner sur l'importance du mode de drainage du bassin et son aptitude au ruissellement superficiel, elle dépend de la lithologie et de l'abondance des précipitations, et permet de donner un contenu à la notion de chevelu dense ou lâche.(voir figure )

Selon les travaux de " HIRSCH" in ( N.BENHAMICHE? 1982). La densité de drainage est en liaison directe avec le ruissellement et en liaison inverse avec la capacité d'infiltration.

Selon la formule on a :

$$D_d = 1.025 \text{ km/km}^2 \dots\dots\dots( 29 )$$

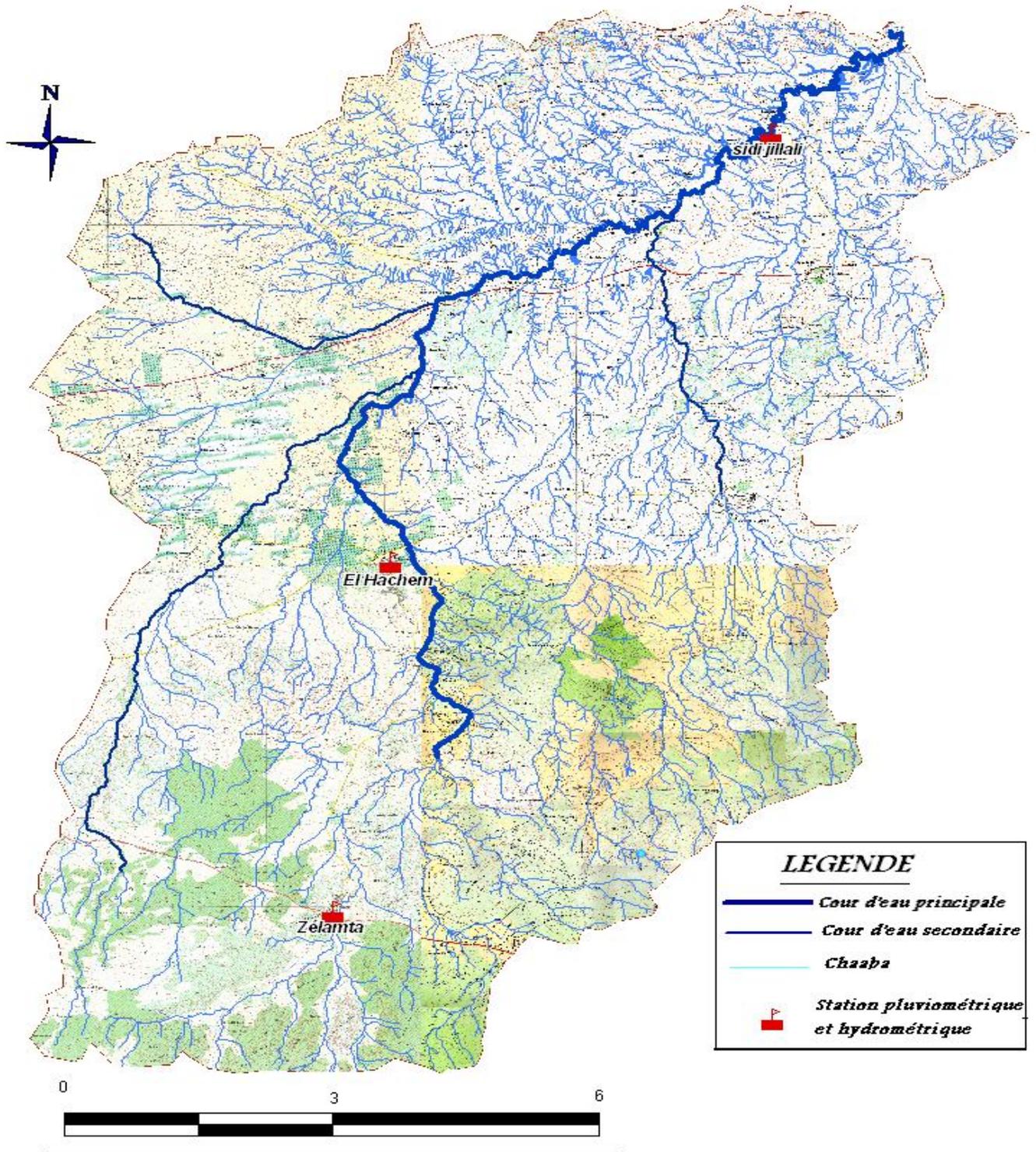
**CARTE RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE OUED HADDAD**

Figure 15 : Carte réseau hydrographique de Oued Haddad

- la carte réseau hydrographique est établie a l'aide du logiciel MapInfo (numérisation des carte topographique et digitalisation des cour d'eau )

Coefficient de torrentialité: " Ct "

C'est un coefficient qui tient compte du nombre de thalwegs élémentaires et de la densité de drainage , soit:

$$Ct = F_1 \cdot Dd \quad \text{et} \quad F_1 = \frac{N_1}{S} \quad \dots\dots\dots ( 30 )$$

Avec

N1 : nombre de cours d'eau d'ordre 1 ;

S : surface totale du bassin versant ( Km<sup>2</sup> ) ;

F1 : densité des talwegs les plus petits .

D'où :  $Ct = \frac{920}{470} (1 \cdot 0.25) = 2.014 \quad \dots\dots\dots ( 31 )$

## II-2.7. Climat

Le caractère méditerranées du climat, marqué par la sécheresse de saison chaude et les précipitations de saison froide, détermine en grande partie les conditions hydro-érosives dans les blocs motagneux du tell occidental ( Henri Vogt et Dieter Gomer , 1998 )

### II-2.7.1 pluies

A l'échelle de l'ensemble de la zone tellienne du Maghreb, le tell occidental se caractérise par des pluies annuelles relativement faibles ; entre 250 et 500 mm exceptionnellement jusqu'à 800 mm dans les parties élevées les plus exposées .

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 sont beaucoup plus arrosés au vent ( exposition d'Ouest à Nord ) que sous le (Sud et Est ). Le bassin de Oued Haddad se trouve dans la zone des marnes tertiaires " du bassin versant de Oued Mina est , la zone particulièrement sec ( 250-

300mm ) , et de la retombée sud – Ouest de l'Ouarsenis, un peu plus arrosée ( 350à 550 mm selon l'altitude) ( figure 16 )

La pluie moyenne interannuelle est de 245 mm, avec un coefficient de variation de 45 % (1973/1974 à 1994/1995) . ce que ne préjuge pas de variations non négligeables à l'échelle local. . Le régime hydrologique des cours d'eau dépend essentiellement du régime pluviométrique . Il se caractérise par une grande variabilité spatio-temporelle, avec une succession de périodes de hautes et de basses eaux. Le débit moyen interannuel enregistré sur la période d'observation (1973/1974 à 1994/1995) est de 0,18 m<sup>3</sup>/s soit un apport moyen interannuel de 5,42 millions de m<sup>3</sup>.

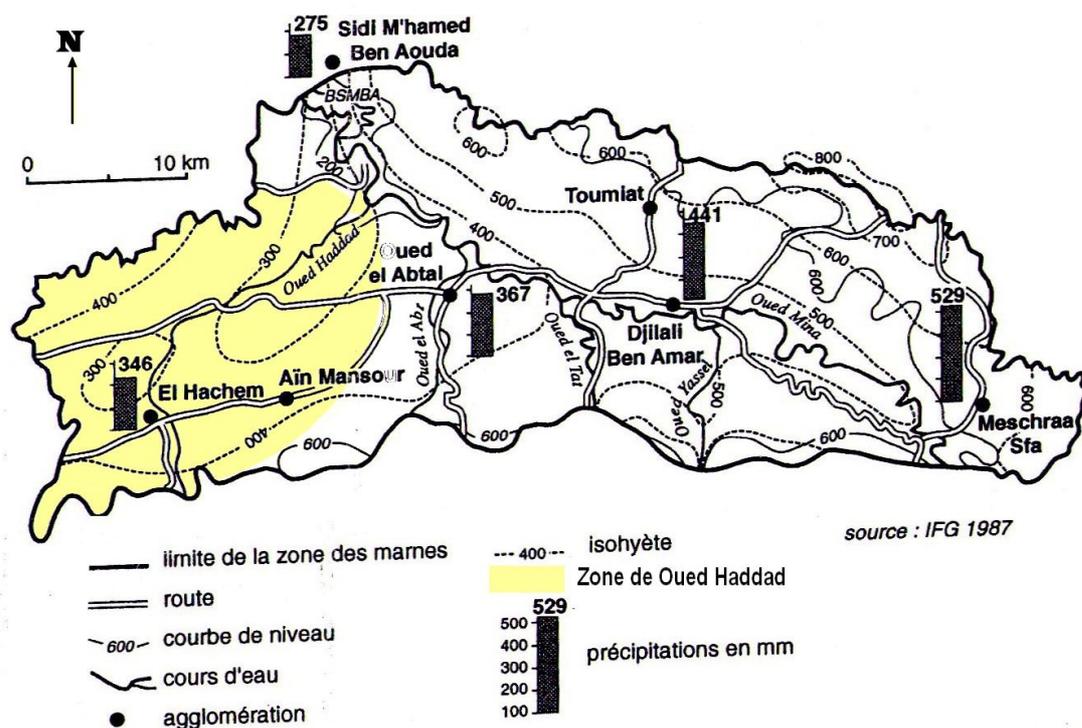


Figure 16 : Pluviométrie de la sone des marnes dans le bassin de Oued Mina

Ce que compte, c'est l'agressivité de la pluie, l'espacement, la durée et la concentration des précipitations, or, tout ce qu'on connaît sur la pluviométrie de cette région sont les pluies moyennes mensuelles déjà citées. La pluie tombe sous forme de

fortes averses, mais le mois d'été connaît une sécheresse absolue . En outre, on constate de grandes différences d'une année à l'autre.

La forte variabilité des pluies est l'un des caractères majeurs Dans le cadre des tendances pluriannuelles, une période de pluies faibles affecte l'Ouest de l'Algérie depuis le milieu de la décennie 1970. Le moins le plus pluvieux de la période d'observation 72/88 est le mois de mars avec une moyenne mensuelle de 39.19 mm.

( Touaibia,1990 )

**Tableau 9:** Répartition saisonnière des pluies .

Saison	S.O.N	D.J.F	M.A.M	J.J.A
Total de pluie	1017.2	1558.9	1404.2	211.6

La saison la plus pluvieuse est celle d'hiver( décembre- janvier-février) avec un total pluviométrique de 1558,9 mm

### II-2.7.2 Température

Le régime thermique de la région est caractérisé par des températures élevées en été et relativement basses en hiver. Les températures les plus élevées atteignent un maximum de 38 °C en moyenne, ce qui correspond à une forte évaporation .Les basses températures se manifestent au mois de janvier avec une température moyenne de 12 °C et une minimale moyenne de 5 °C .

### II-2.7.3 Humidité du sol

La mesure de l'humidité du sol est généralement exigeante et peu pratiquée en Algérie. La zone d'étude à une situation de relative sécheresse au début de septembre à fin de novembre et décembre .

l'indice IK est de 33.5 à 61.3 mm selon les stations , la moyenne est de 46.8 mm (VOGT et al ,1992) .Le rôle de l'exposition dans l'humidité du sol , qu'est très généralement plus faible en exposition sud qu'en exposition nord( VOGT et al ,1992)

Ceci confirme que l'humidité des sols sur marnes est fortement dépendante de la hauteur des précipitation( CF.ARABI 1991)

La nature de la roche marneuse et la faiblesse des précipitations ne permettent pas la formation des zones saturées proches de la surface. Les zones les plus humides sont toujours exposées Nord à Ouest, par contre , les exposition sud à est sont toujours un peu plus sèches .

Mais comme le bassin-versant n'est jamais arrosé de manière uniforme, la structure de la répartition de l'humidité du sol ne peut être parfaitement constante.

**BASSIN D'OUED HADDAD  
CARTE PLUVIOMETRIQUE**

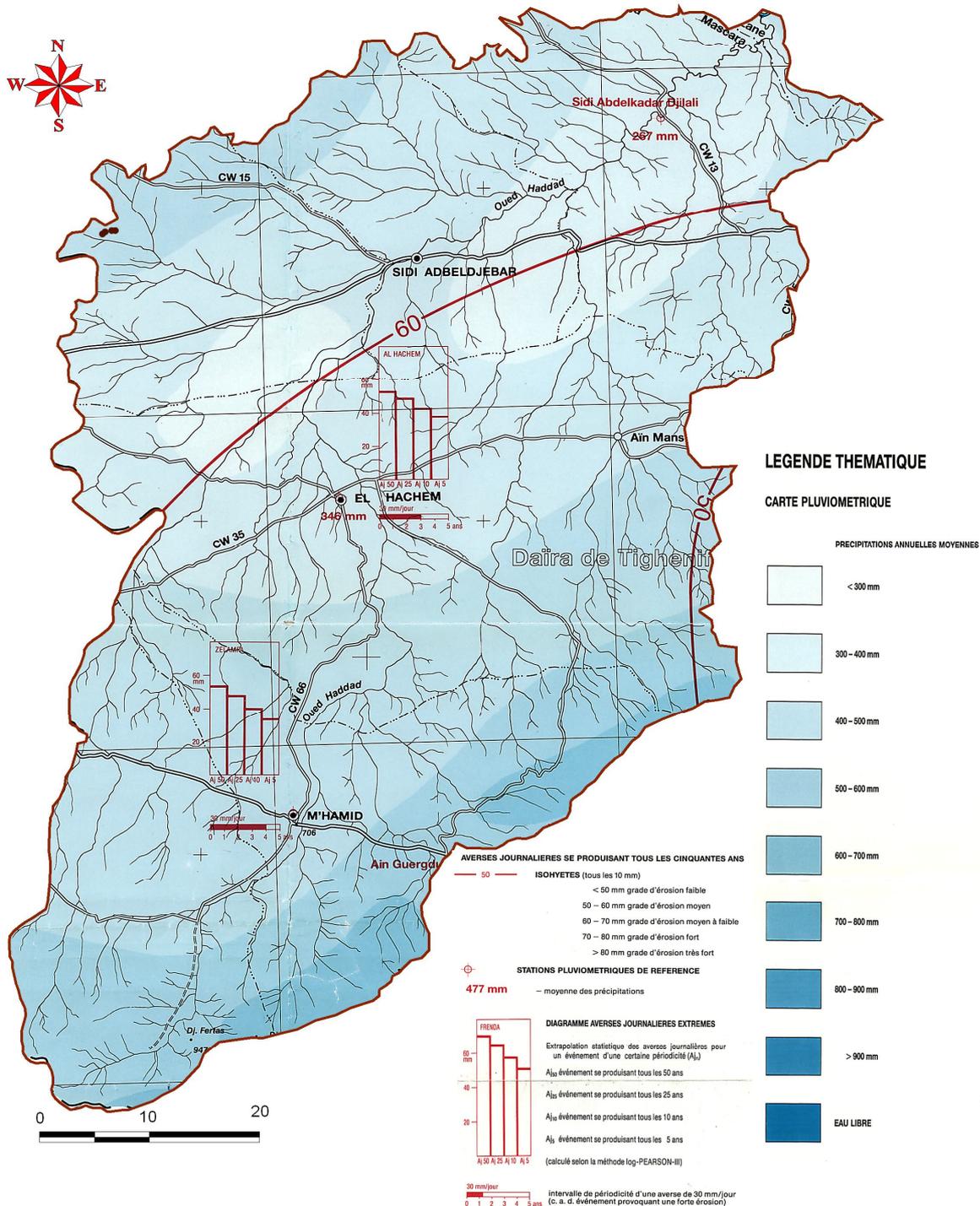


Figure 17 : Carte pluviométrique du bassin de Oued Haddad <sup>1</sup>

- <sup>1</sup> Remarque : la carte du bassin de oued Mina a été établie en 1985 par IFG, Institut des géosciences Appliquées d'Allemagne pour l'Office Allemand de la Coopération Technique, S.A.R.L( GTZ) la zone d'étude a été clipper par le logiciel Arc Gis

## II-2.8. Ecoulements

La station de jaugeage permet de mesurer les débits écoulés dans l'oued et ses affluents. On mesure le plan d'eau par rapport à un repère de référence, ces hauteurs du plan d'eau sont lues sur une échelle millimétrique.

Les jaugeages s'effectuent à différents endroits, soit à l'amont, soit à l'aval du site de la station hydrométrique. En plein été, l'Oued Haddad tarit, la capacité de rétention d'un bassin est d'autant plus grande que le débit du mois précédant est fort et long dans le temps, selon l'étude de Willi\_Meier (1987) sur l'Oued Haddad, l'auteur a constaté de l'oued à une capacité de rétention plus grande, cela dépend plus particulièrement de la lithologie du bassin, les couches de couvertures sont plus puissantes et le grès alternant des couches de marnes peuvent régulariser le débit.

### II-2.8. 1. Caractéristiques de l'écoulement

Les débits suivent les pluies dans leurs fluctuations aussi bien au cours des saisons qu'au cours des années. Le tableau N°9, Comporte les débits moyens annuels qui serviront au calcul de certains paramètres importants

☀ Le module spécifique  $M_0$  :

$$M_0 = \frac{Q_0}{S} (l/s \cdot km^2) \dots\dots\dots(32)$$

Avec :

$Q_0$  : débit moyen annuel ou interannuel en l/s;

$S$  : surface du bassin versant en  $Km^2$

☀ L'apport moyen annuel  $A_0$  :

$$A_0 = Q_0 \cdot T (m^3) \dots\dots\dots (33)$$

Avec : T : temps d'une année;

Q<sub>0</sub> : débit moyen annuel en l/s

☼ lame d'eau moyenne écoulée annuel H<sub>0</sub> :

$$h_0 = \frac{A_0}{S} \dots\dots\dots (34)$$

avec :

S : superficie du bassin versant en km<sup>2</sup> ;

A<sub>0</sub>: apport moyen annuel en m<sup>3</sup>

☼ Coefficient d'écoulement où de ruissellement η<sub>0</sub> ou Kr

$$h_0 = \eta_0 = \frac{h_0}{p_0} \dots\dots\dots (35)$$

Avec

H<sub>0</sub> : lame d'eau écoulée ( mm)

p<sub>0</sub>: lame d'eau précipitée ( mm)

## BASSIN D'OUED HADDAD CARTE HYDROLOGIQUE

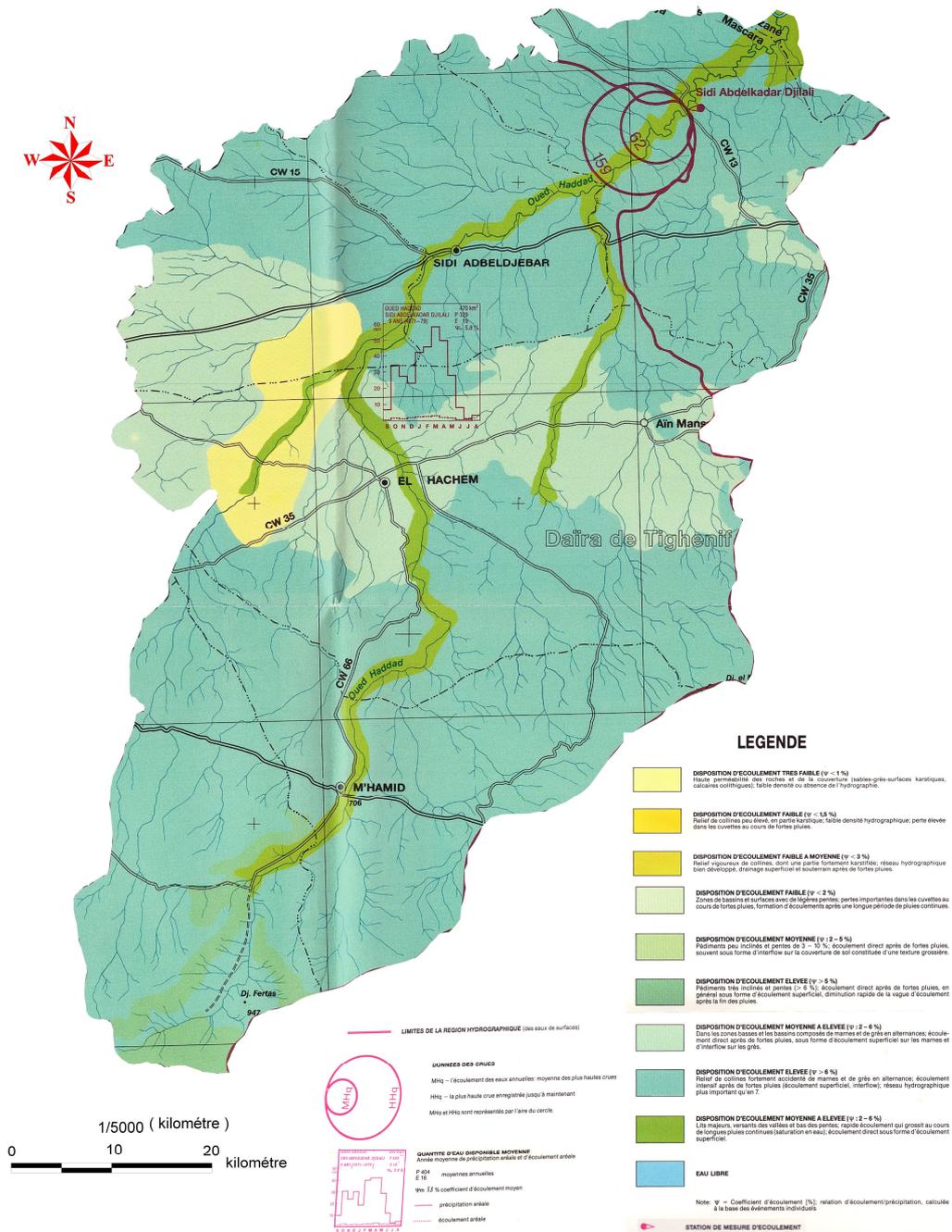


Figure 18: Carte Hydrologique du Bassin d'Oued Haddad<sup>2</sup>

- <sup>2</sup> Remarque : la carte du bassin de oued Mina a été établie 1985 par IFG, Institut des géosciences Appliquées d'Allemagne pour l'Office Allemand de la Coopération Technique, S.A.R.L (GTZ) la zone d'étude A été clipper par le logiciel Arc Gis

**Tableau 10: Caractéristiques hydro-morpho métriques du bassin-versant**

Caractéristiques	Paramètres	Unité	Symbole	Valeurs
<b>Morphologie du bassin-versant</b>	Superficie du bassin-versant à la station hydrométrique sidi Abd Kader Djilalli	Km <sup>2</sup>	A	470
	Périmètre du bassin-versant	Km	P	91
	Indice de compacité	–	Kc	1,23
	Longueur du rectangle équivalent	Km	L	37,36
	Largeur du rectangle équivalent	Km	l	12,58
<b>Relief</b>	Altitude maximale	m	Hmax	1 160
	Altitude minimale	m	Hmin	225
	Altitude moyenne	m	Hmoy	588
	Indice de pente de roche	%	lp	2,5
	Indice de pente globale	%	lg	42
	Pente moyenne	%	lm	46
<b>Réseau hydrographique</b>	Longueur du thalweg principal	Km	Lp	47
	Densité de drainage	Km/Km <sup>2</sup>	Dd	2,44
	Coefficient de torrentialité	–	Ct	5,40
	Temps de concentration	Heures	Tc	10,30
	Rapport de confluence	–	Rc	0,71
	Rapport de longueur	–	RI	0,81

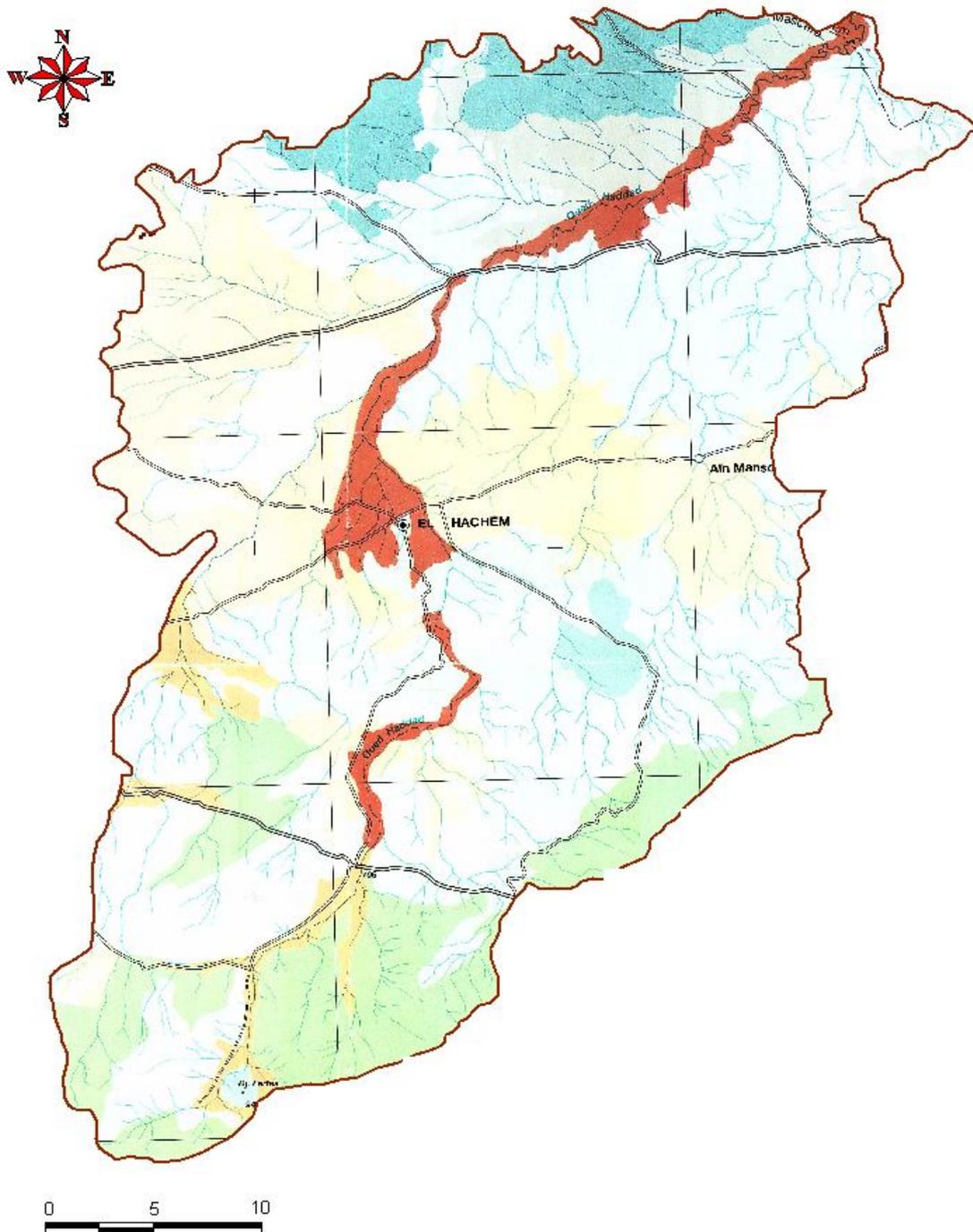
### II-3. Couvert végétal

Le relief du bassin et son exposition au rayonnement solaire dans le bassin la partie sud et plus forte que le nord en exposition, et secondairement par les différences de quantité de pluies reçues, qui, dans cette région, renforcent l'opposition, les versants Nord-Ouest étant mieux arrosés que les versants abrités Sud-Est (VOGT H, KOURI L, 1993). Mais il n'y a pas de forêt dense dans les régions marneuses, il n'a pas possible d'obtenir une densité de peuplement acceptable sous ce climat défavorable, même pour des espaces aussi peu exigeantes que les pins et les eucalyptus. La densité de ces boisements est tellement faible qu'ils n'apparaissent pas comme couverture végétal dans les documents satellitaires. Le couvert végétal de Oued Haddad est conditionné par l'exposition ou rayons solaire, la pluviométrie est aux pentes du versant (voir tableau n 8)

**Tableau 11: Exemples d'actions de l'expositions sur la diversité des espèces (VOGT H, KOURI L, 1993)**

	Altitude (m)	La pluies (mm)	Relief	Degré de couverture (%)		Végétation	
				N	S	N	S
Oued Haddad	300 à 400	200 à 400	Zones ravinées, ancienne agriculture intensive	9-13	3	Beaucoup de buissons nains	Plantes rudérales ; peu de buissons nains
Terrasse de Oued Haddad	400	300	Pâturage sur terrain rocheux	7	5	Espèces assez nombreuses	Espèces peu nombreuses
Transept à travers un ravin dans la terrasse inférieure rive droite de l'Oued Haddad pente =14°	280 à 290	400	Champs résiduels entre ravins	85	65	Assoc. à Térahytes	Plus d'espèce thermophile
Oued Haddad, haut de versant Pente =13°-14°	240	400 à 500		40-22	28-14		

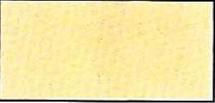
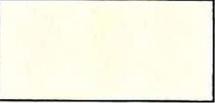
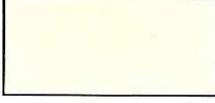
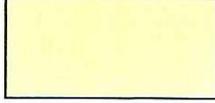
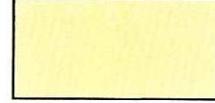
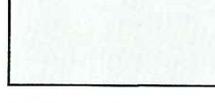
**BASSIN D'OUED HADDAD  
CARTE DE COUVERTURE VEGETAL**



**Figure 19:** Carte de couverture végétale<sup>3</sup>

- <sup>3</sup> Remarque : la carte de couverture végétale du bassin de Oued Mina a été établie en 1985 par IFG, Institut des géosciences Appliquées d'Allemagne pour l'Office Allemand de la Coopération Technique, S.A.R.L( GTZ) la zone d'étude A a été cliquée par le logiciel Arc Gis

## Légende de la carte du couvert végétal

	<b>ZONES IRRIGUEES</b> Plantations d'arbres fruitiers et cultures maraîchères
	<b>CULTURES ANNUELLES</b> Rotation de cultures céréalières et de léguminosae
	<b>CULTURES ANNUELLES ET CULTURES PERMANENTES</b> Mosaïque de cultures annuelles, arbres fruitiers et viticulture.
	<b>CULTURES DES CEREALES</b> Cultures de céréales seulement, quelquefois en culture sèche.
	<b>CULTURES ANNUELLES ET PATURAGE EN ZONE ROCHEUSE</b> Mosaïque de cultures sur les sols plus profonds et surpâturage des zones rocheuses, croûtes calcaires. Cultures annuelles et pâturage avec indices de surpâturage.
	<b>CULTURES DE CEREALES ET PATURAGE D'ARTEMISIA ROCHEUX</b> Mosaïque de cultures sur les sols plus profonds et surpâturage
	<b>CULTURES ANNUELLES ET MAQUIS DEGRADE</b> Maquis surpâturé, arbustes isolés entre les champs.
	<b>CHAMPS RESIDUELS SUR LES COLLINES</b> Champs avec des cultures annuelles sur les sommets.
	<b>CHAMPS RESIDUELS ENTRE RAVINES</b> Cultures annuelles sur les petits fonds plats entre les ravines. Pentes surpâturées et avec des indices de surpâturage, couverture végétale sporadique.
	<b>ZONES RAVINEES</b> Pentes instables et surpâturées, sols nus.
	<b>PATURAGE ROCHEUX</b> Fort surpâturage sur les roches, les éboulis et les croûtes calcaires. Couverture végétale discontinue.
	<b>FORET DE PINUS</b> Forêt

Deux paires de parcelles Champs résiduels entre ravins d'après (la figure n°18 ) ,La végétation naturelle originelle de la zone des marnes n'est pas la forêt, mais la steppe buissonnante. Le boisement est donc illusoire. Une couverture steppique est en soi assez protectrice des sols ( VOGT H ,KOURI L , 1993 ) C'est le surpâturage qui est à l'origine d'une forte dégradation de la végétation , qui entraine celle des sols et , indirectement ,une activité renforcée des ravins

**Tableau 12: superficie Agricole dans le bassin de oued Haddad**

<b>Commune</b>	<b>Superficie Agricole (ha)</b>	<b>Superficie irrigué (ha)</b>	<b>Nombre de puits</b>
<b>El Hachem</b>	<b>4067</b>	<b>1215</b>	<b>10</b>
<b>Zelmata</b>	<b>9484</b>	<b>843 ,5</b>	<b>02</b>

( ABH Chlef , 2010)

**On comparaison les données de l'ABH qui sont ou tableau N° 9**

**Avec la superficie des commune on a 23,21 % de superficie agricole a 29,87 % superficie irrigué a El Hachem et soit 85 ,87% de superficie agricole a 8,9 % superficie irrigué .**

#### **II-4 Erosion dans le bassin de Oued Haddad**

La cartographie des zones productrices de sédiments nécessite la connaissance de l'érosion spécifique en différents points du réseau d'écoulement du bassin versant ( figure N°20). La première approche, qui a déjà fait l'objet d'une étude détaillée (Achite, 1999), a consisté à quantifier l'érosion spécifique pour cinq sous-bassins contrôlés par des stations hydrométriques , à partir des données brutes de l'Agence Nationale des ressources Hydrauliques d'Algérie. La deuxième approche a consisté à considérer les résultats trouvés au niveau de six micro-bassins expérimentaux (Gomer, 1994) et de quatre retenues collinaires (Touaïbia *et al.*, 1995) en projet sur la rive gauche de l'Oued Haddad et du Barrage SMB en exploitation. Les principaux résultats figurent dans le Tableau 13.

**Tableau 13:Caractéristiques du bassin d'Oued Haddad**

variables	Es (t /ha <sup>-1</sup> )	S (Km <sup>2</sup> )	Kc	Im (%)	Dd(K m Km <sup>-2</sup> )	P <sub>0</sub> (mm)	L <sub>0</sub> (mm)	C <sub>e</sub> (%)	C <sub>wg</sub> (%)
Sidi AEK	3.25	470	1.29	46.00	2.44	245	11.97	4.88	30

La plus grande partie de la superficie du bassin recouvrent 60.93% correspondent à la région des marnes du nord très érodées avec un degré d'érosion fort , aux pentes escarpées et aux roches carbonatées en affleurements dans le centre et au sud .Le reste de la superficie du bassin a des degrés danger d'érosion moyen et faible ( N.BENHAMICHE, 1982).

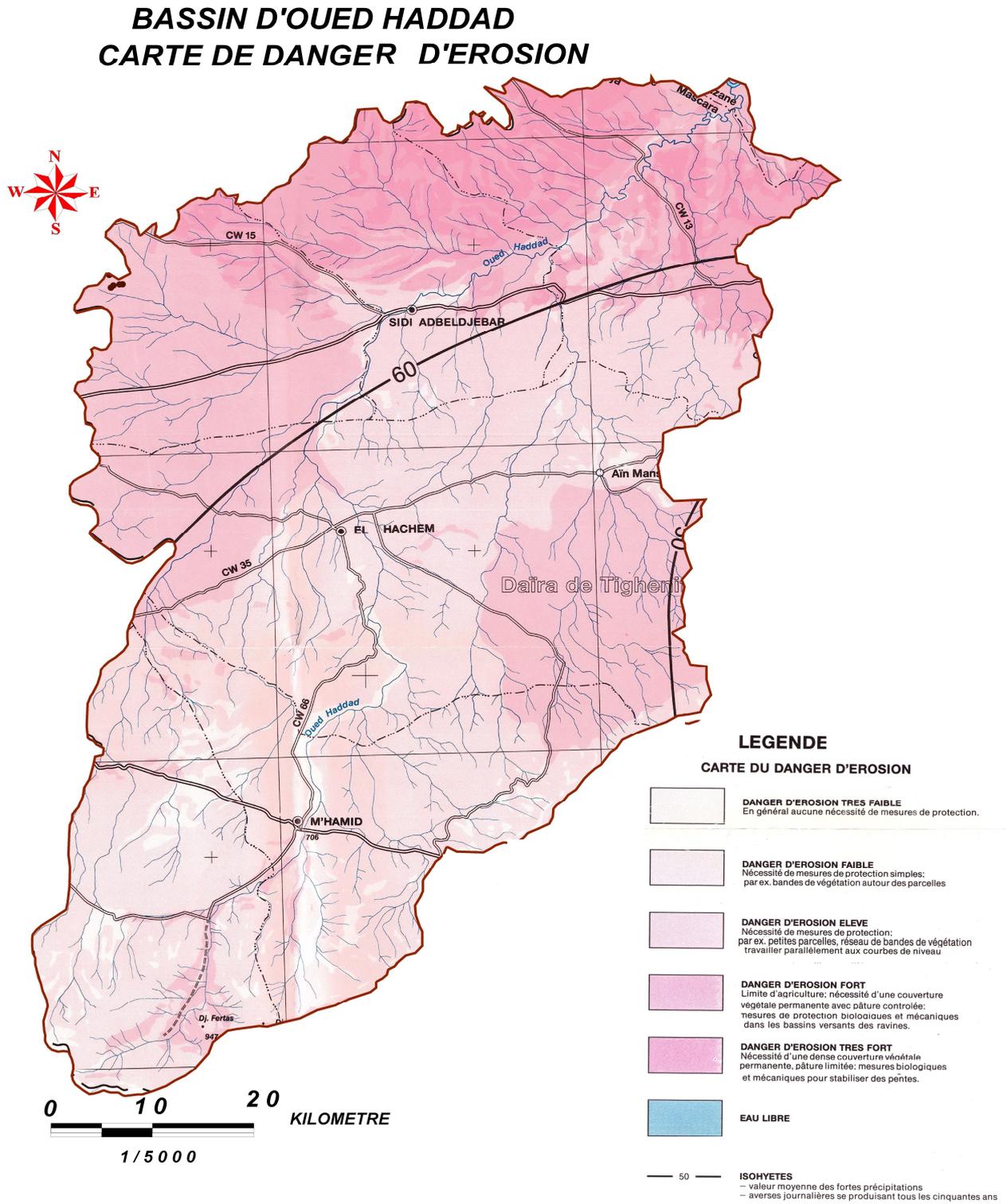


Figure 20: Carte de danger d'érosion du Bassin d'Oued Haddad

- Remarque : la carte du de danger d'érosion du bassin de oued Mina a été établer 1985 par IFG, Institut des géoscience Appliquées d'Allemagne pour l'Office Allemand

de la Coopération Technique, S.A.R.L( GTZ), nous avons clipper par le logiciel Arc Gis la zone d'étude A été .

### **Conclusion :**

Ce chapitre a été établi suite aux différentes études et les résultats obtenus qui caractérisent le relief du bassin de Oued Haddad et quantifient l'érosion de ce dernier au niveau de la station hydrométrique de SIDI Djillali .

L'érosion dans ce bassin est très forte en particulier dans la zone des marne , a cause de l'absence des obstacles naturels tel que la végétation sur ces marnes accentue l'effet d'érosion. Le caractère irrégulier et brutal des précipitations, une lithologie aux faciès hétérogènes où domine cependant la tendance marneuse, des fortes pentes et enfin d'absence presque totale d'une couverture végétale tout concourt à l'existence d'une dynamique érosive importante ; cependant, chacun de ces facteurs, en particulier la lithologie et la pente, introduisent des nuances sensibles au niveau régional .

# Deuxième partie

- **Chapitre III - Carte de l'occupation de sol**
- **Chapitre IV - Le modèle numérique de terrain MNT**
- **Conclusion générale**

# CHAPITRE III

**Carte de l'occupation de sol**

---

### III . Carte d'occupation du sol

#### III.1 Introduction

La carte d'occupation du sol doit être considérée, comme un outil très important d'aide à la décision dans le domaine d'aménagement et de gestion. Elle a un rôle primordial pour observer et suivre l'occupation du sol dans cet espace très convoité qui attire actuellement de nombreux acteurs et permet également de dégager les conflits d'usage liés à l'urbanisme, l'environnement, l'agriculture, ... C'est un outil nécessaire pour mieux appréhender le territoire. La carte d'occupation du sol du bassin de Oued Haddad , montre la dominance de l'activité agricole et les sols nus ou à très faible végétation.

La carte d'occupation du sol montre le comportement réfléchissant théorique de l'eau, de la végétation et du sol seul land sat TM dispose de l'infrarouge moyen ( IRM) , utile pour appréhender les variations d'humidité de la végétations des sols(RICHARDS 1986, VOGT et VOGT 1991 ) .

Le présent travail expose les résultats de notre étude concernant la cartographie de l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol à partir des données de télédétection (images SPOT et Landsat). Les résultats obtenus permettent l'identification des secteurs à l'échelle du bassin où les interventions sont nécessaires pour limiter les processus de dégradation des sols.

Le but de cette étude était d'illustrer la possibilité de déterminer le changement de l'occupation du sol, ainsi que la déposition dans le bassin de Oued Haddad, le travail consiste à transformer une donnée « raster » (ensemble de pixels de même taille) en une donnée vectorielle, c'est-à-dire une partition du territoire en polygones et un code d'occupation du sol.

Les images satellitaires constituent un outil important dans la cartographie de l'occupation du sol ainsi que dans la planification et la gestion des ressources ; elles

---

sont descriptives et apportent une information spatiale, beaucoup plus importante par rapport aux autres sources d'information (Pouchin, 2001)

Pour atteindre les objectifs visés par cette étude, nous nous sommes appuyés sur l'utilisation de la télédétection et des systèmes d'information géographique (SIG). En effet, plusieurs traitements cartographiques, statistiques et l'analyse spatiale ont été effectués à l'aide des logiciels de cartographie et de SIG. Il s'agit essentiellement des logiciels d'Arc GIS 9.3, ERDAS Imagine 9.1, Excel...

Source: Photographie aérienne (2006), Images Google Earth et missions de terrain

### **III-2 Télédétection**

La télédétection désigne, dans son acception la plus large, la mesure ou l'acquisition d'informations sur un objet ou un phénomène, par l'intermédiaire d'un instrument de mesure n'ayant pas de contact avec l'objet étudié. C'est l'utilisation à distance de n'importe quel type d'instrument (par exemple, d'un avion, d'un engin spatial, d'un satellite ou encore d'un bateau) permettant l'acquisition d'informations sur l'environnement. On fait souvent appel à des instruments tels qu'appareils photographiques, lasers, radars, sonars, sismographes ou gravimètres.

Les images satellitaires constituent un outil important dans la cartographie de l'occupation du sol ainsi que dans la planification et la gestion des ressources ; elles sont descriptives et apportent une information spatiale, beaucoup plus importante par rapport aux autres sources d'information (Pouchin, 2001)

### III-2 .1 Notions Fondamentales de Télédétection

Ce type de méthode d'acquisition utilise normalement la mesure des rayonnements électromagnétiques émis ou réfléchis des objets étudiés dans un certain domaine de fréquences (infrarouge, visible, micro-ondes). Ceci est rendu possible par le fait que les objets étudiés (plantes, maisons, surfaces d'eau ou masses d'air) émettent ou réfléchissent du rayonnement à différentes longueurs d'onde et intensités selon leur état. Certains instruments de télédétection utilisent des ondes sonores de façon similaire, et d'autres mesurent des variations dans des champs magnétiques ou gravitaires.

Alors que l'astronomie pourrait être considérée comme de la télédétection (poussée à l'extrême), le terme télédétection est généralement réservé aux observations

### III-2 .2 System d'acquisition des images satellitaires

Le satellite destiné à l'acquisition d'images est équipé d'un radiomètre, appareil mesurant la quantité de lumière provenant de la partie de la planète visée. Ce radiomètre est constitué d'une grille de détecteurs CCD (figure 22) (Charge-Coupled Device, capteur à transfert de charge en français), grâce auxquels le rayonnement du terrain va être perçu (selon un fonctionnement identique à celui d'un appareil photo numérique).

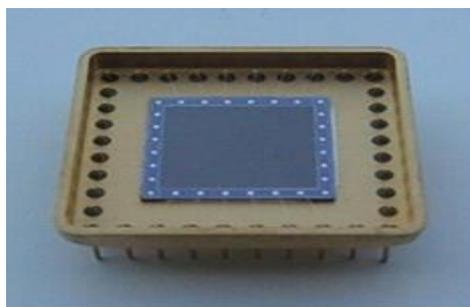


Figure 21 : Détecteurs CCD pour le satellite SPOT

Les capteurs CCD sont des composants microélectroniques sensibles qui convertissent l'intensité lumineuse (signal analogique) en un signal électrique. Pour

ce faire, le capteur CCD emmagasine les particules de lumière, les photons, dans un corps de silicium. Ce dernier a pour propriété de libérer des électrons lors de l'absorption de photons. Le détecteur relié à un contact électrique transmet donc une charge électrique plus au moins élevée selon la lumière perçue. Cette charge est convertie par un convertisseur Analogique/Numérique en un signal numérique codé en binaire.

Dans le cas d'une image satellite acquise en couleur, chaque détecteur est composé de trois capteurs CCD qui perçoivent chacun l'intensité lumineuse des trois couleurs de base : rouge, vert et bleu. Par superposition des trois couleurs de base, on obtient une couleur précise. Le signal numérique va ensuite pouvoir être interprété pour obtenir une image.

Pour acquérir une image satellite d'une ligne complète au sol de la largeur du champ que l'on souhaite observer, on utilise une prise d'image dite en « râteau » (*push broom en anglais*) (figure 23). Ce principe permet, grâce à des lignes de détecteurs de couvrir la largeur désirée d'un seul coup. Le balayage de la longueur est quant à lui obtenu par le défilement du satellite sur son orbite. Ainsi en recoupant les informations on obtient une image satellite de la zone à observer. (Le principe est similaire au fonctionnement d'un scanner c'est-à-dire un balayage avec une largeur fixée).

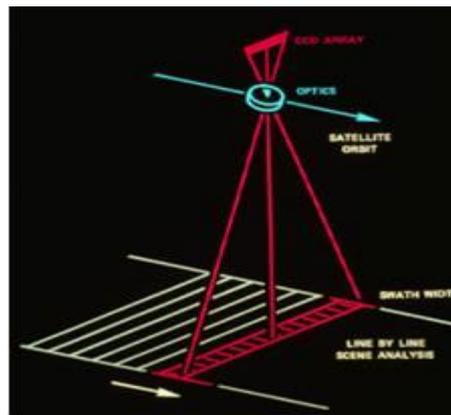


Figure22:Principe du balayage en râteau ou Push-broom

---

### III-2 .3 Obtention de l'image satellite numérique

Suite à l'interprétation des signaux précédemment acquis, on obtient une image satellite numérique. Le radiomètre constitué d'une grille de détecteurs CCD va donc émettre une suite de nombres binaires de 8 chiffres chacun qui correspondent à l'intensité lumineuse perçue par chaque capteur CCD de la grille. Chaque nombre, ou octet, correspond :

- Dans le cas d'une photographie noir et blanc à un niveau de gris. Ainsi, l'octet 11111111 correspondra au blanc de valeur décimale 255, et l'octet 00000000 au noir de valeur décimale 0.
- Dans le cas d'une photo couleur, trois octets sont émis par un détecteur CCD pour chaque couleur de base : vert, rouge, et bleu.

La formation de l'image est alors possible. L'image numérique est également une grille, une matrice composée de lignes et de colonnes. Chaque carreau est nommé pixel (picture element). Chaque pixel contient son " compte numérique " déterminant sa couleur qui n'est autre que le nombre binaire issu de chaque détecteur CCD, et ses coordonnées en x et y. Les pixels réunis, on obtient une image identique à celle prise par le satellite. La résolution d'une image étant la quantification du nombre de pixel pour une dimension donnée, exprimé en dpi ou en ppp.

### III-2 .4 Différents modes d'acquisition

Les données envoyées par les satellites ne sont donc pas des images toutes faites. Elles doivent être composées à partir des informations fournies par ses instruments. Comme nous l'avons vu, les capteurs CDD collectent la lumière que renvoie la surface observée et traduit cette information en signal numérique. Avec un satellite récent différents modes d'acquisition existent : le mode multi-bande ou le mode panchromatique. Leur rendu et leur utilisation sont différents.

---

 **Le mode multi-bande ou multi-spectral :** Elle est acquise par un capteur numérique qui mesure la réflectance dans de nombreuses bandes spectrales (typiquement, une dizaine). Ces multiples valeurs de réflectance se combinent pour créer des images couleur. Elle sert principalement à obtenir des informations à caractère " qualitatif " (ex. classification des types de végétation sur des parcelles).

 **Le mode panchromatique :** Elle est acquise par un capteur numérique qui mesure la réflectance dans une large bande électromagnétique. Les données panchromatiques sont représentées sous forme d'images en noir et blanc. Elle sert principalement à obtenir des informations de type géométrique (formes, dimensions, surface).

### III-2 .5 Différents instruments

Selon le mode d'acquisition choisi, les instruments diffèrent. Par exemple, l'instrument HRVIR (Haute Résolution Visible et Infrarouge) de SPOT servira pour acquérir des images en mode multi-spectral. En effet, il peut observer dans différentes bandes spectrales.

En revanche, si l'on veut observer en mode panchromatique, alors on utilisera un appareil adapté comme l'instrument HRS situé également sur SPOT.

Il existe aussi des instruments spécifiques comme « Végétation » sur le satellite SPOT et qui permet, comme son nom l'indique, une observation adaptée de zone de végétation.

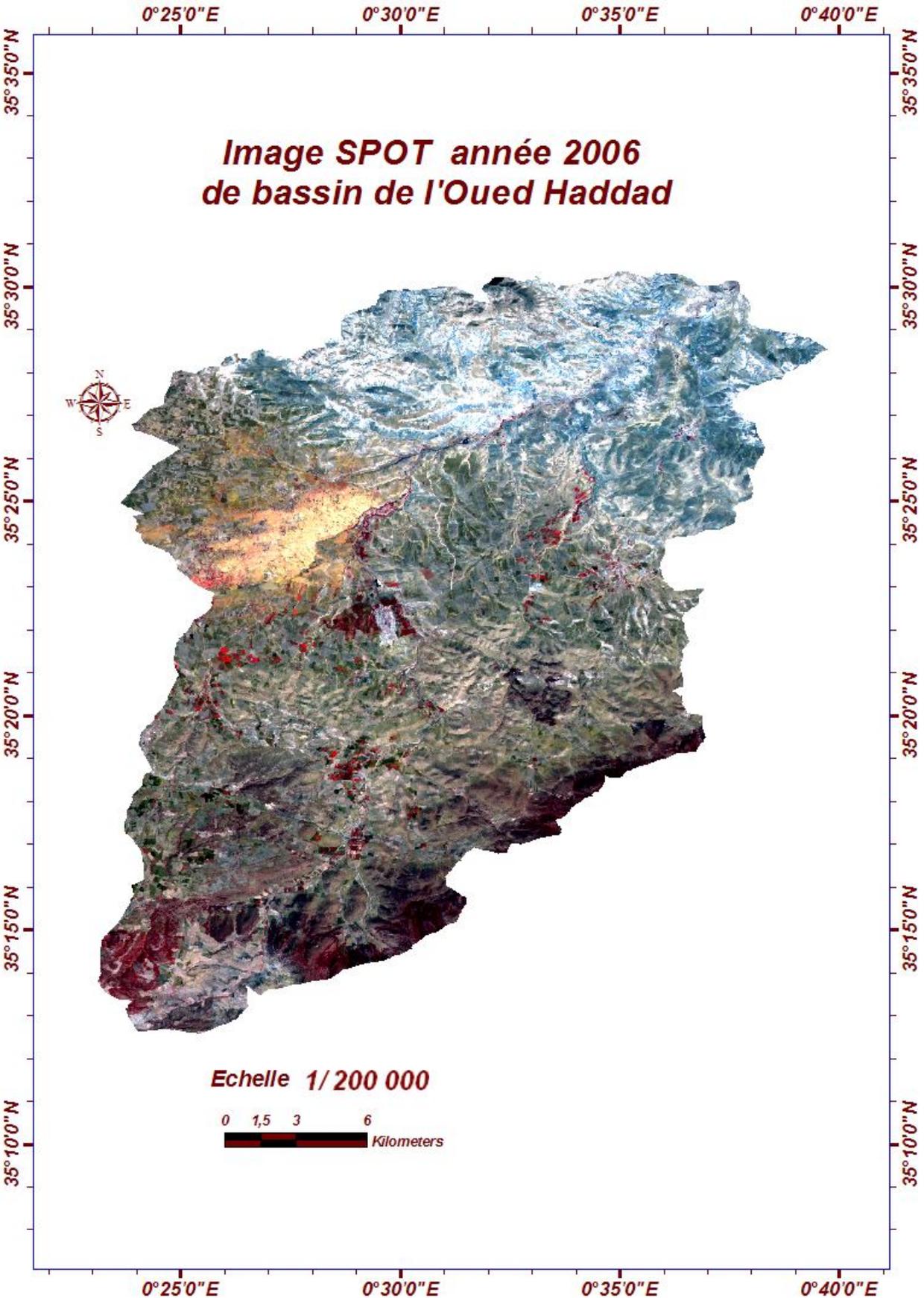


Figure 23 : image SPOT représente le bassin de Oued Haddad

### III-2 .6 Transfert des images du satellite vers la Terre

Les images satellites acquises sont transmises sur Terre soit en direct si une station de réception est en visibilité du satellite et est programmée, soit en différé (après stockage) lors du passage sur une station. Le débit de transmission varie selon le satellite entre 25 et 100 Mo par seconde.

Deux cas majeurs peuvent se présenter :

- Le satellite est en visibilité d'une station de réception. Les images peuvent être envoyées en temps réel à cette station si celle-ci a été programmée
- Le satellite n'est pas en visibilité d'une station. Les acquisitions programmées sont réalisées et les images sont stockées par des enregistreurs embarqués. Elles sont transmises plus tard, lorsque le satellite se trouve en visibilité d'un station de réception.
- Pour transmettre entre des points éloignés ces signaux dont la portée est limitée, on utilise, le plus souvent, comme véhicule de liaison, une onde électromagnétique.

Aujourd'hui, des dizaines de stations de réceptions de données satellites, et notamment d'images satellites, sont réparties à la surface de la planète. À chacune des stations de réception, on retrouve une ou plusieurs antennes paraboliques d'une dizaine de mètres de diamètre. Ce diamètre important permet une meilleure réception des signaux même les plus faibles. Pour permettre l'enregistrement des données transmises par le satellite, l'antenne de réception doit suivre et pointer directement vers le satellite.

---

### III-2 .7 .Caractères des données satellitaires

Les photos aérienne sont obtenues par des vols de basse altitude, les satellites d'observation de la terre sont placés à des distances considérables ( P.ex.700/800 km pour Landsat et SPOT , 36000 km pour Meteosat ). Plusieurs conséquences en découlent:

- ❖ Les techniques optiques sont inopérantes ; elles sont remplacées par l'enregistrement de l'intensité du rayonnement électro- magnétique solaire réfléchi par les objets à la surface de la terre en fonction de leurs caractéristique physiques propres ( spectre radio métrique); l'enregistrement est effectué par des capteurs spécifiques pour chaque longueur d'onde sélectionnée; le spectre est donc subdivisé en bandes spectrales ou canaux;
- ❖ les surfaces balayées de façon synchrone sont grandes ( moins de trois minutes pour une scène Landsat de 185 kmx 185 km );
- ❖ La précision géométrique (définition) est inférieure à celle des photos aérienne: la surface élémentaire d'image (pixel) est de 30mx30x pour Landsat TM, de 20mx20m pour SPOT
- ❖ Les satellites à défilement, qui tournent autour de la Terre en passant par les pôles , comme Landsat et SPOT , ont une période de retour au même point d'enregistrement de 18à26 jours, donc une répétitivité incomparable par rapport à celle des couvertures aériennes.

### III-2 .8 .Techniques d'exploitation

Ces données sont fournies sous la forme de bandes magnétiques et CD-Rom ou de Films ( mais ce produit ne permet pas de traitement) .Chaque pixel, quel que soit le type de capteur , comporte donc plusieurs valeurs, en fonction du nombre de canaux. L'exploitation de ces données peut se faire de façon sommaire sur de petites surfaces ( 512 x 512 ou 1024 x 1024 pixels ) avec des micro- ordinateurs et des logiciels sophistiqués permettent d'en tirer un véritable profil. Pendant longtemps encore seuls des organismes de recherche et des équipes pluridisciplinaires pourront aller au-delà de la routine, car il s'agit d'une technique récente, encore largement expérimentale.

L'un des avantages de ces enregistrements est leur souplesse d'utilisation. S'agissant de données numériques, on peut y appliquer toutes sortes de traitements statistiques (analyses factorielles, classifications) et en tirer des informations variées. Ainsi à partir de la même bande magnétique on peut produire par des procédures appropriées des images des types de sols, de l'humidité de surface, de la végétation. La possibilité de comparaisons

### III-3. Notions Géographiques

#### III-3.1. Les coordonnées terrestres

La terre est une sphère, mais une sphère imparfaite :

- Le Géoïde est la forme théorique qui se rapproche le plus de la surface réelle de la terre (figure 24), c'est-à-dire le niveau moyen des mers. Il sert de référence pour déterminer les altitudes.

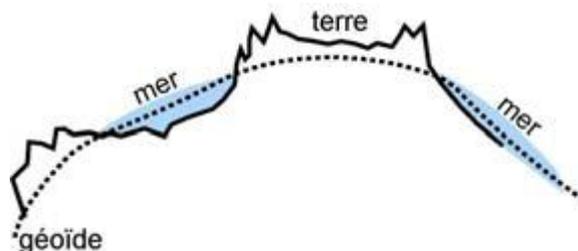


Figure 24 : Géoïde est la forme théorique de la terre

- L'ellipsoïde (figure 25) est la surface mathématique qui se rapproche le plus de la forme du géoïde (figure 24); grâce à ce dernier, on peut calculer les coordonnées géographiques en LONGITUDE et en LATITUDE.



**Figure 25 : Ellipsoïde**

Le procédé mathématique qui permet le passage de l'ellipsoïde au plan se nomme : système de représentation plane ou système de projection ou projection. Cette transformation ne va pas sans déformation (linéaire, surfacique, angulaire).

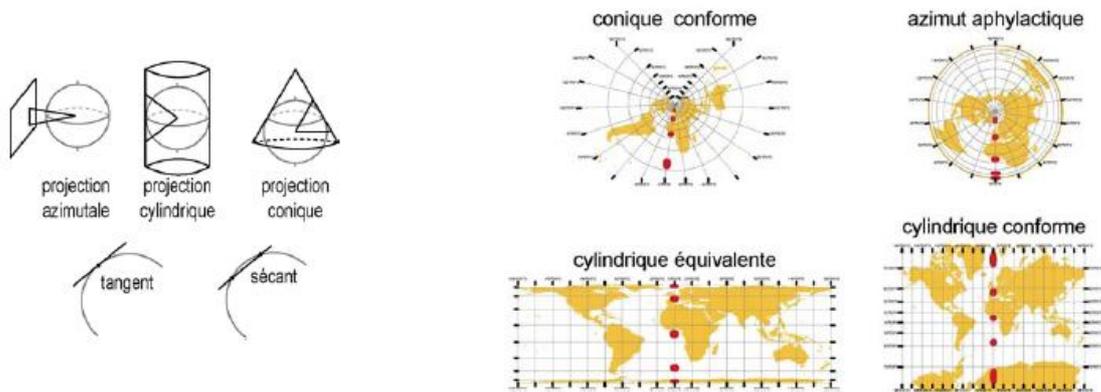
### III-3.2. Classement des projections d'après les altérations

- La déformation linéaire : aucune projection ne conserve sur la carte toutes les longueurs.
- La déformation angulaire : les projections conformes conservent les angles au détriment des surfaces. Elles sont utilisées pour des données à grande échelle de type topographiques.
- La déformation surfacique : les projections équivalentes conservent les surfaces mais pas les angles. Elles sont utilisées pour le cadastre et pour des données à petite échelle.

Les projections dites aphyllactiques ne conservent ni les angles ni les surfaces mais sont un compromis compensant au mieux les altérations, utilisées pour les représentations de type planisphère.

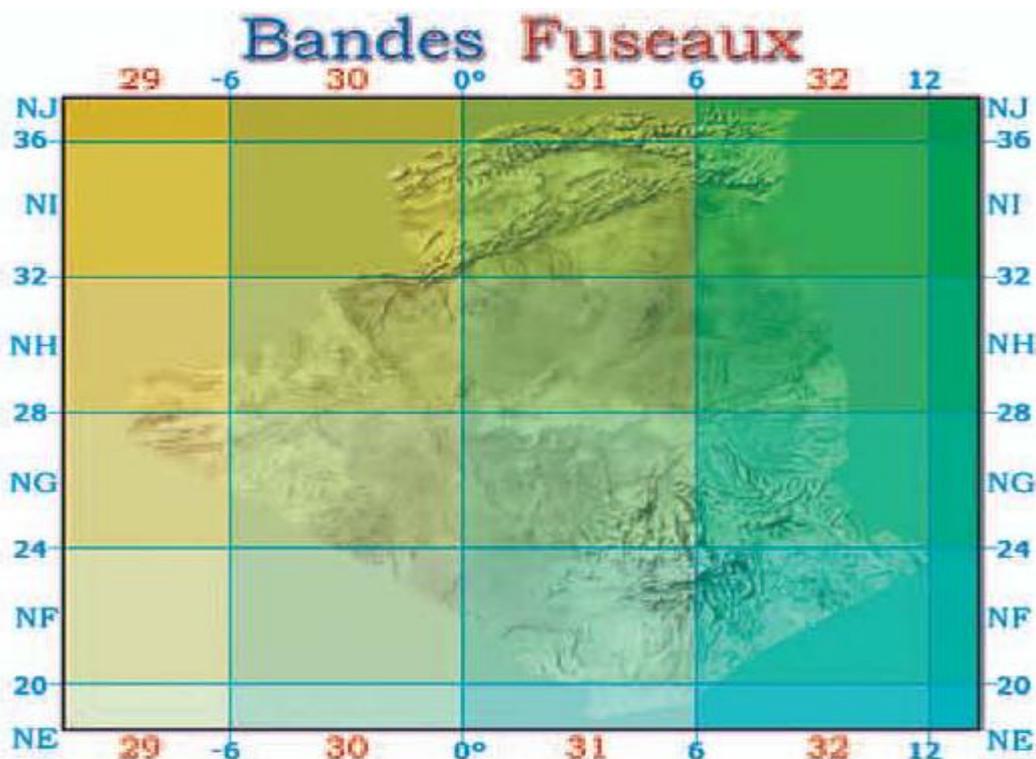
**III-3.3. Classement des systèmes d'après la surface de projection**

Projection azimutale, conique, cylindrique. Elle peut être tangente ou sécante, directe, transverse ou oblique (figure 26).



**Figure 26: Altération différentes selon les systèmes**

a projection légale en Algérie est **Universal Transverse Mercator (UTM-WGS 84)**. On la trouve pour l'Algérie en trois bandes des fuseaux (figure 27).



**Figure 27: Bandes Fuseaux pour l'Algérie**

---

### **III-4. Méthodologie**

Notre démarche repose sur l'utilisation des données de la télédétection pour une connaissance spatialisée des facteurs de différenciation de l'érosion (occupation du sol, importance du couvert végétal, ...) et sur l'usage du système d'information géographique (SIG) . une image satellitaire SPOT 2006 ( figure )a été utilisées pour la télédétection , pour l'étude, nous avons poursuivi les étapes suivantes :

#### **III-4.1 Interprétation visuelle**

Sur la base des compositions colorées pour l' images utilisée, on a délimité de manière assez précise les massifs forestiers (Naturel et reboisement) et on a identifié les surfaces du sol nu liées aux pratiques agricoles et les zones de badlands. Par contre, la classification des zones cultivées reste très grossière, puisqu'on a seulement distingué les parcelles cultivées en présence des plantations des arbres.

#### **III-4.2 Classification**

Après cette première étape, on a effectué une classification non-dirigée (15classes) ensuite on a procédé par plusieurs passages au cours desquels des arrangements et des groupements des classes sont affinés de manière à créer des groupes plus homogènes et mieux différenciés. On a constaté que, pour obtenir de bons résultats, il est nécessaire de définir plusieurs sous-classes d'objets, qui ont des propriétés spectrales légèrement différentes, mais il faudrait par la suite regrouper ces sous-classes dans une seule catégorie après classification.

Développé un filtre spécifique sous ERDAS image qui a permis d'effectuer cette opération. Dans les images résultats, les pixels isolés ont effectivement été réaffectés, en prés servant globalement les formes des zones homogènes.

---

### III-4.2.1 Méthode de classification de CORINE Land Cover « CLC »

Le programme **CORINE** (**CO**ordination de l'**IN**formation sur l'**E**nvironnement) **Land Cover** est coordonné par l'Agence européenne pour l'environnement (AEE, Copenhague), est à l'échelle continentale. De nombreux organismes traitent l'évolution de la végétation par télédétection à plusieurs échelles. Cet inventaire biophysique de l'occupation des terres fournit une information géographique de référence pour 38 Etats européens.

La continuité de ce programme et la diffusion des données sont pilotées par l'Agence Européenne pour l'Environnement.

Son principal produit est une base de données géographique décrivant l'occupation du sol du continent européen visualisée par pays.

### III-4.2.2 Les principes de base

L'information produite par CORINE Land Cover doit être homogène, strictement comparable pour tous les pays concernés et susceptible d'être mise à jour périodiquement. Trois principes fondamentaux ont donc été définis afin de satisfaire ces conditions.

### III-4.2.3 L'échelle de travail

L'échelle de travail, de la définition de la superficie minimale des unités cartographiées et de la nomenclature d'occupation du sol. Le choix de l'échelle au 1/100 000 pour la production de CORINE Land Cover a été fait pour répondre à plusieurs critères. Cette échelle est bien adaptée aux besoins nationaux et européens de suivi et de gestion de l'environnement ou d'aménagement de l'espace. Par ailleurs, elle est compatible avec les contraintes de coût de production et d'actualisation ainsi qu'avec celles de délais de réalisation et permet d'envisager une mise à jour régulière.

Des limites d'usage découlent de ce choix : la gestion locale d'espaces sensibles ou la surveillance de territoires précis relèvent d'échelles plus précises comme le 1/50 000 ou le 1/25 000 et nécessitent la description d'unités de moins de 25 hectares.

### III-4.2.4 L'unité spatiale et la superficie de la plus petite unité cartographiée

L'unité spatiale au sens de CORINE Land Cover est une zone dont la couverture peut être considérée comme homogène, ou être perçue comme une combinaison de zones élémentaires qui représente une structure d'occupation. Elle doit présenter une surface significative sur le terrain et se distinguer nettement des unités qui l'entourent. De plus, sa structure doit être suffisamment stable pour servir d'unité de collecte pour des informations plus précises. La surface de la plus petite unité

cartographiée (seuil de description) est de 25 hectares pour les bases complètes et de 5 hectares pour les bases de changements.

### III-4.2.5 Photo-interprétation

La base CORINE Land Cover est obtenue par photo-interprétation humaine d'images satellites de précision 20 mètres.

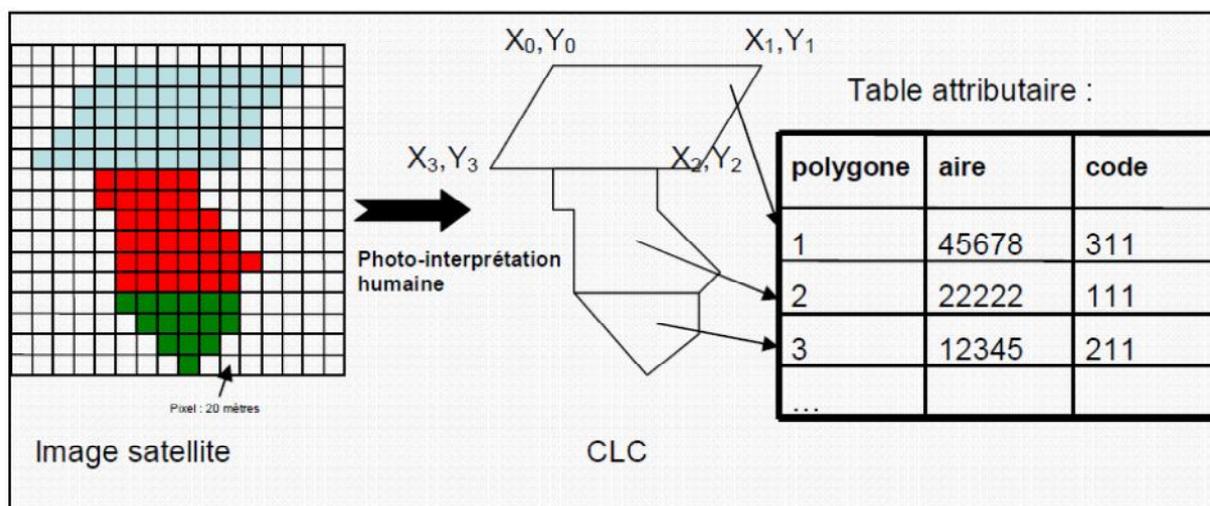


Figure 28 : Schéma de principe de la photo-interprétation

Le travail consiste à transformer une donnée « raster » (ensemble de pixels de même taille) en une donnée vectorielle, c'est-à-dire une partition du territoire en polygones ayant une taille supérieure à 25 hectares et un code d'occupation du sol.

---

### III-4.2.6 La nomenclature

La nomenclature de CORINE Land Cover est une nomenclature hiérarchisée en 3 niveaux qui permet de couvrir l'ensemble du territoire. Elle comprend 5 postes au niveau 1, 15 au niveau 2 et 44 au niveau 3. ( Voir Annexe I)

☀ Le premier niveau (5 postes) correspond aux grandes catégories d'occupation du sol repérables à l'échelle de la planète,

☀ Le second niveau (15 postes) est utilisable pour les échelles de 1/500 000 et 1/1 000 000 .

☀ Le troisième niveau (44 postes) est utilisé au 1/100 000.

### III-5 Le choix d'inventorier l'occupation biophysique du sol

L'élaboration de cette nomenclature d'occupation du sol a été conduite en fonction d'objectifs précis , de connaître l'état de l'environnement et de privilégier la nature des objets (forêts, cultures, surfaces en eau, roches affleurantes,...) plutôt que leur fonction socio-économique et de cartographier l'ensemble des territoires européens en définissant le mieux possible chacun des postes de la nomenclature utilisée, sans recourir à un poste "territoire non classé" ou "autre". Mais pour satisfaire au critère de superficie minimale des unités cartographiées (25 hectares) certains modes d'occupation des terres ont dû être regroupés au sein des postes suivants :

#### III-5.1 Les systèmes parcellaires et culturaux complexes (242)

Il s'agit ici de petites parcelles de cultures annuelles diversifiées, de prairies et/ou cultures permanentes.

Aucune de ces trois catégories ne répond au seuil de 25 hectares (ni au seuil de tolérance qui est d'environ 15 hectares) et ces terres arables, prairies, vignes ou vergers occupent chacun moins de 75% de la superficie totale de l'unité paysagère. Ce poste caractérise donc la diversité locale des modes d'occupation des terres.

---

### **III-5.2 Les territoires principalement occupés par l'agriculture, avec présence de végétation naturelle importante (243)**

Ce poste correspond à des territoires agricoles interrompus par des espaces naturels importants (landes, pelouses...). Il est caractérisé par des terres agricoles qui occupent entre 25% et 75% de la surface totale de l'unité paysagère, mais comme pour le poste précédent, aucun sous-ensemble homogène répondant au seuil de description de 25 hectares ne peut être isolé.

### **III-5.3 Le poste forêts et végétation arbustive en mutation (324)**

Ceci est un autre exemple de poste mixte ou ambigu. Il recouvre à la fois des espaces boisés et ouverts, qui ont en commun d'être en évolution mais qui peuvent résulter soit d'une dégradation de la forêt soit d'une colonisation par la forêt.

## **III-6 Recommandations liées au seuil de description**

L'existence du seuil de description de 25 hectares et l'échelle de l'interprétation font que l'exploitation statistique de la base est pertinente à l'échelle nationale, départementale et cantonale. En revanche, l'analyse de l'occupation du sol avec CORINE Land Cover à l'échelle communale est à éviter : à cette échelle les informations produites seront à la fois pauvres d'enseignement et peu précises.

### **III-6.1 Comparaison avec d'autres bases d'occupation du sol**

Les paramètres suivants doivent être pris en compte :

- ✓ Echelle d'utilisation : attention aux comparaisons avec des bases dont la précision est différente, par exemple, données d'occupation de la forêt de l'Inventaire Forestier National (IFN).
- ✓ Correspondances entre nomenclatures : les liens sont rarement univoques.
- ✓ Type de base : CORINE Land Cover est une base de polygones cartographiant l'occupation majoritaire du territoire, attention aux comparaisons avec des bases ponctuelles telles que Lucas, Teruti, ... Enfin, tenir compte de la date des données.

---

### III-6 . Exploitation de la base de données CORINE Land Cover

L'exploitation de la base de données permet de produire des statistiques d'occupation des sols sur tout territoire dès lors qu'il est de taille suffisante (département, région, Parcs naturels, ... ) .

La base de données CORINE Land Cover a également pour vocation d'être intégrée à des études multi-thématiques par croisement avec d'autres bases de données. Ces croisements permettent à la fois l'enrichissement mutuel des bases de données, l'analyse et la gestion de phénomènes complexes, la simulation des impacts globaux et l'élaboration de scénarios alternatifs d'action.

Quelques exemples d'utilisation de la base sont cités ci-dessous, dans le domaine de l'environnement :

- ✚ Constitution d'une base de données sur l'environnement
- ✚ Cartographie des données d'environnement pour l'aide à la décision
- ✚ Aide à l'analyse et à la présentation des grands enjeux environnementaux d'une région
- ✚ Caractérisation de l'occupation des sols d'un territoire
- ✚ Analyse de l'évolution de l'occupation du sol par comparaison avec des données anciennes
- ✚ Etude de l'artificialisation du territoire
- ✚ Etude de l'urbanisation du littoral
- ✚ Mise en place d'outil d'aide à la gestion intégrée des zones côtières et bassins versants associés
- ✚ Etude dans le cadre de la gestion forestière : recherche d'information utile à la prise en compte de la biodiversité et des habitats/écozones
- ✚ Analyse des données CORINE Land Cover pour l'étude du patrimoine naturel et paysager départemental et régional
- ✚ Etude sur les milieux sensibles : analyse géographique en relation avec l'occupation des terres
- ✚ Analyse paysagère
- ✚ Suivi des espaces protégés (Parcs nationaux, sites Natura 2000...)
- ✚ Réseau de surveillance de la qualité des eaux souterraines (carte de pressions de pollutions des nappes)

- 
- Etude des pollutions diffuses
  - Etude d'impact sur l'environnement
  - Etude des risques d'érosion des sols
  
  - Réalisation d'une cartographie départementale du risque d'incendie
  - Gestion des risques industriels : impact sur l'environnement et maîtrise de l'urbanisation

Dans le domaine de l'aménagement du territoire :

- - Etude préalable à l'implantation d'une infrastructure de type linéaire (réseau routier) par analyse de l'état initial du site en terme de stock de ressources, identification des modes d'occupation des sols "consommés" et identification de choix alternatifs pour le tracé (identification du couloir et identification des fuseaux)
- - Etude de la planification territoriale avec utilisation d'un SIG prenant en compte des données environnementales
- - Réalisation d'activités pédagogiques de formation et de recherche en aménagement et dynamique spatiale.

### **III-6 .1 La nomenclature CORINE Land Cover**

#### **III-6 .1.1 Tissu urbain continu**

Espaces structurés par des bâtiments. Les bâtiments, la voirie et les surfaces artificiellement recouvertes couvrent la quasi-totalité du sol. La végétation non linéaire et le sol nu sont exceptionnels.

#### **III-6 .1.2 Tissu urbain discontinu**

Espaces structurés par des bâtiments. Les bâtiments, la voirie et les surfaces artificiellement recouvertes coexistent avec des surfaces végétalisées et du sol nu, qui occupent de manière discontinue des surfaces non négligeables.

#### **III-6.1.3 Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication**

Zones recouvertes artificiellement (zones cimentées, goudronnées, asphaltées ou stabilisées), sans végétation occupant la majeure partie du sol. Ces zones comprennent aussi des bâtiments et / ou de la végétation.

**III-6 .1.4 Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés**

Autoroutes, voies ferrées, y compris les surfaces annexes (gares, quais, remblais). Largeur minimale prise en compte : 100 m.

**III-6 .1.5 Zones portuaires**

Infrastructures des zones portuaires, y compris les quais, les chantiers navals et les ports de plaisance.

**III-6 .1.6 Aéroports**

Infrastructures des aéroports : pistes, bâtiments et surfaces associées.

**III-6 .1.7 Mines, décharges et chantiers (Extraction de matériaux)**

Extraction de matériaux à ciel ouvert (sablères, carrières) ou d'autres matériaux (mines à ciel ouvert). Y compris gravières sous eau, à l'exception toutefois des extractions dans le lit des rivières.

**III-6 .1.8 Décharges**

Décharges et dépôts des mines, des industries ou des collectivités publiques.

**III-6 .1.9 Chantiers**

Espaces en construction, excavations et sols remaniés.

**III-6 .1.10 Espaces verts artificialisés, non agricoles**

Espaces végétalisés inclus dans le tissu urbain. Y compris parcs urbains et cimetières avec végétation.

**III-6 .1.11 Equipements sportifs et de loisirs**

Infrastructures des terrains de camping, des terrains de sport, des parcs de loisirs, des golfs, des hippodromes... y compris les parcs aménagés non inclus dans le tissu urbain.

---

**III-6 .1.12 Territoires agricoles****a-Terres arables****1- Terres arables hors périmètres d'irrigation**

Céréales, légumineuses de plein champ, cultures fourragères, plantes sarclées et jachères. Y compris les cultures florales, forestières (pépinières) et légumières (maraîchage) de plein champ, sous serre et sous plastique, ainsi que les plantes médicinales, aromatiques et condimentaires. Non compris les prairies.

**2- Périmètres irrigués en permanence**

Cultures irriguées en permanence ou périodiquement, grâce à une infrastructure permanente (canal d'irrigation). Une grande partie de ces cultures ne pourrait pas être cultivée sans l'apport artificiel d'eau. Non compris les surfaces irriguées occasionnellement.

**Rizières**

Surfaces aménagées pour la culture du riz. Terrains plats avec canaux d'irrigation. Surfaces régulièrement recouvertes d'eau.

**3- Cultures permanentes****3-1 Vignobles**

Surfaces plantées de vignes.

**3-2 Vergers et petits fruits**

Parcelles plantées d'arbres fruitiers ou d'arbustes fruitiers : cultures pures ou mélange d'espèces fruitières, arbres fruitiers en association avec des surfaces toujours en herbe. Y compris les châtaigneraies et les noiseraies.

**3-3 Oliveraies**

Surfaces plantées d'oliviers, y compris oliviers et vignes sur la même parcelle.

**4- Prairies**

Surfaces enherbées denses de composition floristique composées principalement de graminacées, non incluses dans un assolement. Principalement pâturées, mais dont le fourrage peut être récolté mécaniquement. Y compris des zones avec haies (bocages).

**5- Zones agricoles hétérogènes****5- 1 Cultures annuelles associées aux cultures permanentes**

Cultures temporaires (terres arables ou prairies) en association avec des cultures permanentes sur les mêmes parcelles.

**5- 2 Systèmes cultureux et parcellaires complexes**

Juxtaposition de petites parcelles de cultures annuelles diversifiées, de prairies et / ou de cultures permanentes complexes.

**5- 3 Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants**

Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par de la végétation naturelle.

**5- 4 Territoires agro-forestiers**

Cultures annuelles ou pâturages sous couvert arboré composé d'espèces forestières.

**6- Forêts et milieux semi-naturels****6-1 Forêts de feuillus**

Formations végétales principalement constituées par des arbres, mais aussi par des buissons et arbustes, où dominent les espèces forestières feuillues.

**6-2 Forêts de conifères**

Formations végétales principalement constituées par des arbres, mais aussi par des buissons et arbustes, où dominent les espèces forestières de conifères.

**6-3 Forêts mélangées**

Formations végétales principalement constituées par des arbres, mais aussi par des buissons

et arbustes, où ni les feuillus ni les conifères ne dominent.

**7- Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée****7-1 Pelouses et pâturages naturels**

Herbages de faible productivité. Souvent situés dans des zones accidentées. Peuvent comporter des surfaces rocheuses, des ronces et des broussailles.

**7-2 Landes et broussailles**

Formations végétales basses et fermées, composées principalement de buissons, d'arbustes et de plantes herbacées (bruyères, ronces, genêts, ajoncs, cytises, etc.)

**7-3 Végétation sclérophylle**

Végétation arbustive persistante, aux feuilles relativement petites, coriaces et épaisses. Y compris maquis et garrigues. Maquis: associations végétales denses composées de nombreux arbrisseaux qui couvrent les terrains siliceux acides en milieu méditerranéen. Garrigues : associations buissonnantes discontinues des plateaux calcaires méditerranéens. Elles sont souvent composées de chênes kermès, d'arbousiers, de lavande, de thym et de cistes blancs. Quelques arbres isolés peuvent être présents.

**7-4 Forêts et végétation arbustive en mutation**

Végétation arbustive ou herbacée avec arbres épars. Formations pouvant résulter de la dégradation de la forêt ou d'une re-colonisation / régénération par la forêt.

**8- Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation****8-1 Plages, dunes et sables**

Les plages, les dunes et les étendues de sable ou de galets du milieu littoral et continental, y compris les lits mineurs des rivières à régime torrentiel.

**8-2 Roches nues**

Éboulis, falaises, rochers, affleurements.

**8-3 Végétation clairsemée**

Comprend les steppes, toundras et "bad lands" (zones sèches avec peu de végétation et présence de roches nues). Végétation épars de haute altitude.

**8-4 Zones incendiées**

Zones affectées par des incendies récents. Les matériaux carbonisés étant encore présents.

**8-5 Glaciers et neiges éternelles**

Surfaces couvertes par des glaciers ou des neiges éternelles.

---

## **9 -Zones Humides**

### **9-1 Zones humides intérieures**

#### **9-1- 1 Marais intérieurs**

Terres basses généralement inondées en hiver et plus ou moins saturées d'eau en toutes saisons.

#### **9-1- 2 Tourbières**

Terrains spongieux humides dont le sol est constitué principalement de mousses et de matières végétales décomposées. Tourbières exploitées ou non.

### **9-2 Zones humides maritimes**

#### **9-2- 1 Marais maritimes**

Terres basses avec végétation, situées au-dessus du niveau de marée haute, susceptibles cependant d'être inondées par les eaux de mer. Souvent en voie de colmatage, colonisées petit à petit par des plantes halophiles (vivant en milieu salé).

#### **9-2- 2 Marais salants**

Salines actives ou en voie d'abandon. Parties des marais maritimes mises en exploitation pour la production de sel par évaporation. Les marais salants se distinguent nettement du reste des marais par leurs parcelles d'exploitation et leur système de digues.

#### **9-2- 3 Zones intertidales**

Étendues de vase, de sable ou de rochers généralement sans végétation, comprises entre le niveau des hautes et des basses eaux.

## **10 - Surfaces en eau**

### **10-1 Eaux continentales**

#### **10-1 -1 Cours et voies d'eau**

Cours d'eau naturels ou artificiels qui servent de chenal d'écoulement des eaux. Y compris les canaux. Largeur minimale de prise en compte : 100 mètres.

#### **10-1 -2 Plans d'eau**

Étendues d'eau, naturelles ou artificielles, de plus de 25 hectares.

### **10-2 Eaux maritimes**

#### **10-2-1 Lagunes littorales**

Étendues d'eau salée ou saumâtre sans végétation, séparées de la mer par des avancées de terre ou autres topographies similaires. Ces surfaces en eau peuvent être mises en communication avec la mer à certains endroits ponctuels, soit de façon permanente, soit de façon périodique à certains moments de l'année.

#### **10-2-2 Estuaires**

Parties terminales à l'embouchure des fleuves, subissant l'influence des eaux marines.

#### **10-2-3 Mers et océans**

Zones au-delà de la limite des plus basses marées.

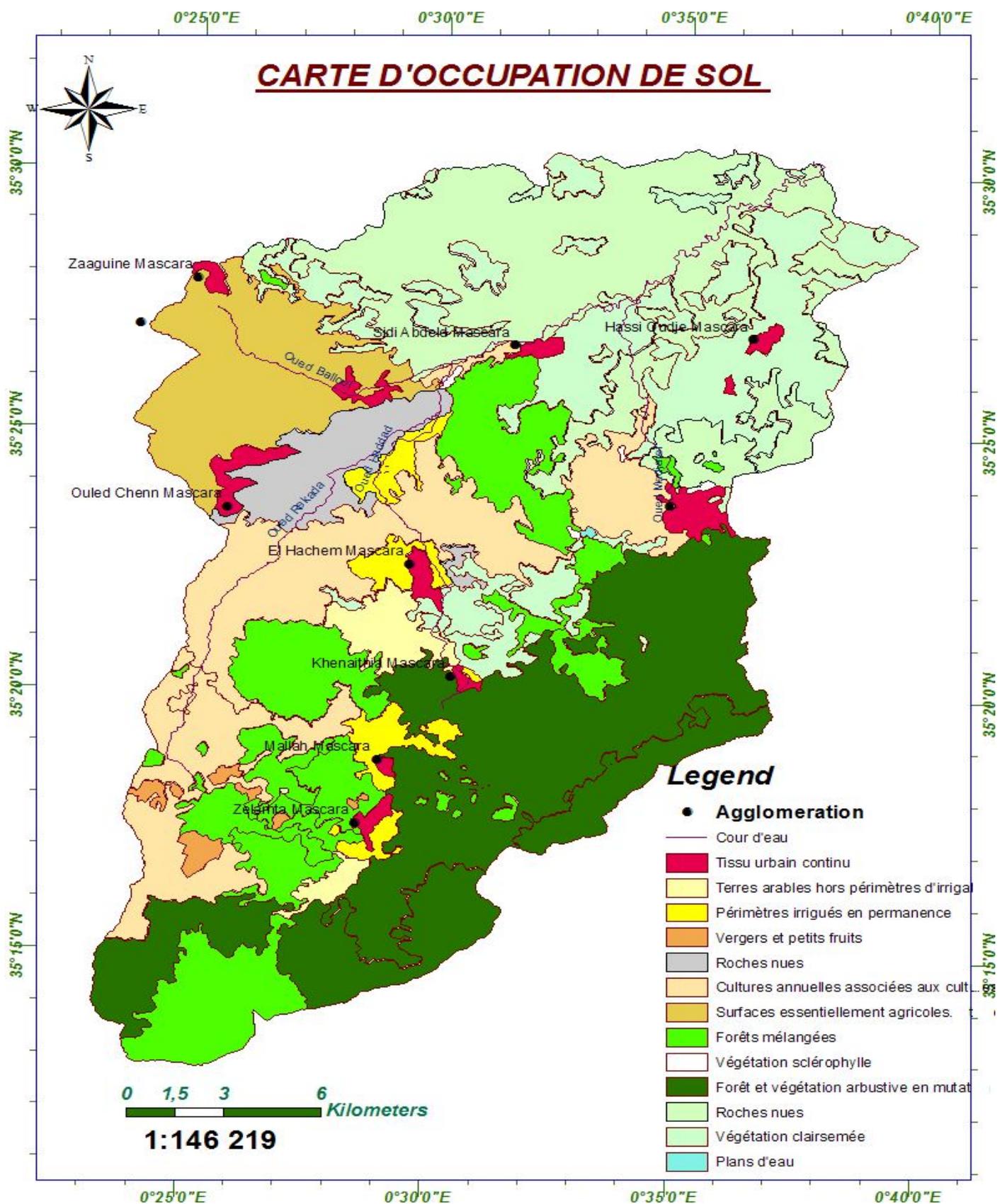


Figure 29 : Carte d'occupation de sol après traitement de l'image satellitaire SPOT année 2006

---

**LEGENDE DE LA CARTE D'OCCUPATION DE SOL**

	Tissu urbain continu
	Terres arables hors périmètres d'irrigation
	Périmètres irrigués en permanence
	Vergers et petits fruits
	Roches nues
	Cultures annuelles associées aux cultures permanentes
	Surfaces essentiellement agricoles. interrompues par des espaces naturels
	Forêts mélangées
	Végétation sclérophylle
	Forêt et végétation arbustive en mutation
	Roches nues
	Végétation clairsemée
	Plans d'eau

### III-7 Interprétation du résultat ( la carte d'occupation de sol )

On peut de ce point de vue subdiviser la zone en quatre aires:

- 1- une large bande Sud -Ouest constituée de plateaux culminant à 700-800 m où dominant les sols argileux profonds. Elle est peu incisée car protégée par un soubassement de grés résistants;
- 2- à l'Est et à l'Ouest de ce secteur ce sont les sols rouges sur croûtes qui sont les plus représentés; on observe en allant des sommets à surface plane vers les entailles une gradation du type profond au peu profond puis à la croûte affleurante;

3- au Nord se développe un secteur de ravinements où tous les types de sols de la "Zone des marnes " sont représentés,

Les sol profonds sont réduits aux interfluves et aux versants face au nord, protégés de la dessiccation et donc des ravinements, et les sol salés s'étendent largement, directement liés aux marnes affleurantes et aux bad-lands;

4- au Nord –Est du bassin s'élargit une Zone très dégradée où il n'existe presque plus de sols profonds et dominant les marnes brutes; bad-lands et sol salés

## Conclusion

L'évaluation des classifications est à la fois qualitative et quantitative. En effet, une estimation visuelle par comparaison du résultat obtenu avec les photographies aériennes a été satisfaisante. L'analyse de données satellitaires a permis d'identifier quatorze principaux types d'occupation du sol (terrains fortement dégradés, céréalicultures, mélange de céréalicultures et arboricultures, oliviers, reboisement et forêt claire).

La région de nord est fortement érodées et presque sans végétation, les superficies avec des roches et quelques plantes isolées, et les zones avec une végétation fortement dégradé . les superficies de reboisement correspondent est moyenne .

L'occupation de sol nous reflète la répartition de couvert végétal en particulier les forêts et les cultures on ajoutent la nature géologique des terrains pour conditionner l'énergie de ruissellement ( inclinaison du relief =pentes de terrain ).

# CHAPITRE IV

**Le modèle numérique de terrain MNT**

## **IV . Modèle Numérique de Terrain « MNT »**

### **IV-1 . Introduction**

La cartographie d'occupation du sol offre un ensemble d'informations relatives à un temps « t » et à un endroit « x, y, z ». Ces informations caractérisent au mieux le milieu physique et son évolution spatio-temporelle exprimant à un instant donné un état de ces relations qui impliquent des structures changeantes dans l'espace et dans le temps. l'occupation du sol donne une illustration de cette «confrontation continue entre la société et son milieu » (BUREL , BAUDRY.1999), Pour cela, l'étude et la cartographie de l'occupation du sol sont très importantes dans la compréhension de cette confrontation.

Ce travail s'est servi des traitements d'images et de la cartographie comme des moyens simples et efficaces pour expliquer la grande partie des problématiques. La maîtrise de SIG et de la télédétection était l'une de mes principales préoccupations depuis le début de mes recherches dans le cadre de ce travail. 14 cartes topographique de 1958 et 1986 , ont été géo- référenciées et digitalisée . L' image satellitaire, essentiellement Spot de l'année 2006, ont fait l'objet de plusieurs traitements (classifications supervisées et non supervisées, compositions colorées, filtres, etc.). Les données raster et vectorielles issues de ces traitements ont été géo référenciées à la même projection (UTM) que les cartes topographiques, géologiques, etc. Ainsi, les différents fonds cartographiques et photographiques sont parfaitement superposables et comparables. La marge d'erreurs entre ces fons est généralement très minime et dépend de la résolution et des échelles.

Les logiciels qui ont servi à l'élaboration du SIG et des autres cartes de ce travail sont nombreux. En pratique, il n'y a aucun logiciel qui peut, à lui seul, répondre aux besoins d'un SIG. Généralement, on a toujours recours à un logiciel pour accomplir une tâche inapplicable sur un autre. Par ordre d'apport à ce travail, les logiciels utilisés dans ce travail sont : Global mapper 10, , Erdas Imagine 9.3 , ArcGis 9.3, Mapinfo 8.0, Photoshop 8 , Les trois premiers logiciels ont joué le rôle primordial dans l'élaboration du SIG et du MNT. Toutefois, Erdas Imagine 9.3 a aussi permis le traitement d'image

satellitaire. Plusieurs fonds cartographiques et photographiques ont été à l'origine de l'élaboration de ce SIG et de ses cartes vectorielles et rester .

## IV-2 le Modèle Numérique de Terrain « MNT »

Un MNT est une description numérique de la forme et de la position de la surface topographique. Il est constitué d'un ensemble de points de coordonnées X, y, Z (z présentant l'information altitudinale).

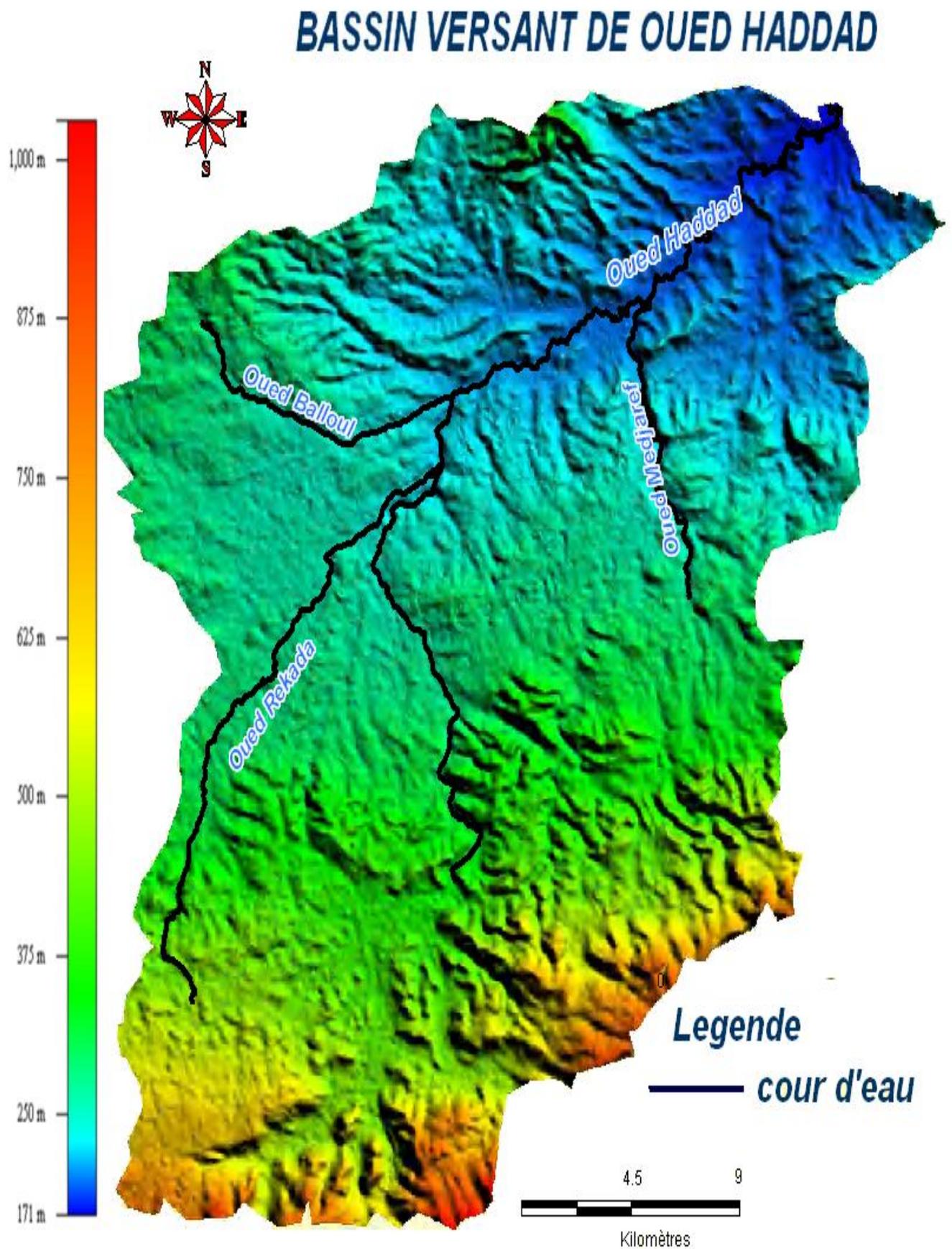
Le MNT est établi à partir des courbes de niveau numérisées du bassin.

Qui est utilisé pour :

- la topographiques,
- mesurer des différences d'altitudes,
- extraction de profils topographiques,
- direction de drainage et écoulement hydrologiques,
- établir les pentes et la pente moyenne,
- exposition,
- concavité, convexité

Le modèle numérique de terrain permet d'avoir une représentation en 3 dimensions ( 3D)du bassin versant .

Pour faire une étude d'impacte ,on a établie des fichiers numérisés des altitudes pour deux période lointaine d'intervalle de 30 ans (1987 , 1957 ) ,pour pouvoir étudier dans la zone des marnes tertiaires les réseaux de ravins et le lit même de la rivière principale les modification du relief en 30 ans, il est facile de superposer les deux fichiers des deux périodes et combiner les deux séries de données. La quantité d'un SIG dépend en premier lieu de celle des données que l'on y introduit ( Henri Vogt et Dieter Gomer , 1998).On peut aussi une fois les données traitées, introduire les fichiers des coordonnées des point topographique dans un SIG ( logiciel Arc GIS ) en tant que couches



**Figure 30:** Image MNT 50m ( 2006) en 3D découpé aux limites de la zone d'étude « Bassin versant de Oued Haddad » par Arc Gis et traité par le logiciel Global mapper .

d'information . ce pendant, lorsque les cartes topographiques sont anciennes où la couverture date des années 1957 ) ou peu précises , le couplages des MNT

A l'aide d'un model numérique de terrain et à partir d'un calcul des pentes que l'on pourrait obtenir des évaluations plus justes. En fait, comme presque tous les types de sol sont présents sur les versants les proportions entre les classes se compensent.

### **IV-3. Les Données Cartographiques**

#### **IV –3.1 Les cartes topographiques**

Les anciennes cartes ( année 1957) au 1/50 000 (édition IGN) : Tighennif (N° : 213), Nesmot (N° : 244 ),Djilali Ben Amar (N° : 214) ,Aine Faress (N° : 184) et Uzès-Le Duc (N° : 185) , et Les cartes topographique les plus récentes année1987 à l'échelle de 1/25 000 Oued El Abtal (63 Ouest, 61 Est et Ouest ), Relizane (43 Ouest) , Relizane (43EST) ,Mohammadia (34 EST) , Mascara (52 EST) , Mascara (54 EST) . En effet, la continuité de leurs unités spatiales et linéaires.

Leur correction géométrique avec le logiciel Mapinfo 8.0 ne demande que quatre points de contrôle GCP (*ground control points*), chacun sur un coin de la même carte. Les coordonnées de ces points de contrôle permettent de géo-référencier les cartes à une projection géographique ou cartésienne donnée.

Après cette correction et en affichant ces cartes sur la même vue, chaque courbe de niveau se prolonge correctement d'une carte topographique à l'autre sans aucun décalage. on faisons sortir des points topographique (avec leurs coordonnées X,Y et Z ) des courbes de niveau à équidistance de 10m, pour l'élaboration un MNT qui couvre la totalité du bassin versant de Oued Haddad années 1957 et 1986 à partir des

cartes topographiques qui le couvrent. L'apport de cet MNT est important pour l'analyse du relief structural du bassin .L'image MNT 2006(SRTM, USGS) a été très utiles pour la restitution et l'interprétation du relief et élaboration un 3D et un MNT de bassin de oued Haddad figure n°30 .

Tout sa a servi pour la réalisation de plusieurs cartes (hypsométrique, de pente et d'exposition) ainsi que pour la détermination. Le drapage des différentes cartes thématiques et couches vectorielles sur ces MNT a permis de visualiser le bassin sous forme de paysages numériques.

### **IV –3.2 Numérisation et traitement des données**

Après l'étape de la collecte des données, nous sommes passés à l'étape suivante de numérisation, digitalisation et la saisie des tables attributaires correspondant à chaque couche d'information. Le schéma sur la figure N° 31, représente les principales étapes de numérisation et traitement des données.

Les applications ArcMap, ArcCatalog, Arc Info Workstation et ArcToolbox, nous ont permis de réaliser l'ensemble des tâches de la cartographie telles que la visualisation, la digitalisation, la saisie et l'analyse des données géographiques disponibles. Ainsi, une liste des cartes "de base" a été établie :

- Carte des tranches d'altitude (TIN) ;
- carte des courbes de niveaux ;
- Carte des pentes ;

#### **IV –3.2.1 Carte des tranches d'altitude (TIN)**

C'est la première carte de dérivation réalisée sous Arc Gis 9.1 grâce à l'extension 3D Analyst : les TIN (Triangular Irregular Network) sont des réseaux de facettes triangulaires définis par des nœuds et des tronçons qui couvrent une surface. Les TIN sont construits à partir d'un ensemble de valeurs connues, ou "points cotés", qui servent de nœuds de départ dans la triangulation. Les lignes, lorsque la forme de la surface change brusquement, comme les crêtes, les cours d'eau, ou les routes, peuvent être incorporées dans des TIN en tant que lignes de fracture, et les surfaces

qui partagent une valeur peuvent être incorporées en tant que polygones de remplissage. Les valeurs aux localisations entre les nœuds peuvent être dérivées pour un TIN grâce à l'interpolation linéaire à partir des nœuds les plus proches. Les TIN permettent habituellement de représenter des surfaces de terrain dans les applications d'ingénierie, car les points cotés peuvent être répartis irrégulièrement pour prendre en compte les surfaces à haute variabilité, leurs valeurs et positions exactes étant conservées sous la forme de nœuds dans le TIN (figures n°32 et 34. )

Cette dernière se base sur le fichier GRID précédemment créé.

Les rasters sont des tableaux rectangulaires de cellules (ou pixels), chacun stockant une valeur correspondant à la partie de la surface qu'il couvre. Une cellule donnée contenant une valeur unique, la quantité de détail pouvant être représentée pour la surface est limitée à la taille des cellules raster. Les rasters sont les modèles de surface les plus communément utilisés dans ArcGIS. La simplicité de la structure des données raster accélère les calculs sur les rasters (ou les comparaisons entre rasters) par rapport à d'autres représentations surfaciques. Les rasters sont aussi utilisés pour stocker l'imagerie, les cartes numérisées et les informations catégorielles, telles que la classe d'utilisation du sol, qui sont souvent dérivées de l'imagerie.

#### **IV -3.2.2 Calculs des courbes de niveau**

Calculs des courbes de niveau sous Arc Gis (9.1) et a nécessité l'extension Spatial Analyst. digitalisation des Cartes topographiques à 1/50 000 année 1957 et 1 /25 000 année 1986 .

#### **IV -3.2.3 Carte des pentes**

Carte des pentes Cette carte, dérivée elle même du GRID, a été réalisée sous Arc Gis (9.1) grâce à l'extension Spatial Analyst. Aux altitudes et aux pentes manquent les orientations pour caractériser le relief d'un territoire.

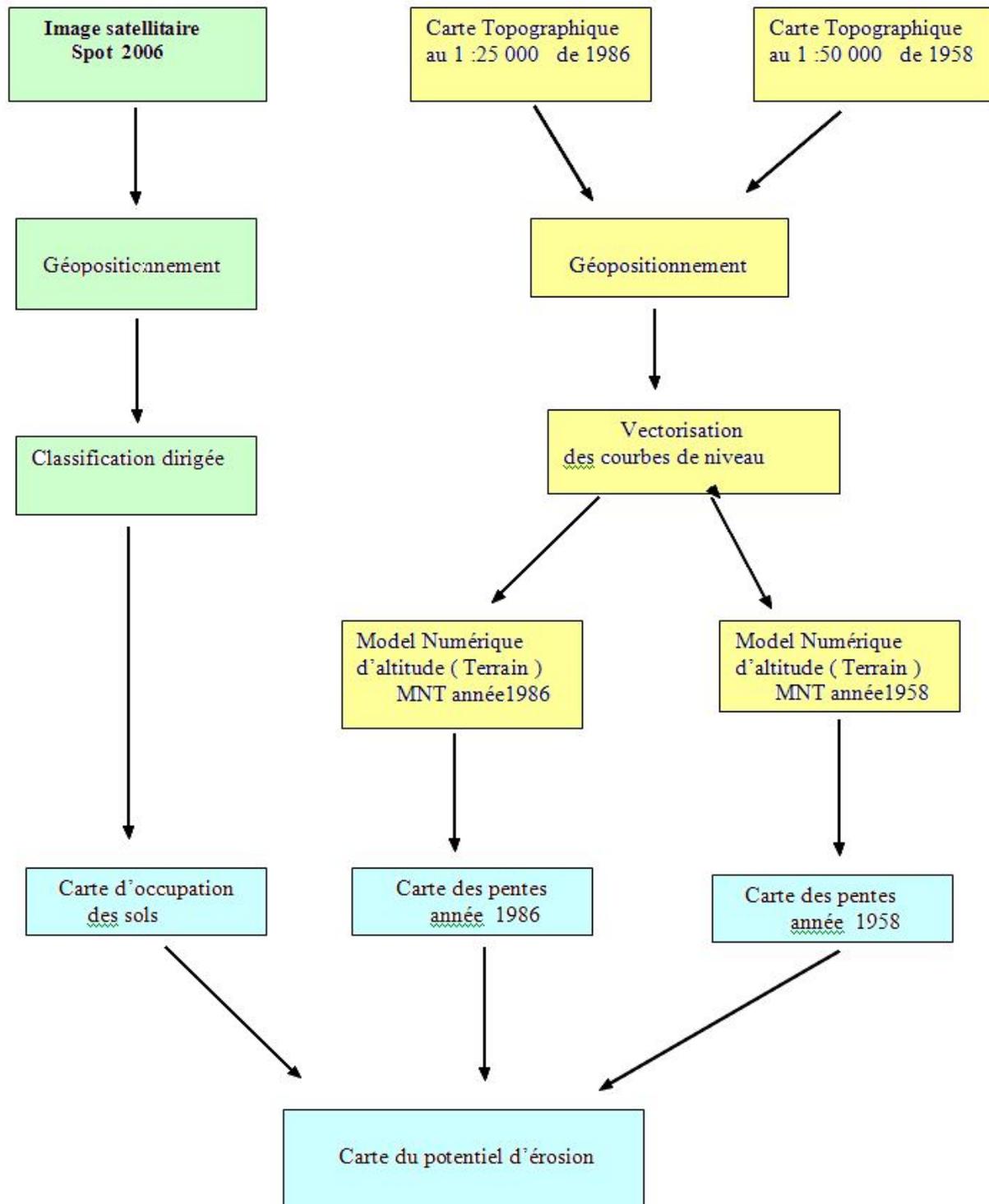
Ces dernières sont fournies par les cartes d'exposition et d'ombrage créées sous Arc Gis 9.1 grâce à l'extension Spatial Analyst. Pour la carte d'exposition, chaque facette du relief est représentée par une couleur correspondant à une orientation.

Le présent travail porte sur la localisation des zones sensibles à risque d'érosion des sols. Les données, dérivées du modèle numérique d'altitude (MNT) établi à partir des cartes topographiques, sont traitées pour caractériser le relief et les indices de pente. L'analyse des données lithologiques et d'occupation du sol a permis localiser les zones à risque d'érosion.

Le SIG offre une capacité de gérer et de traiter les relations spatiales entre objets ou phénomènes dans l'espace terrestre, donc des fonctions d'analyse spatiale et des fonctions de synthèse.

Afin de mieux cerner la méthode suivie pour aboutir à la réalisation des cartes des pentes, nous nous proposons de la présenter sous forme du schéma ( figure n°31 )

## ORGANIGRAMME DE LA METHODOLOGIE DE CETTE ETUDE



**Figure 31: Organigramme de la méthodologie de travail**

## **IV -4 CARTES DES PENTES**

### **IV -4 .1 Introduction**

L'inclinaison de la surface du terrain est un facteur important pour déterminer l'aptitude à l'érosion du relief et du sol.

Elle indique de manière significative le degré d'érosion. Il faut souligner que l'inclinaison est influencée par la roche en place, les sols, le ravinement, la distribution et la quantité des pluies et l'activité de l'homme.

Un classement bien défini des différentes pentes était une donnée essentielle pour l'étude de l'érosion dans le bassin de Oued Haddad

Vu la superficie du bassin ( 509 km<sup>2</sup> ) , le MNT a été a partir des carte Topographique de la période de 1957 et 1987 avec un intervalle de plus de 30 an années 1958- 1987 par exemple, il doit pouvoir être possible de réaliser une comparaison entre les deux MNT, et d'évaluer non seulement les zones érodées (pertes de sols entre MNT de 2006 et MNT de 1954) et les accumulations de bas de pentes. Cette première étape nous donnerait une carte avec une estimation des hauteurs perdues et des pentes (érosion qui nous permettrait d'obtenir des Volumes/ha/an (ou du moins une estimation).

### **IV -4 .2 Méthodologie**

Les cartes ont été construites selon un système de coordonnées national

Pour faire la comparaison entre 2 périodes ,on a en recours à d'anciennes cartes à échelle 1 :50000 et la numérisation des cartes analogiques à été effectuée avec le

logiciel Map Info professionnel et pour l'analyse des données numériques on a en

recours à de logiciels les . surfer ( 10 ) et Covadix et Arc Gis pour l'analyse du relief

C'est logiciel, ils déterminent les paramètres suivants :

- ✓ Pente ;
- ✓ Exposition ;
- ✓ Direction d'écoulement ;
- ✓ Taille de l'aire contributive ;

- ✓ Itinéraire de l'écoulement ;

Les bases mathématiques pour déterminer la pente et l'exposition au moyen de modèles numériques de terrain ( MNT) sont connues (BAUER et al .1985, BAND 1986 , TARBOTON et al 1991 ).

Pour déterminer l'ablation et la capacité de transport, les paramètres hydrauliques tels que la vitesse d'écoulement , la profondeur de la lame d'eau et les grandeurs dérivées sont fondamentaux , c'est pour quoi les erreurs et les suppositions inexactes peuvent se répercuter fortement sur la modélisation du mouvement des solides .

La direction d'écoulement étant connue , l'aire contributive de chaque maille du raster peut être déterminée par les altitudes décroissantes en commençant par le point le plus élevé du territoire étudié .

Les itinéraires d'écoulement sont déterminés en allant du point de sortie vers la ligne de partage des eaux, l'itinéraire du collecteur principal suivant en chaque point des valeurs maximales des tailles de l'aire contributive des mailles .On peut déterminer de la même manière les tributaires jusqu'à ce que les itinéraires des flux pour tous les points de la maille soient déterminés l' ensemble

Digitalisation des lignes de contours sur des cartes topographiques ; interpolation pour produire un MNT Numérisation des carte de la couverture de bassin /50 000 de 1958 et les courbes de niveaux des cartes topographiques du terrain ont été digitalisées, puis on a calculé par ordinateur, à partir des classe des pentes , un Modèle numérique de Terrain MNT .

La distribution régionale des différents degrés d'inclinaison est vérifiée sur une carte des pentes ,l'établissement des différentes classes des pentes et leur représentation sur la carte calculée à partir du MNT tridimensionnel.

Dans le calcul nous avons calculés pour avoir 9 classes ou les angles d'inclinaison les plus faibles y sont bien différenciés. Les deuxièmes cartes est divisées en 4 classes seulement et repose sur le même principe que les autres cartes d'inclinaison des pentes.

Les altitudes sont indiquées d'après les cartes topographiques établer en 1987 à l'échelle 1 :25000 et des carte de 1 :50000( IFG.1957 ) établer par le pouvoir colonial .

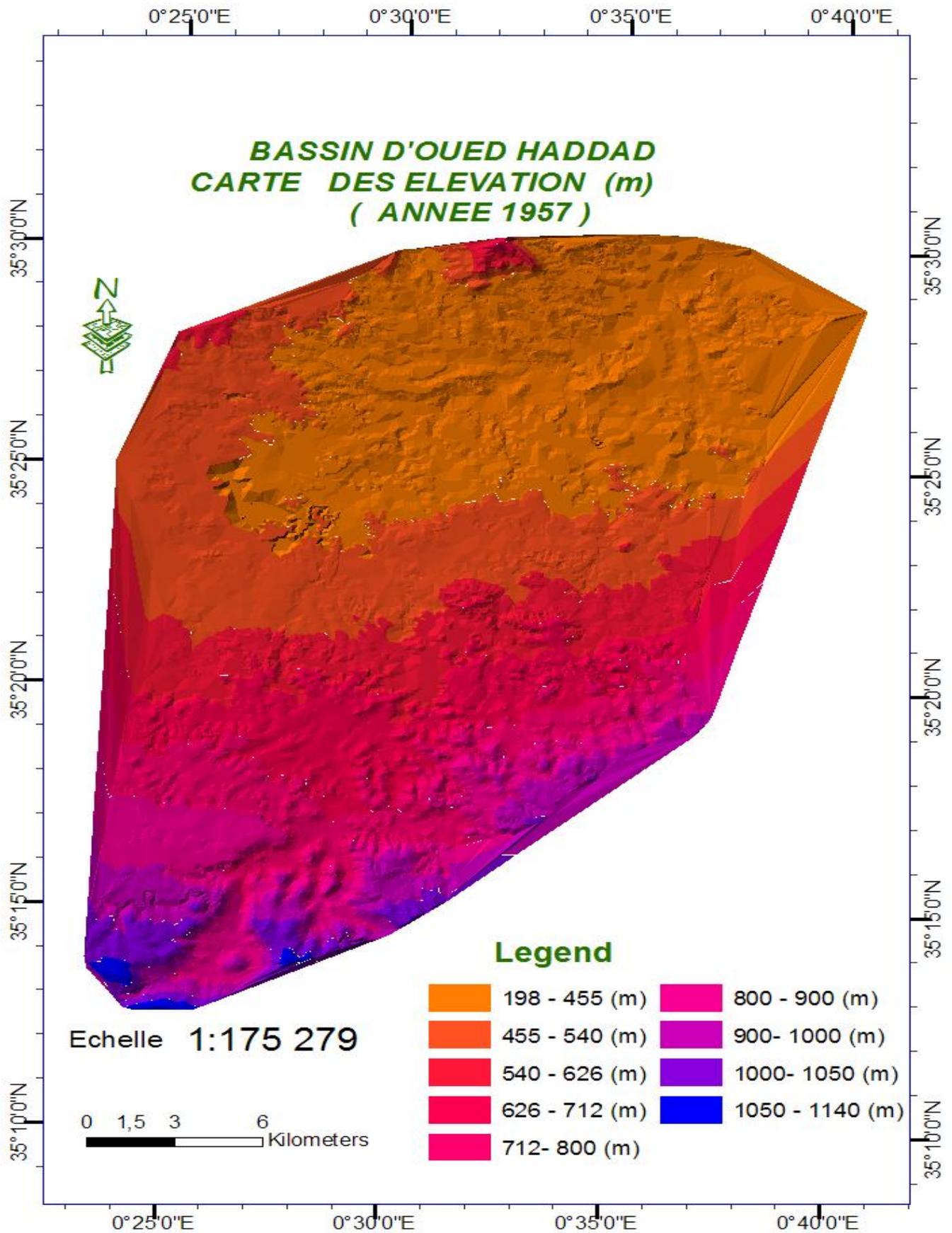


Figure 32 :Carte des élévation du bassin de Oued Haddad ( année 1957 )

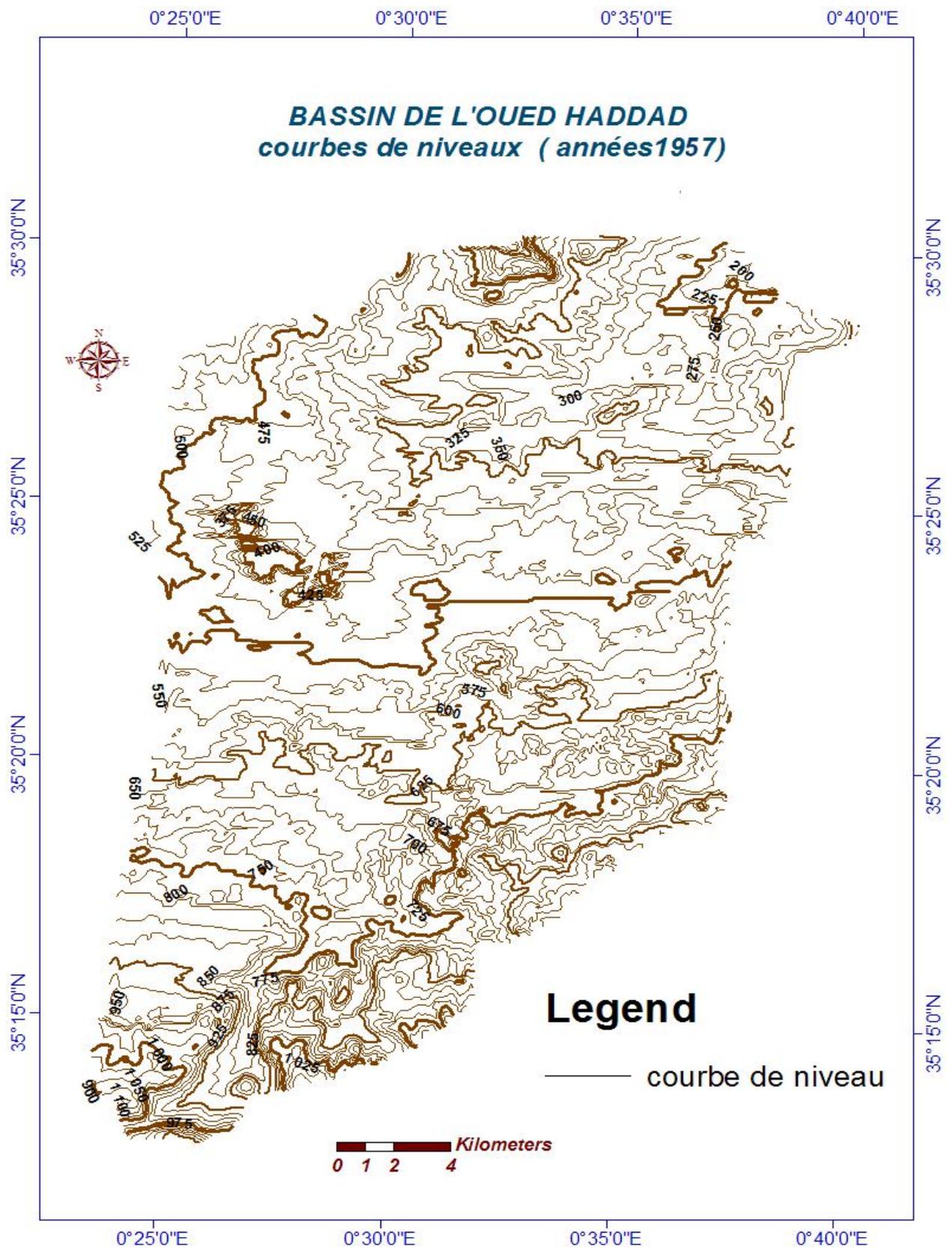


Figure 31: Carte des courbe de niveau extraire de la carte topographique de l'année 1957

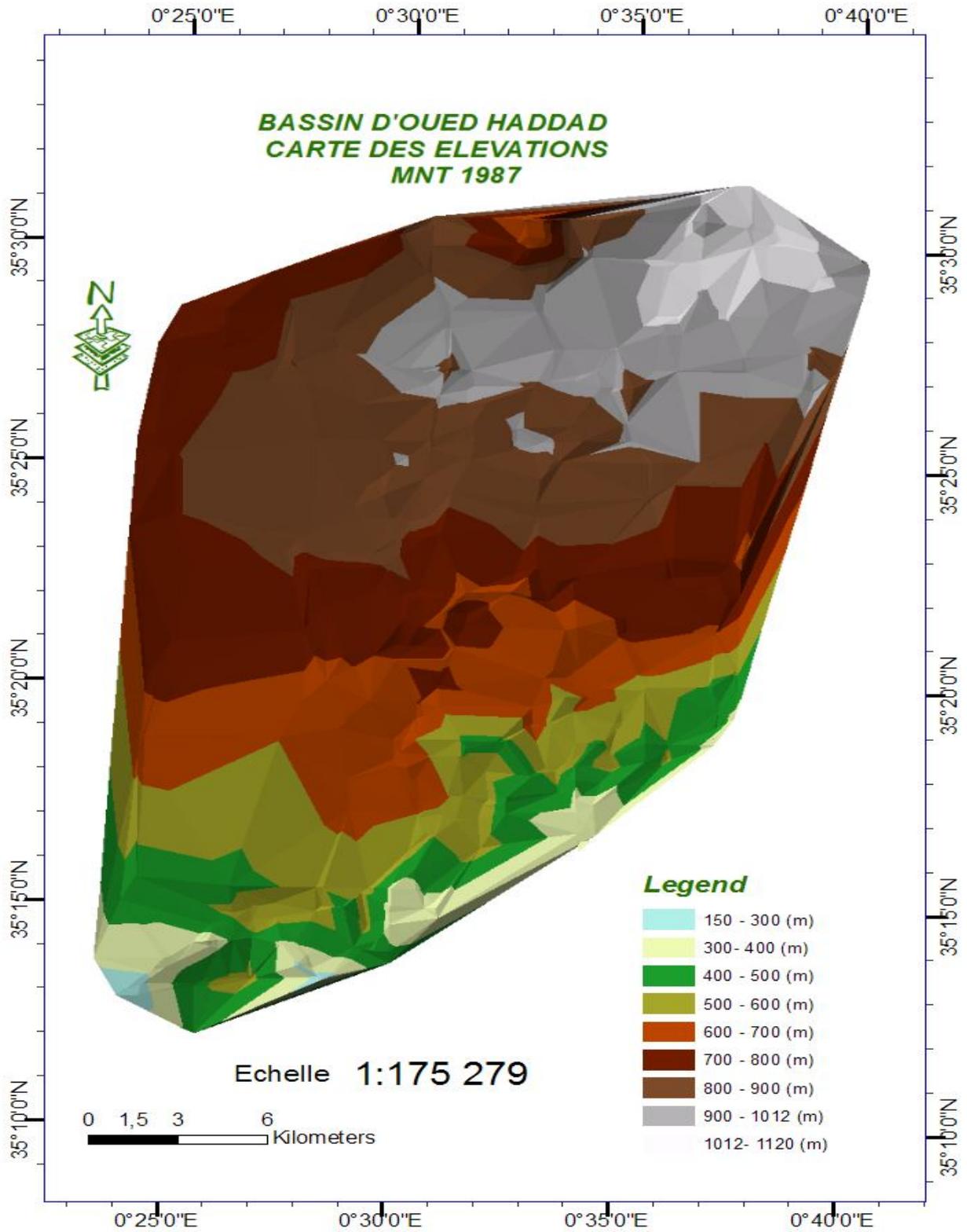


Figure 34 : Carte des élévation du bassin de Oued Haddad ( année 1987 )

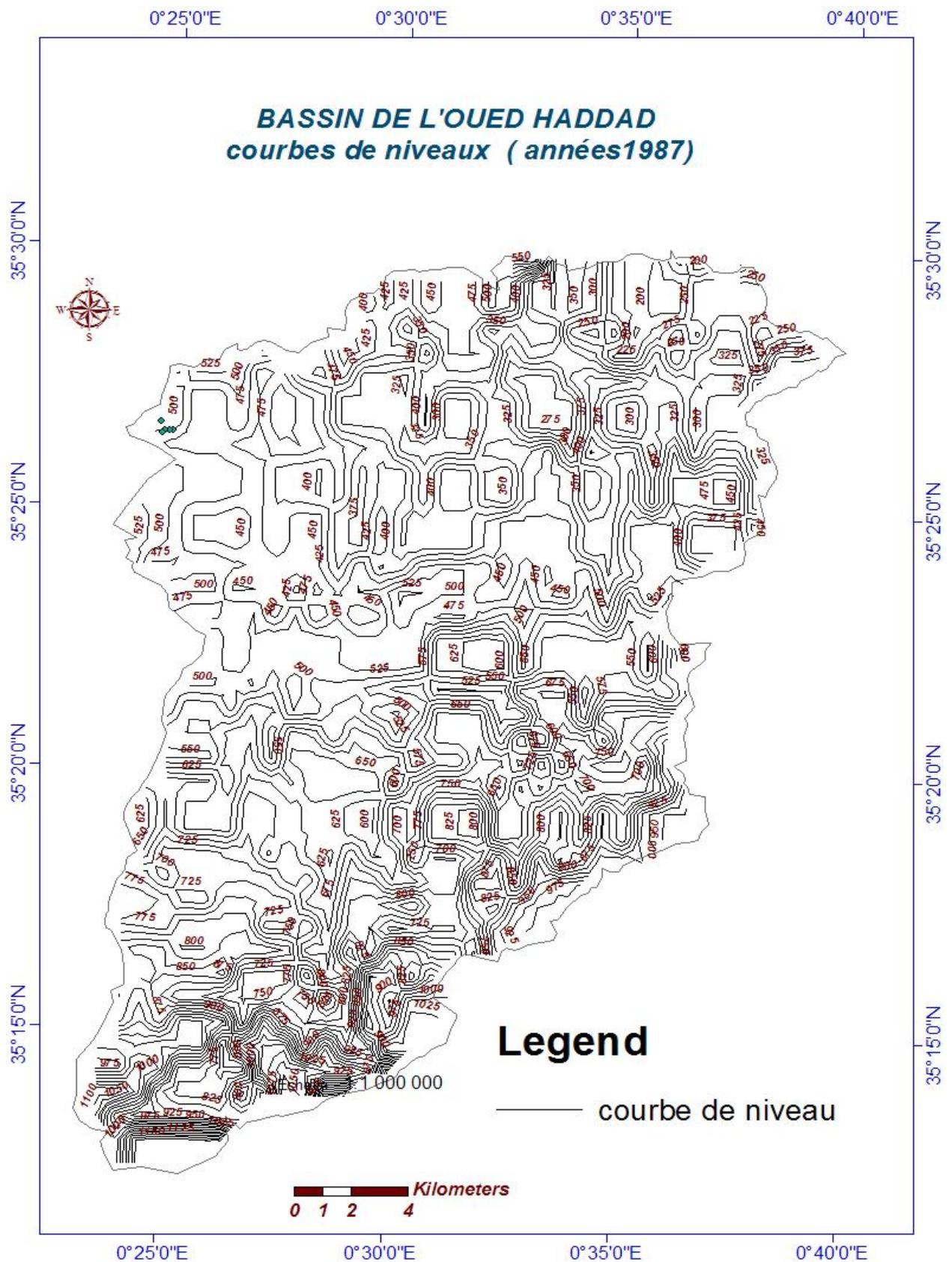


Figure 35: Carte des courbe de niveau extraire de la carte topographique de l'année 1987

## Schéma d'élaboration de la carte des pentes

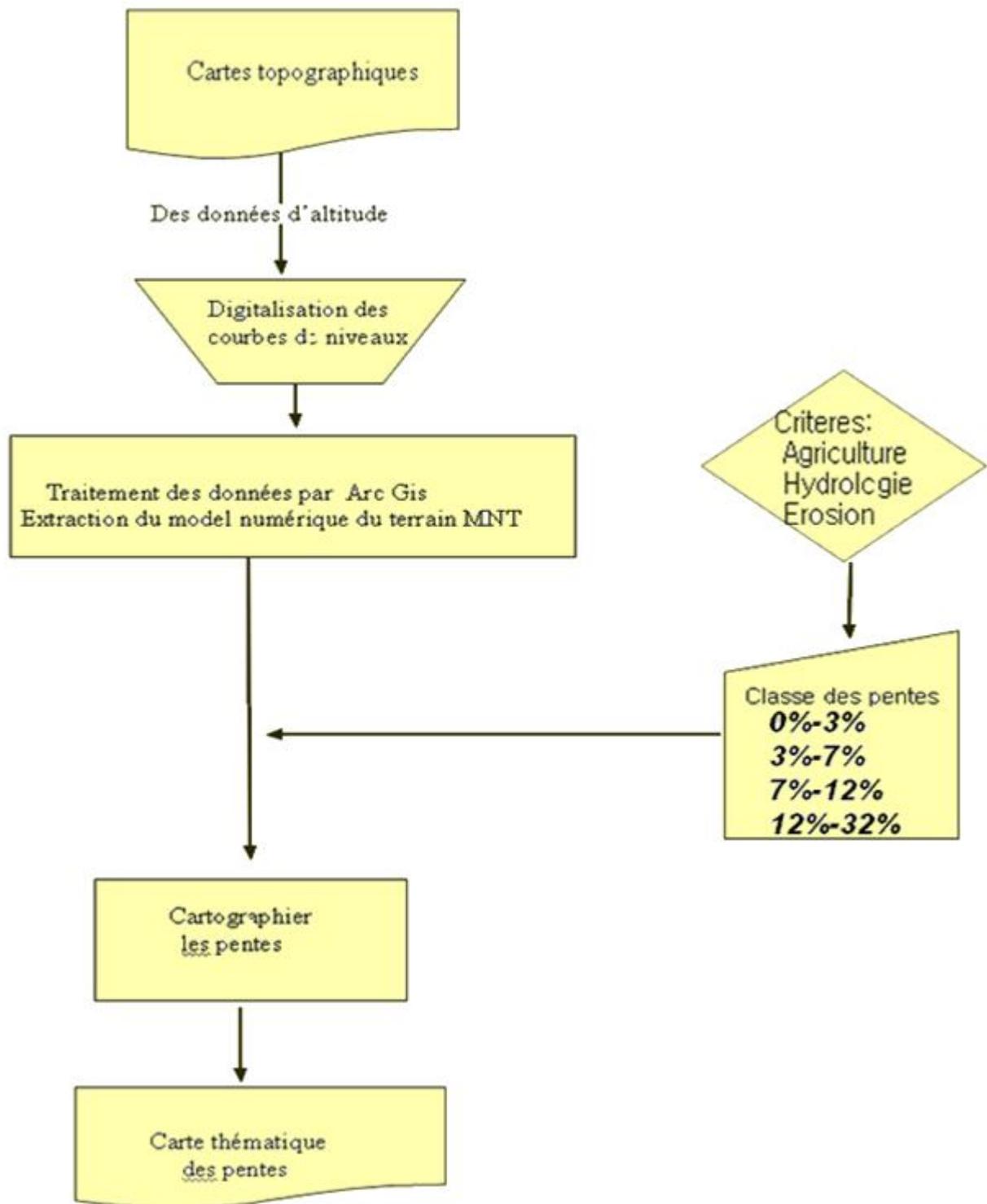


Figure 36 : Représentation du schéma d'élaboration de la carte des pentes

## IV – 5 CARTES DES PENTES

Ce sont les cartes qui représentent l'énergie du relief et reflète le risque de danger d'érosion en fonction de la situation des marnes septentrionales dans la zone d'étude , même un faible degrés d'inclinaison joue un rôle important pour l'érosion . a l'aide de l'inclinaison des pentes ont déterminé la délimitation et le mesures de protection contre l'érosion qui en résultent. Autres arguments pour une subdivision détaillée :

- la reproduction exacte des formes de terrains et des pentes, la modification de l'inclinaison le long de la pente
- la représentation détaillée des terrains pour le calcul de l'écoulement superficiel, du déblaiement du sol , de la stabilité des pentes ( longueur de la pente et inclinaison comme ordres de grandeur nécessaires pour la formule de Wischmeier )
- la possibilité de localisation le risque d'érosion .

pour ce la on a réalisée la carte des pentes à neuf classes qui représente les différent degrés de danger d'érosion (faible, moyen et fort ) (figures 37et 38)

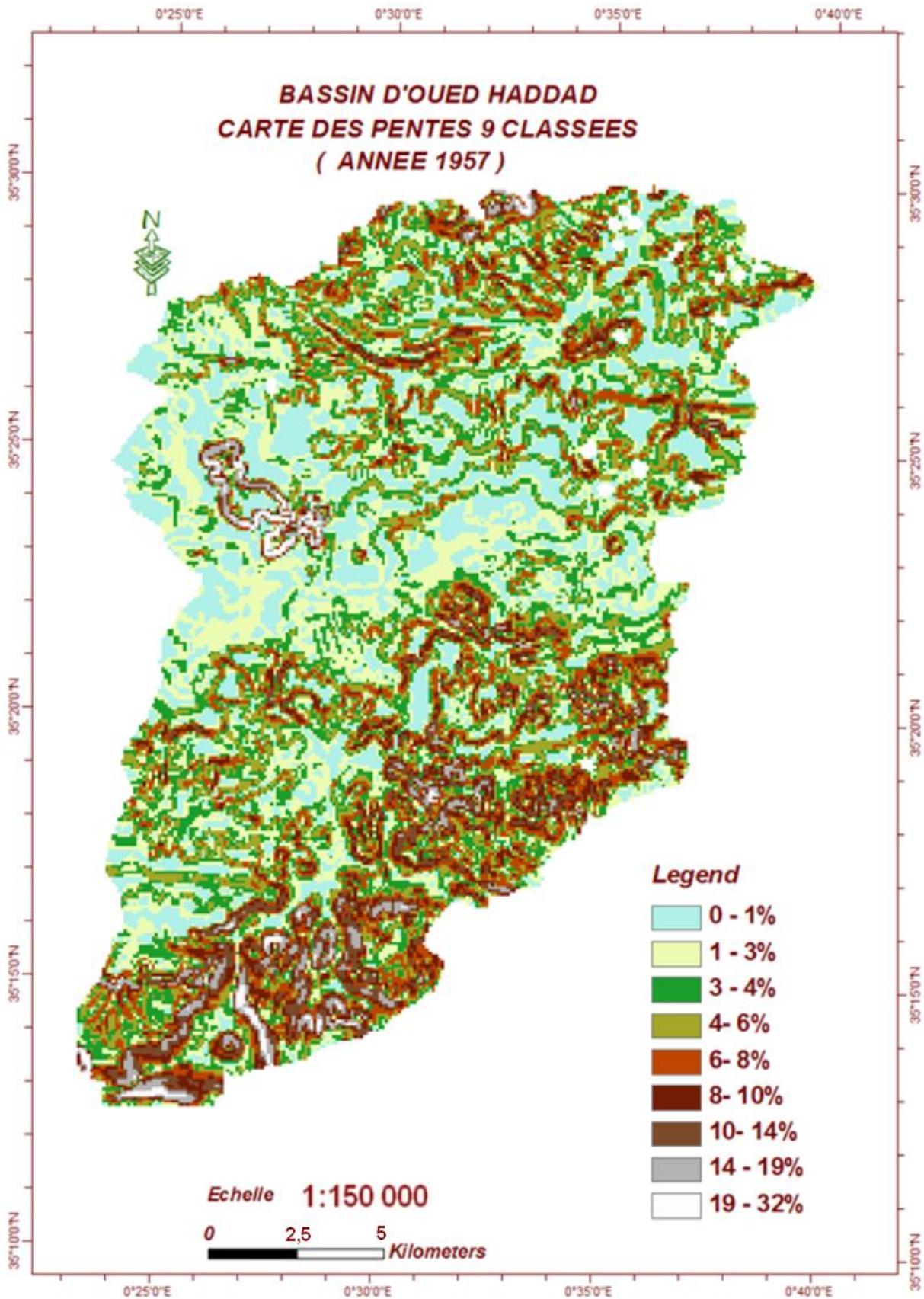


Figure 37 : Carte des pentes ( 9 classes ) du bassin de Oued Haddad ( année 1957 )

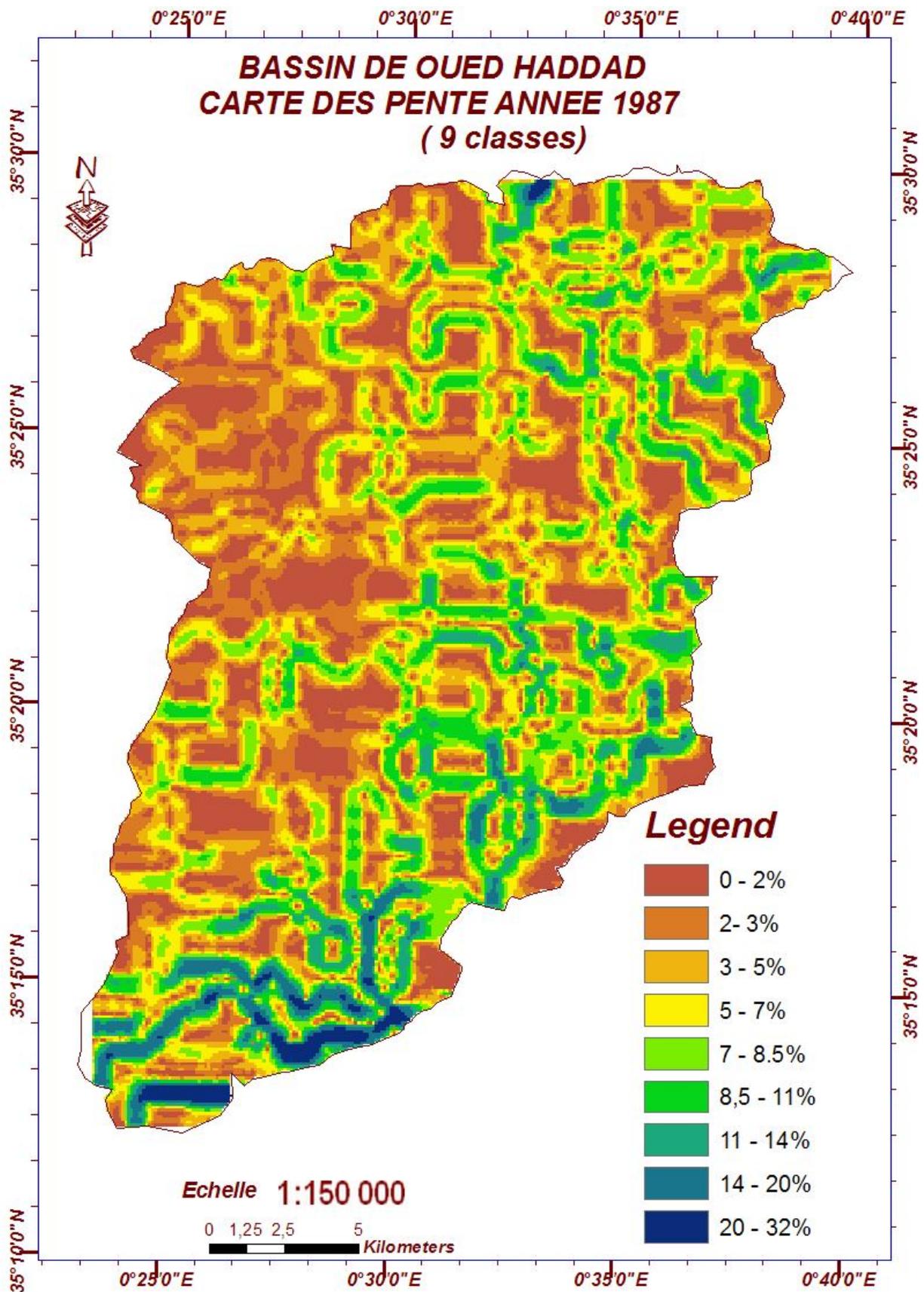


Figure 38 : Carte des pentes ( 9 classes ) du bassin de Oued Haddad ( année 1987 )

## **IV -5 .1 Interprétation des classe des pentes**

### **IV -5 .1.1 Carte de 9 classes**

#### **Classe1 : de 0 à 2%**

La surface du terrain correspondant à cette classe n'est pas inclinée. En général l'inclinaison de <1% n'entraîne pas de danger d'érosion , de 1 à 4% inclinaison est de très faible à faible .

#### **Classe 2 : de 2 à 3%**

Le relief correspondant à cette classe de pentes a une inclinaison variant de très faible à faible. les pentes des paysages ondulés des bassins, les hauts plateaux ondulés peu ravinés et les terrasses élevées du paysage jurassique faiblement ravinées. L'utilisation agricole sur de vastes superficies y est prédominante .

#### **Classe 3 : inclinaison de 3 à 5%**

Les régions de relief peu incliné correspondant à la classe 3 n' ont qu'une faible aptitude à l'érosion car la proportion d'argile y est faible , mais les sols sableux à glaiseux- argileux, répandus dans la région et correspondant à cette classe de pentes sont déjà en danger d'érosion . L'aptitude à l'érosion est augmentée du fait de la mise en culture et de l'absence d'une couverture végétale. Dans cette classe l'érosion régressive y est possible.

#### **Classe 4 : de 5 à 7%**

Les pentes d'inclinaison moyenne et à une augmentation du danger d'érosion. La culture étendue sur des sols sableux et glaiseux-argileux en particulier, augmente beaucoup l'aptitude à l'érosion.Les sols des anciennes terrasses en majorité glaiseux-

argileux sur des roches en place constituées de marnes , sont ainsi fortement érodables.

**Classe 5 : de 7 à 8.5 %**

Inclinaison est moyenne ,les sols glaiseux- sableux sont déjà soumis à un danger d'érosion moyen sous les conditions naturelles.

**Classe 6 : de 8.5 à 11%**

Les zones du relief correspondant à cette classe sont en principe soumises à un danger d'érosion important. L'agriculture n'est plus possible sans que soient prises des mesures pour maintenir les sols, inclinaison moyenne à forte, sont réservées à les forêts .

**Classe 7 : de 11 à 14 %**

Les réseaux hydrographiques ont fortement incisés le sous- sol et il subsiste des bancs de grès, de grès-calcaire, de calcaire, de dolomies et des conglomérats du jurassique supérieur ; des cuestas se sont formées. Le paysage de marnes septentrionales facilement délayables./ Les zones d'accumulation sont découpées par de nombreuses et profondes ravines.

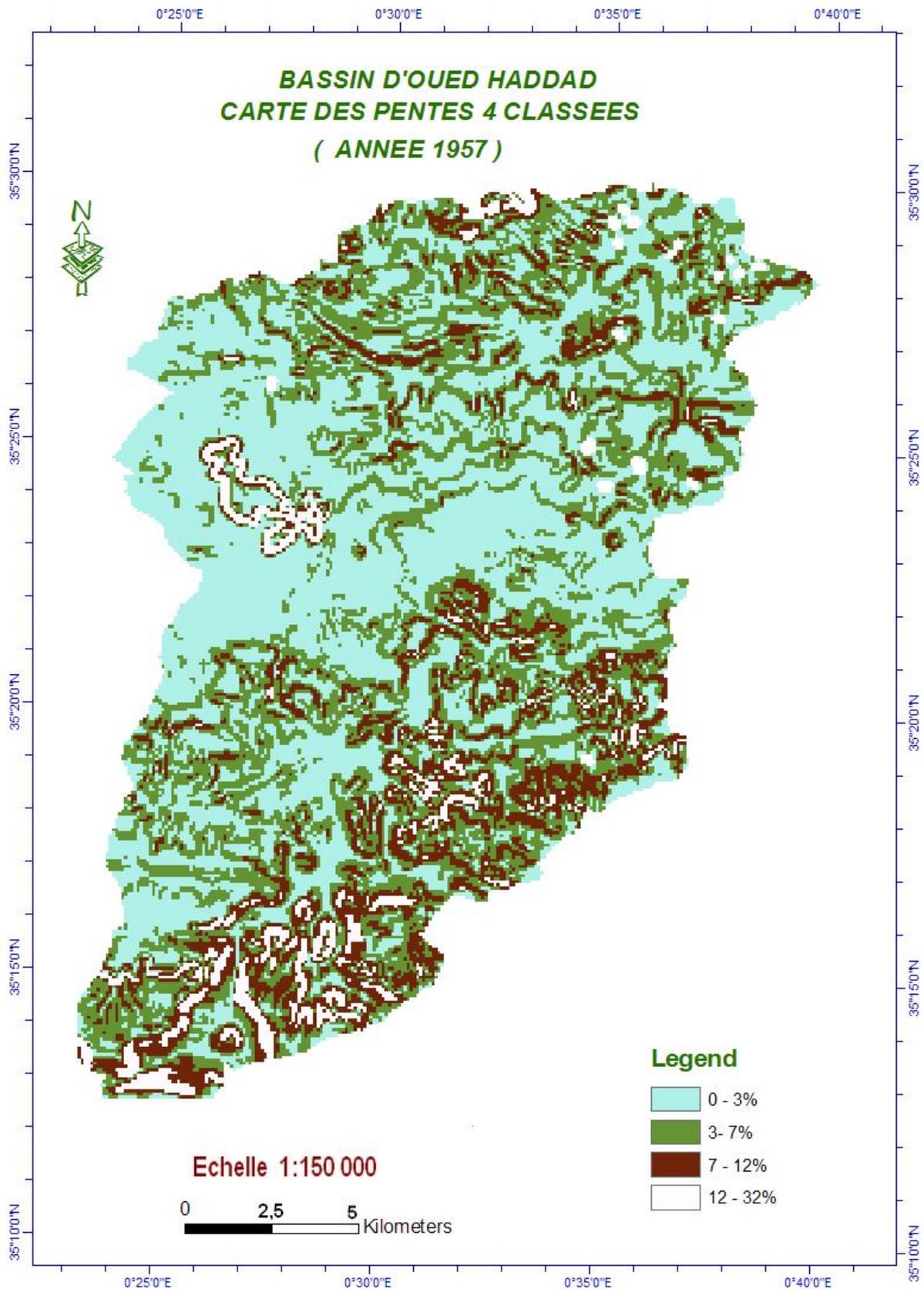
**Classe 8 : de 14 à 20%**

les pente sont fortement inclinées, ces superficies sont seulement réservées à l'économie pastorale et forestière. , il y existe un danger d'érosion important.

**Classe 09 : de 20 à 32 %**

Le relief varie de très fortement incliné à raide. Le danger d'érosion et de glissement y est important. Les pentes variant de très inclinées à raides , des réseaux hydrographique ( des oueds et des ravelines) dans le paysage de marnes septentrionales, doivent absolument être stabilisées et exigent des mesures adaptées pour maintenir les sols .

Pour pouvoir données des zone qui indique un degré danger d'érosion ,le travail a été refaire pour avoir 4 classe des pentes pour les deux périodes (voir figure 39 et 40 )



**Figure 2 : Carte des pentes ( 4 classes ) du bassin de Oued Haddad ( année 1957 )**

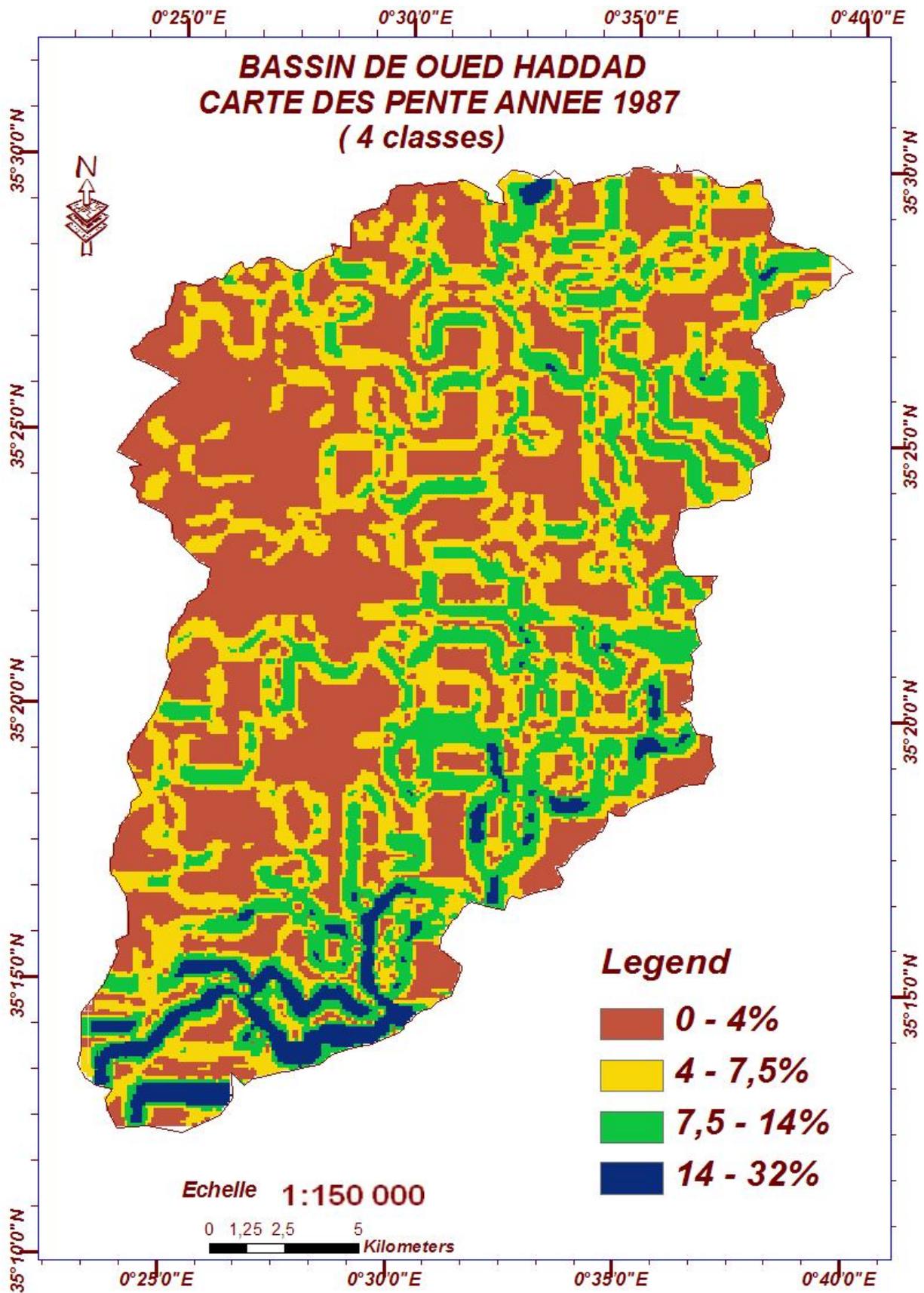


Figure 40 : Carte des pentes ( 4 classes ) du bassin de Oued Haddad ( année 1987 )

### **IV -5 .1.1 Carte des pentes de 4classes**

Pour pouvoir délimiter les zones en leur attribuant un degré de priorité exprimé en quatre (4) classes qui s'appuie sur les cartes d'inclinaison des pentes et a été faite d'après des valeurs-limites généralement valables pour l'utilisation des sols et lutte contre l'érosion , (figures 28 et 29 )

#### **Classe 1 : Erosion faible (de 0 à 4% )**

En général pas de danger d'érosion dans un système d'utilisation normale du sol.

#### **Classe 2 : Erosion moyen (de 4 à 7,5 % )**

Le danger d'érosion est moyen et peut être plus grave dans le cas de la mauvaise utilisation de sol sur tout dans le domaine agricole , il faut alors prendre des mesures techniques et biologiques pour faire face à ce danger d'érosion .

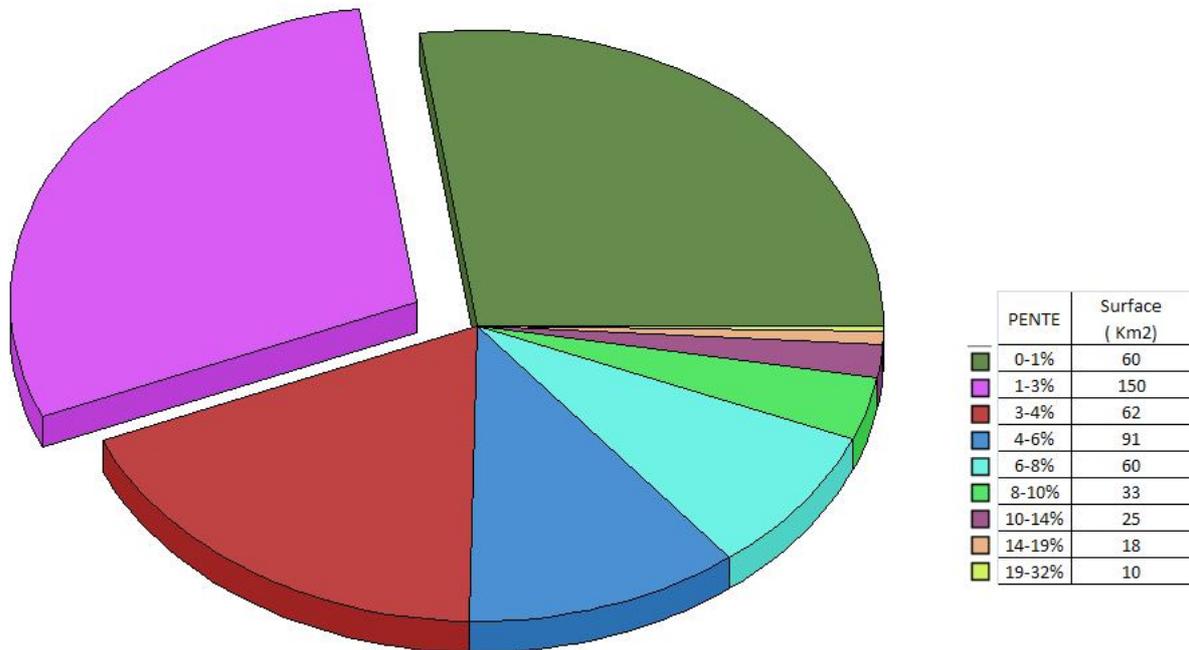
#### **Classe 3 : Erosion élevé ( de 7,5 à 14% )**

Dans ce cas il existe un danger d'érosion important ,qui nécessite alors des mesures de protection efficaces.

#### **Classe 4 : Erosion très élevé ( de 14 à 32 % )**

Cette classe varie de très forte inclinaison à raide le danger d'érosion et de glissement y est important . Le danger d'érosion est tel que tout défrichage ou trouées dans la couverture végétale est à éviter.

( Année 1957 )  
Répartition de la pente en fonction de la surface  
de bassin de Oued Haddad



( Année 1987 )  
Répartition de la pente en fonction de la surface  
de bassin de Oued Haddad

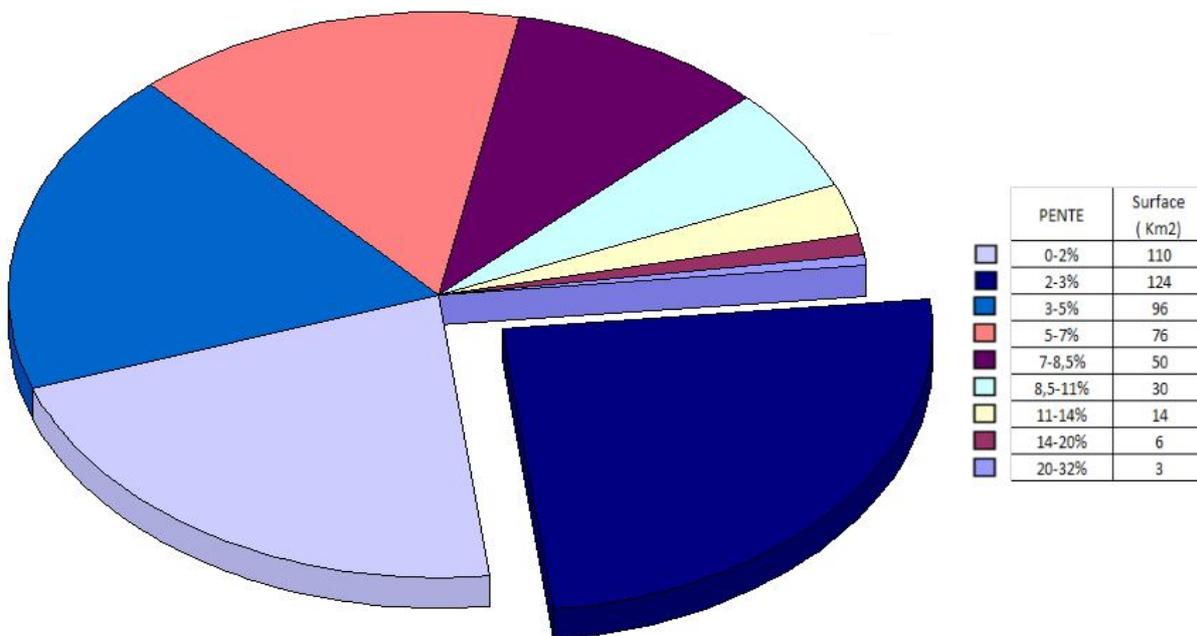


Figure 41 :Répartition de la pente dans le bassin de Oued Haddad suivant la surface

**Tableau 1: Répartition de la surface par apport au pentes ( Année 1957 )**

Année 1957

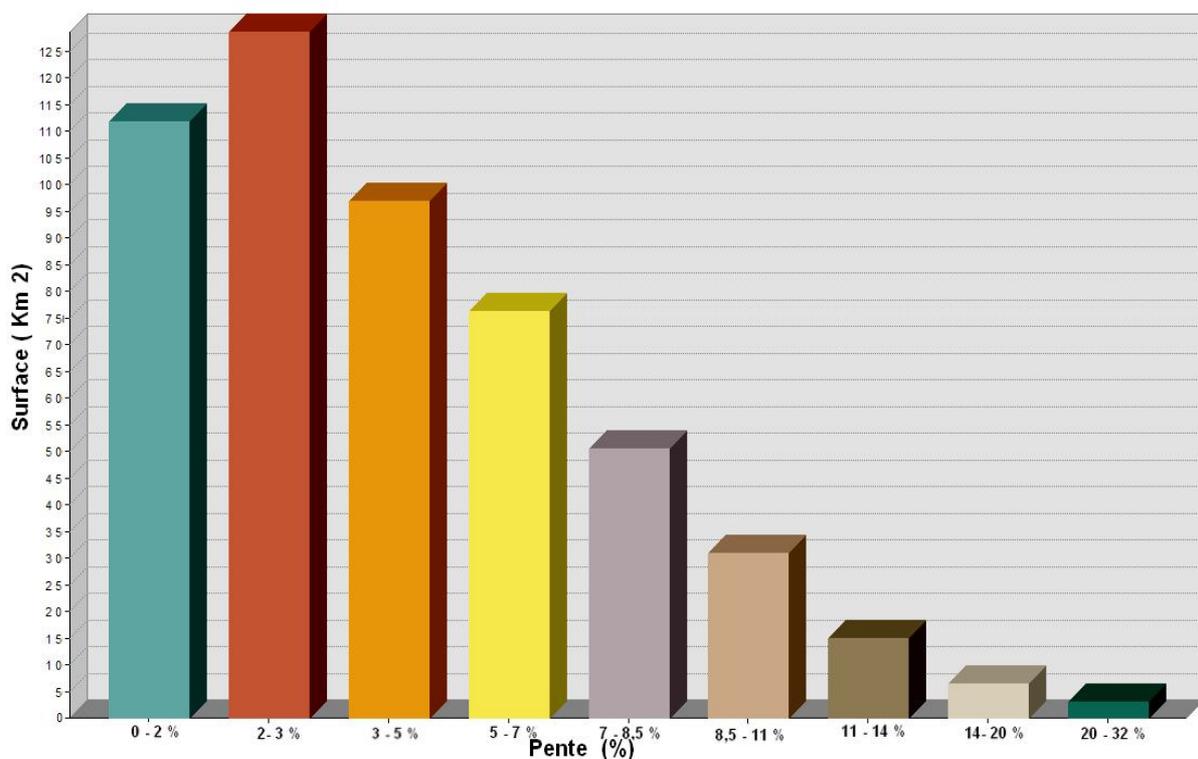
PENTE	Surface ( Km2)	% de surface ( Km2 )
0-1%	85	17
1-3%	110	21
3-4%	90	18
4-6%	75	15
6-8%	55	11
8-10%	37	7
10-14%	24	5
14-19%	20	4
19-32%	13	2

On représente ce résultat dans un graphe la surface en fonction des pentes

$$S=f(I)$$

S : surface en Km2

I : pente en %

**Graphe 1: Graphe surface en fonction de la pente : S = f( I ) Année 1987**

**Tableau 2: Répartition de la surface par apport au pentes ( Année 1957 )**

Année 1987

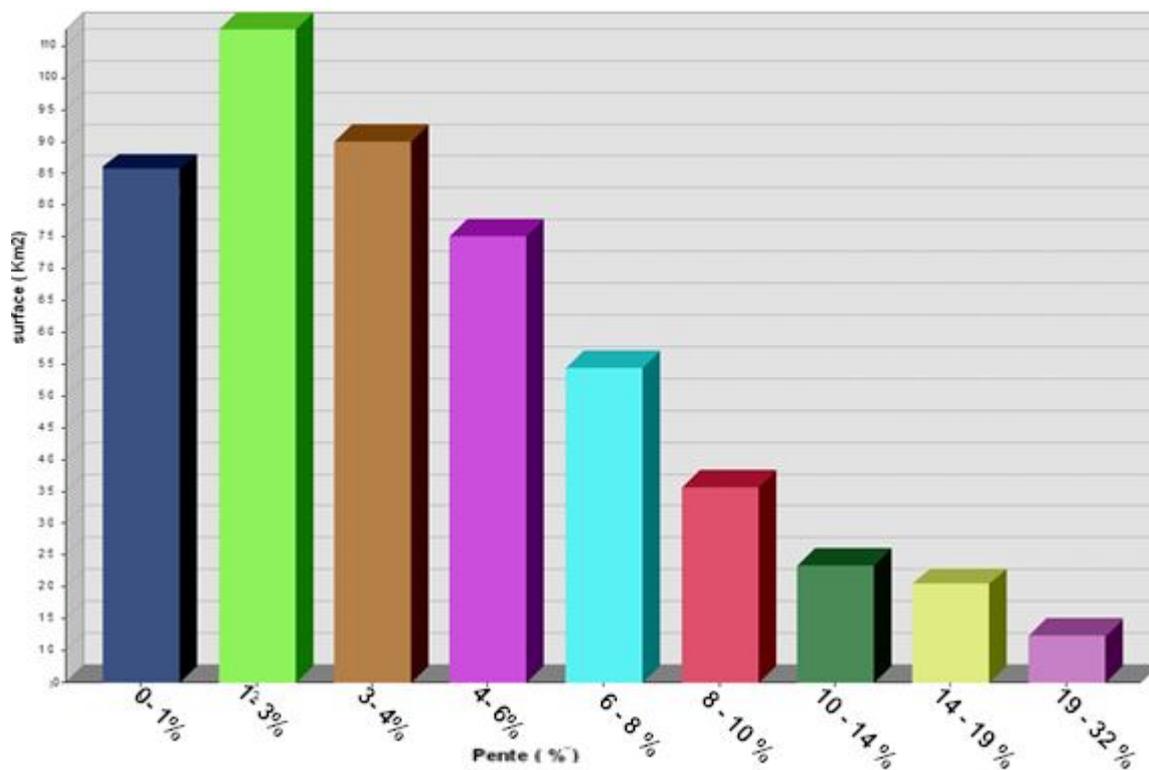
PENTE	Surface ( Km2)	% de surface ( Km2 )
0-2%	110	22
2-3%	124	24
3-5%	96	19
5-7%	76	15
7-8,5%	50	10
8,5-11%	30	6
11-14%	14	2,5
14-20%	6	1
20-32%	3	0,5

On représente ce résultat dans un graphe la surface en fonction des pentes

$$S = f(I)$$

S : surface en Km<sup>2</sup>

I : pente en %

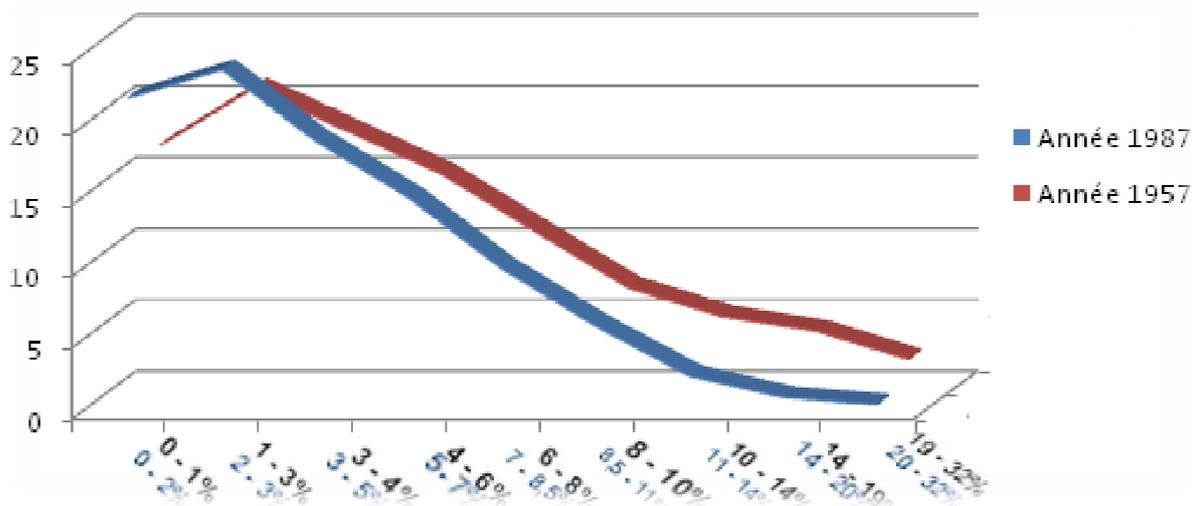


**Graphe 2: Graphe surface en fonction de la pente :  $S = f(I)$  Année 1957**

## IV -6 Conclusion comparative

Les différentes classes des pentes correspondent aux classes du danger d'érosion ; par une comparaisent entre les deux période 1957 et 1987 on a remarqué que une modification impotente sur l' échelle du bassin de l'oued Haddad a été établi dans les 30 ans ,

Dans les graphes des surfaces en fonction des pentes( graphe N°3 ) et le graphe comparatif entre les deux périodes ( 1957 et 1987 ) sur l'échelle du bassin de Oued Haddad ,



Graph 3 : Graphe de comparatif des deux périodes ( 1987,1957 )

en remarque que la zone nord ( zone des marnes ) a un risque plus élevé en érosion que le celle du sud du bassin.et le relief a subit un grand changement dans la répartition des pentes, ou le changement est remarquable des pentes de 12 % a 1957 après 30an à 7 % . La pente est un facteur moteur de l'érosion hydrique , a cause de la sensibilité du marne et ses caractéristiques physiques et sa réaction chimique avec les eaux des pluies ,et manque de couvert végétal dense, a cause des effondrement

et des glissements des terrains. La terre a été transportée par l'eau dans les châabas et les oueds pour attirer dans les zones de forme concave ou transportée jusqu'à la cuve du barrage de SMB , cela est très remarquable dans la répartition des pentes . la partie sud du bassin a eu un faible changement a cause de la forêt qui est moins dense et un couvert végétal ,

Ceci nous permet de dire que les reliefs de la nature évoluent différemment sous des conditions climatiques , topographiques ,ou même humaines identiques. Cette différence est liée surtout à l'action conjugués de plusieurs facteurs à la fois mais également à la nature du relief lui-même et au type d'érosion qui l'attaque .

# CONCLUSION GENERALE

## Conclusion Générale

---

### V. Conclusion Générale

Notre étude a porté sur l'impact du MNT (Modèle Numérique Terrain) pour l'évaluation de l'érosion, et le traitement des données extraites par la digitalisation des courbes topographiques dans des cartes topographiques de périodes différentes (années 1957 et 1987) et le traitement de l'image satellitaire SPOT année 2006.

On a transformé ces informations à :

- ▶ Un modèle numérique de terrain fondé sur l'exploitation des cartes topographiques des années 1987 et 1957.
- ▶ Des cartes des pentes des années 1987 et 1957.
- ▶ Une carte d'occupation de sol.

Les photos aériennes et l'image satellitaire donnent un bon accord avec les cartes des pentes.

L'évolution du relief est très remarquable entre les deux périodes, on peut analyser visuellement la transformation du relief en altitude et en forme. À partir de la situation du bassin de Oued Haddad présentée au chapitre II, on note en premier lieu que les caractéristiques du milieu prévoient l'existence d'une érosion plus ou moins remarquable. Le gradient de la pente est un peu fort dans la partie de sud du bassin ainsi que la partie nord.

En raison des fortes pentes dans les régions du Nord, les variations sont plus élevées dans les altitudes et les courbes de niveau que celles observées dans le centre et le sud du bassin.

Le traitement de l'image satellitaire de l'année 2006, nous a aidé à étudier le couvert végétal et de son évolution ainsi qu'à analyser l'évolution de l'occupation des sols dans le bassin.

À partir des cartes des pentes on peut délimiter les régions qui ont été touchées par l'érosion et le relief topographique à évaluer sur une échelle spatiale.

Les différentes classes de pentes correspondent aux classes du danger d'érosion. La cartographie pour le bassin de Oued Haddad montre que l'ablation maximale a lieu dans les entailles pour des zones de forte pente. Les positions du relief moins inclinées des surfaces agricoles présentent peu d'ablation.

## Conclusion Générale

---

Pour mieux contrôler le phénomène de l'érosion, il est important de savoir quelle est la limite entre le ruissellement et l'érosion pour pouvoir diminuer l'énergie d'écoulement. Nous verrons donc le comportement hydrologique du ruissellement et de l'érosion.

La différence de MNT entre les deux périodes s'explique par les différences physico-chimiques du sol et l'énergie de ruissellement qui est le facteur moteur dans l'affouillement des ravines et la transformation du relief.

### Recommandation :

D'après la carte d'occupation de sol et les cartes des pentes :

✓ Une petite partie de ces zones (10 km<sup>2</sup>) est également touchée par l'érosion en nappe. Dans ce cas, la mise en place de cordons de pierre est recommandée.

Les zones de matorral sont au Sud – Est du bassin qui nécessitent des interventions (82 km<sup>2</sup>). Presque toutes ces terres sont susceptibles au ravinement et nécessitent des techniques antiérosives telles que :

- ✚ l'implantation de seuils dans les ravines;
- ✚ la plantation d'opuntia;
- ✚ la revégétalisation;

✓ Les sols dégradés et les forêts de faible densité sont respectivement la zone Sud du bassin nécessitant des interventions ( 90 km<sup>2</sup>). Ces interventions sont principalement destinées à contrer le ravinement et l'érosion en nappe.

Elles englobent la plantation d'opuntia et d'arbres fruitiers, la revégétalisation, le reboisement, la mise en place de cordons de pierres et l'implantation de seuils dans les ravines.

✓ Les prairies et pâturage sont dans la zone nord du bassin nécessitant des interventions antiérosives ( 200 km<sup>2</sup>). Ces interventions sont principalement destinées à contrer le ravinement et l'érosion en nappe. Elles englobent la plantation d'opuntia et d'arbres fruitiers, la revégétalisation, le reboisement et l'implantation de seuils dans les ravines. Il faut que les paysans pratiquent une gestion adéquate de leurs terres.

Finalement, les zones de steppes, qui occupent moins de 1 km<sup>2</sup> du bassin, nécessitent de la plantation d'opuntia, de la revégétalisation, du reboisement et l'implantation de seuils dans les ravines.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIE

---

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIE

- **ACHITE M.** Approche statistique d'évaluation du transport solide dans le bassin-versant de l'oued Mina (Nord-Ouest algérien). In : Colloque international sur l'eau dans le bassin méditerranéen, 10–13 octobre 2002, Monastir (Tunisie). 2002 : 894-9
- **ACHITE M.** Analyse multivariée de la variable « transport solide ». Cas du bassin-versant de l'oued Mina. Thèse de magister, École nationale supérieure de l'hydraulique, Blida, Algérie, 1999, 203 p.
- **BENKHALED A., REMINI B.** Analyse de la relation de puissance : débit solide–débit liquide à l'échelle du bassin-versant de l'oued Wahrane (Algérie). Rev Sci Eau, 2003 ; 16 : 356.
- **BOBEE B.** Éléments de statistiques. DEA national d'hydrologie, université P. et M. Curie, laboratoire de géologie appliquée, 1991, 156 p.
- **BROOKS K.N., FFOLIOTT P.F., GREGERSEN H.M. et THAMES J.L.** Hydrogeology and the management of watershed. Iowa state univ. press, Ames, Iowa, 1991, 574 p.
- **BUSSIERE M.** L'érosion des sols cultivés en France. Mém. D.E.S.S., Univ. Picardie, 1996, 136 p.
- **CASTANY G.** Principes et méthodes de l'hydrogéologie, Dunod, 1979; 236 p.
- **COSANDEY C.** Recherches sur le bilan de l'eau dans l'ouest du Massif armoricain. Thèse de doctorat d'État, université de Paris IV, 1984, 515 p.
- CLC2006 technical guidelines, Documentation européenne et rapports édités par l'Agence Européenne pour l'Environnement ,EEA Technical report No 17/2007,
- **DAGNELLIE P.** In : Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques. Gembloux (Belgique) : Les presses agronomiques de Gembloux, 1992 ; 463 p.
- **DEMMAK A.** Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de doctorat, Paris, 1982, 323 p.
- **DEMMAK A.** Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de docteur-ingénieur, Paris, 1982, 323 p.
- **DRAPER N. R., SMITH, H.** Applied Regression Analysis (Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics), 2nd ed. Wiley, New York. 1982, 416p.
- **DUBREUIL P., GUISCAFRE J.** La planification du réseau hydrométrique minimal. Cah. Orstom Sér Hydrol. 1971, 8 : 3-38.
- **FOURNIER F., HENIN S.** In : Étude de la forme de la relation existante entre l'écoulement mensuel et le débit solide mensuel. Bari. Association internationale des sciences hydrologiques (AIHS). 1962, 353-8.
- **FAO,1990 :Conservation des sols et des eaux dans les zones semi-arides Bulletin.**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIE

---

- **GRECO J.** L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie, MARA.Alger. 1966, 292 P
- **HERRY M.** Sichingabula Problems of sedimentation in small dams in Zambia. Human Impact on Erosion and Sedimentation. Proceedings of the Robot Synosuin, 1997 ; 245 : 251-9.
- **HEUSCH B.** L'érosion du pré-Rif occidental : une étude quantitative de l'érosion hydrique dans les collines marneuses du Pré-Rif occidental. Ann. Recherches Forest., Maroc, 1970 ; 12 : 9-176.
- **HEUSCH, B.** (1970) L'érosion du Prérif occidental. *Annales de la Recherches Forestières au Maroc* 12, 9-176. Rabat.
- **HUMBERT, J.** Intérêt de la densité de drainage pour régionaliser les données hydrométriques en zone montagneuse. In: Hydrology in Mountainous Regions. 1— Hydrological Measurements; The Water Cycle (ed. par H. Lang & A. Musy) (Proc. deux Lausanne Symposia, août 1990), 373-380, IAHS Publ. no 193.
- **KASSOUL M., ABDELGADER A., BELORGEY M.** Caractérisation de la sédimentation en Algérie. Rev. Sci. Eau; 1997 ; 3 : 339-58.
- **Lahlou A.** Envasement des Barrages au Maroc. Edition Wallada, Casablanca, Maroc, 1994, 286 p.
- **MEDDI M., KHALDI A., MEDDI H.** Étude du transport solide dans le nord de l'Algérie. In : Summer W, Klaghofer E, Zang W, eds. Proceedings of an International Symposium held at Vienna from « Modelling Soil Erosion, Sediment Transport and Closely Related Hydrological Processes », 13 to 17 July 1998. IAHS publication n° 249. Wallingford (Royaume-Uni): International Association of Hydrological Sciences (IAHS), 1998. 393-7.
- **MEDDI M, OULD-CHEIKH M, MEDDI H.** Étude du transport solide de quatre bassins-versants de l'ouest de l'Algérie. Rev Maroc Génie Civil 1999 ; 79 : 41-50.
- **MEDDI M.** Écoulement moyen annuel dans le nord de l'Algérie (esquisse cartographique). Premier colloque maghrébin sur l'hydraulique. Sidi-Feredj (Alger), 16-17 mai 1995 : 280-8.
- **MEDDI M.** Étude de l'écoulement moyen annuel dans le nord de l'Algérie : Proposition de formules d'estimation du débit moyen annuel. Rev Algérie Équipement 1996(8) : 5-8.
- **MEDDI H., TAHRI F.** Etude du transport solide dans le bassin versant de Kebir Rhume). *Mém. d'Ing. d'Etat. Université de Blida, 1993.*
- **MEDDI M.** Hydro-pluviométrie et transport solide dans le bassin-versant de l'Oued Mina (Algérie). Thèse de doctorat, université Louis Pasteur, Strasbourg, 1992, 285 p.
- **REHAILIA M.** Modèles linéaires statistiques, Office des publications universitaires (OPU), 1995 ; 461 p.
- **REMY-BERZENCOVITCH E.** Nouvelle méthode de calcul du débit solide des cours d'eau. Österreichische Wasser-Wirtschaft, 1952 : 59-66.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIE

---

- **SAADAoui M.** Erosion et transport solide en Tunisie: impact sur l'infrastructure. In: Colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages. Alger, 1-3 décembre 1991. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Alger : 18-43.
- **SAIDI A.** Érosion spécifique et prévision de l'envasement. In : Colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages. (Alger, 1–3 décembre 1991). Agence nationale des ressources hydrauliques, 1991 : 204-26.
- **SAIDI A.** Erosion spécifique et prévision de l'envasement. In: *Colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages* (Alger, 1-3 décembre 1991), Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, 1991: 204-226.
- **STEEGEN A., GOVERS G., BEUSELINCK L., NACHTERGAELE J., TAKKON I., POSEN J.** Variations in sediment yield from an agricultural drainage basin in central Belgium. IAHS publication n° 249, 1998 : 185.
  
- **TERFOUS A., MEGHNOUFI A., BOUANANI A.** Étude du transport solide en suspension dans l'oued Mouilah (nord-ouest algérien). Rev. Sci. Eau, 2001 ; 14 : 173-85.
- **WALLING D. E.** Limitation of the rating curve technique for estimating suspended sediment loads, with particular reference to British rivers - Erosion and solid matter transport in Inland water. Proceedings of the Paris Symposium. July 1977 ; 122 : 34–48.
- **WICHMEIER W.H. and Smith D.D.** A universal soil-loss estimating equation to guide conservation farm planning. 7 th Int. Congress Soil Sc., Vol I, 1960 : p. 418-425.
- **WICHMEIER W. H.** Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning agriculture Hand-Book. N° 537, USA ,1978.
- **ARABI M. ,ASLAA T.** Etats de dégradations des banquettes dans le massif centrale de Kabylie ( algérie).bulletin réseau érosion n°18 : l'eau et la fertilité des sols, 1998 : 372-387.
- **ARABI M. , KEDDID O. ,BOUROUGAAL L., ASLA T.,ROOSE E.** Bilan de l'enquête sur la défense et restauration des sols(DRS) en Algérie. Revue de sécheresse special erosion, volume 15, numéro1 , 2004 : 87-96.
- **ACHITE M., TOUAIBIA B.** Essai de régionalisation de l'érosion hydrique en zone semi- aride. Cas du bassin versant de l'oued Mina ( nord ouest Algérie); Actes du colloque international sur l'eau, Chlef, 05 et 06 février 2002: 287- 295.
- **CROS-CAYOT.** Distribution spatiale des transferts de surface à l'échelle du versant. Contexte armoricain. Thèse de Docteur de l'ENSAR, 1996, 218 p.
- **CHEBBANI R.,DJELIL K.,ROOSE E.** Etude des risques d'érosion dans le bassin versant Isser, Algérie.Bulletin Réseau Erosion 19, 1999: 85-95
- **DEMMAK A.** Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de docteur ingénieur. Université Pierre et Marie Curie ; 1982, 323 p.
- **DUTIL,**1984 : L'érosion en grande culture, revue technique des agriculteurs dynamique, N°169 ,France .

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIE

---

- **FAO.** Conservation des sols et des eaux dans les zones semi-arides bulletin
- **FOURNIER F.** Climat et érosion : la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques.PUF,Paris,France, 1960.
- **FOURNIER F.** et **HENIN IN MEDDI.M** et **ACHITE .M**, 2004 : Essai de quantification du transport solide de bassin de Oued Haddad (nord –ouest Algérien ). Sécheresse n°14 : 17-25.
- **HEUSCH,1970:** Etude quantitative dans les collines marneuses.Annales recherches forestières su maroc 12 p9-176.
- **HEUSCH,1983:** Etude de l'érosion et des transports solides en zone semi-aride.bilan des connaissances et synthèse bibliographique: Recherche Bibl.sur l'afrique du Nord.SOGREAH;PNUD;Projet RAP/80/011.P32
- **MOYER et PETER.** Formulas for bad-load transport.proceding of second meeting of IAHR,Stickholm ,1934
  
- **MEDDI M.** Etude du transport solide dans le bassin versant de l'oued Ebda (Algérie). Bultion,Stuttgart,1999, P 168-183.
- **ROOSE E.** Dix années de mesures de l'érosion et du ruissellement au Sénégal. Agronomie tropicale(France), 22(2),1967 , P123-152
- **ROOSE E.** La gestion conservatoire de l'eau, et de la fertilité des sols: Une stratégie nouvelle de la lutte anti-érosive pour le développement durable .Revue de sécheresse spécial érosion, 15(1), 2004. P5-9.
- **REMINI B.,HALLOUCHE W.** La sédimentation dans les barrages algériens. LHB n°1,2004,eau et environnement .2P.
- **TOUAIBIA B.** Erosion -Transport solide-envasement de barrages.cas du bassin versant MINA, Thèse de Doctorat d'état, INA, Alger,2000.
- **TOUAIBIA B., GOMER D., AIDAOUI A., ACHITE A.,**2001 : Quantification et variabilité temporelles de l'écoulement solide en zone semi aride, de l'Algérie du Nord, journal des science hydrologiques, 46 (1) :41-53.
- **SARI D.** L'Homme de l'érosion dans l'Ouarsenis (Algérie) .Editions S.N.E.D . Alger. 1977, 552 p.
- **SARI D.** L'aggravation de l'érosion dans l'Ouarsenis (Algérie). in la Géographie internationale. University of Torento.TI, 1972 : 87-9.
- **ROCHE M.** Hydrologie de Surface .Editions Gauthier-Villards, Paris, 1963: 357-375.
- **HUG M.** Mécanique Des Fluides Appliquée .Editions EYROLLES. PARIS,1975. 1195 p.
- **BENHAMICHE N.** Etude des transports solides dans le bassin versant de l'oued ISSER. Thèse d'ingénieur I.N.A ,1982.
- **MEUNIER M.** Essai de synthèse des connaissances en érosion et hydraulique torrentielle, La houille blanche N°5,1989 : 375 .

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIE

---

- ➔ **Zermani A.** Apport des SIG à la reconnaissance à moyenne échelle des facteurs d'écoulement et de transfert des nitrates .Thèse Docteur de l'ENGREF Spécialité Sciences de l'Eau. Ecole Nationale du Génie Rural des eaux et forêts, Paris, 1998, 380 p.
- ➔ **OUATTARA TIDIANE, JEAN-MARIE M. DUBOIS, ET Q. HUGH J. MEH-SAFER .** Un nouveau modèle d'érosion hydrique pour les milieux semi-arides de forte énergie à partir d'images multi sources et de données auxiliaires. Télédétection, vol. 3, n° 2-3-4, 2003 : 151– 63.
- ➔ **Douaoui A., Hartani T., Lakehal M.** La salinisation dans la plaine du Bas-Cheliff : acquis et perspectives. Economies d'eau en Systèmes Irrigués au Maghreb. Deuxième atelier régional du projet Sirma, Marrakech, Maroc, 29-31 mai 2006.
- ➔ **ACHITE M., TOUAIBIA B., OUILLON S .**Erosion hydrique en Algérie du Nord : Ampleur, Conséquences et Perspectives. 14th International Soil Conservation Organization Conference. Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments, Marrakech, Morocco, May 14-19, 2006.
- ➔ **RIVAS R.** Télédétection et risques d'érosion hydrique en conditions climatiques et topographiques modérées. Mémoire. diplôme d'études supérieures spécialisées de télédétection, méthodes et applications. .groupement pour le développement de la télédétection aérospatiale école nationale des sciences géographiques,1997.
- ➔ **Agence Européenne pour l'Environnement, site de téléchargement de CORINE Land Cover Europe**  
[www.ifen.fr](http://www.ifen.fr), rubrique Base de données > Occupation des sols

## ANNEXE

### La nomenclature du programme de CORINE Land Cover « CLC »

Une légende avec des codes couleurs standards a été définie pour les trois niveaux de la Nomenclature.

#### 821 Niveau 1

Code	Libellé français	Libellé anglais		Rouge	Vert	Bleu
1	Territoires artificialisés	Artificial surfaces		230	000	077
2	Territoires agricoles	Agricultural areas		255	255	168
3	Forêts et milieux semi-naturels	Forest and semi natural areas		128	255	000
4	Zones humides	Wetlands		166	166	255
5	Surfaces en eau	Water bodies		000	204	242

#### 822 Niveau 2

Code	Libellé français	Libellé anglais		Rouge	Vert	Bleu
11	Zones urbanisées	Urban fabric		230	000	077
12	Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication	Industrial, commercial and transport units		204	077	242
13	Mines, décharges et chantiers	Mine, dump and construction sites		166	000	204
14	Espaces verts artificialisés, non agricoles	Artificial, non-agricultural vegetated areas		255	166	255
21	Terres arables	Arable land		255	255	168
22	Cultures permanentes	Permanent crops		230	128	000
23	Prairies	Pastures		230	230	077
24	Zones agricoles hétérogènes	Heterogeneous agricultural areas		255	230	166
31	Forêts	Forests		128	255	000
32	Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée	Scrub and/or herbaceous vegetation associations		204	242	077
33	Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation	Open spaces with little or no vegetation		230	230	230
41	Zones humides intérieures	Inland wetlands		166	166	255
42	Zones humides maritimes	Maritime wetlands		204	204	255
51	Eaux continentales	Inland waters		000	204	242
52	Eaux maritimes	Marine waters		000	255	166

## 823 Niveau 3

Code	Libellé français	Libellé anglais	Rouge	Vert	Bleu
111	Tissu urbain continu	Continuous urban fabric	230	000	077
112	Tissu urbain discontinu	Discontinuous urban fabric	255	000	000
121	Zones industrielles et commerciales	Industrial or commercial units	204	077	242
122	Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés	Road and rail networks and associated land	204	000	000
123	Zones portuaires	Port areas	230	204	204
124	Aéroports	Airports	230	204	230
131	Extraction de matériaux	Mineral extraction sites	166	000	204
132	Décharges	Dump sites	166	077	000
133	Chantiers	Construction sites	255	077	255
141	Espaces verts urbains	Green urban areas	255	166	255
142	Equipements sportifs et de loisirs	Sport and leisure facilities	255	230	255
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation	Non-irrigated arable land	255	255	168
212	Périmètres irrigués en permanence	Permanently irrigated land	255	255	000
213	Rizières	Rice fields	230	230	000
221	Vignobles	Vineyards	230	128	000
222	Vergers et petits fruits	Fruit trees and berry plantations	242	166	077
223	Oliveraies	Olive groves	230	166	000
231	Prairies	Pastures	230	230	077
241	Cultures annuelles associées aux cultures permanentes	Annual crops associated with permanent crops	255	230	166
242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes	Complex cultivation patterns	255	230	077
243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation	230	204	077
244	Territoires agro-forestiers	Agro-forestry areas	242	204	166
311	Forêts de feuillus	Broad-leaved forest	128	255	000
312	Forêts de conifères	Coniferous forest	000	166	000
313	Forêts mélangées	Mixed forest	077	255	000
321	Pelouses et pâturages naturels	Natural grasslands	204	242	077
322	Landes et broussailles	Moors and heathland	166	255	128
323	Végétation sclérophylle	Sclerophyllous vegetation	166	230	077
324	Forêt et végétation arbustive en mutation	Transitional woodland-shrub	166	242	000
331	Plages, dunes et sable	Beaches, dunes, sands	230	230	230
332	Roches nues	Bare rocks	204	204	204
333	Végétation clairsemée	Sparsely vegetated areas	204	255	204
334	Zones incendiées	Burnt areas	000	000	000
335	Glaciers et neiges éternelles	Glaciers and perpetual snow	166	230	204
411	Marais intérieurs	Inland marshes	166	166	255
412	Tourbières	Peat bogs	077	077	255
421	Marais maritimes	Salt marshes	204	204	255
422	Marais salants	Salines	230	230	255
423	Zones intertidales	Intertidal flats	166	166	230
511	Cours et voies d'eau	Water courses	000	204	242
512	Plans d'eau	Water bodies	128	242	230
521	Lagunes littorales	Coastal lagoons	000	255	166
522	Estuaires	Estuaries	166	255	230
523	Mers et océans	Sea and ocean	230	242	255