



# *MEMOIRE DE FIN D'ETUDES*

*Pour l'Obtention de la*

*LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUES  
GEOSCIENCES APPLIQUEES*

*Prédiction et Etude des processus et formes de l'érosion  
hydrique par application des outils de SIG et de la  
méthode de l'érosion potentielle dans la région Bou  
Adel*

*(Rif, Maroc)*

REALISE PAR: SEYAR Fatima Zahra

ENCADRE PAR: Pr. LAHRACH Abderahim (FSTF)

&

Pr. SADIKI Abdelhamid (FSDM)

Soutenu le 25 juin 2011 devant le jury composé de :

Pr. L. BENABIDAT

Président

Pr. A. LAHRACH

Encadrant

Pr. A. SADIKI

Co-Encadrant

Stage effectué à



Mémoire de fin d'études pour l'obtention de la Licence Sciences et Techniques  
Géosciences appliquées

**Nom et prénom: Seyar Fatima Zahra**

**Année Universitaire : 2010/2011**

**Titre : Prédiction et Etude des processus et formes de l'érosion hydrique par application des outils de SIG et de la méthode de l'érosion potentielle dans la région Bou Adel (Rif, Maroc).**

### ***Résumé***

La région de Bou Adel représente un couloir, une zone d'intermittence entre l'amont du bassin versant de l'Oued Ouergha et le barrage El Wahda, l'un des critères qui vont étayer le choix de la région, c'est le passage de l'Oued Ouergha à travers celle-ci, ainsi le barrage El Wahda reçoit les sédiments et se voit envasé par cette effet.

Notre bassin s'étale sur 126,8Km<sup>2</sup> et connaît plusieurs formes et processus de l'érosion hydrique, cela est lié à l'interaction entre plusieurs facteurs naturels tels la quantité des précipitations, le degrés d'inclinaison de la pente, la faible présence de couverture végétale, la nature friable de la roche, mais aussi l'intervention humaine qui rend le milieu très vulnérable à l'érosion par le défrichement des forêts et la dégradation du couvert végétal, ainsi que les techniques agricoles utilisées inadéquates.

La méthode choisie pour faire cet étude est la méthode potentielle qui permet d'hierarchiser la surface d'un bassin versant en unités distinctes selon la vulnérabilité à l'érosion et de déterminer les zones les plus fragiles potentiellement pourvoyeuse de sédiments.

Elle se base sur la cartographie thématique des facteurs de l'érosion, notamment l'Erodibilité des sols, la pente, l'occupation des sols, et la densité de couverture végétale.

Pour chaque carte, le facteur est présenté en trois classes, on attribue pour chaque classe une valeur qui correspondent aux degrés d'influence du facteur sur l'érosion dans le bassin

La carte des états érosifs a montrée que la région subit un état d'érosion moyen avec une superficie de 80,19 Km<sup>2</sup> et 63% du pourcentage totale, se répartissant sur tout le bassin au long de l'Oued et vers l'aval. Ceci montre que notre bassin a plus au moins subi une érosion moyenne due à l'accumulation de plusieurs facteurs : la nature de la pente, le couvert végétal la lithologie le degré de protection des sols.

Des pentes fortes couplées avec des terrains résistants donnent un terrain moyennement érodibles, le cas de notre bassin où la plus grande superficie répond à cet état d'érodibilité.

Les autres états se répartissent le reste de la surface totale avec 19,50 Km<sup>2</sup> et 16 % pour l'état faible qui est présenté vers l'amont et 26,90 Km<sup>2</sup> et 21% du pourcentage totale du bassin, représenté surtout sur le versant.

Les tendances générales de l'érosion obtenues, ont permis de délimiter des zones où les processus d'érosion sont très importants et risquent d'atteindre des stades irréversibles. Par conséquent, ces zones sensibles nécessitent une intervention spéciale et urgente qui peut être préventive ou corrective.

### ***Mots clés***

Bassin versant, Oued Ouergha, région de Bou Adel, cartes thématiques, facteurs de l'érosion, tendance de l'érosion, érosion en nappe, méthode potentielle, SIG.

# Tables des matières

Tables des matières .....	i
Table des figures, diagramme et tableau.....	iii
Remerciements .....	iv
Dédicace .....	v
<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
<i>I. Problématique, Objectifs, Plan de l'étude et méthodologie :</i> .....	<i>1</i>
I.1 Problématique : .....	1
I.2 Objectifs .....	1
I.3 Plan de l'étude.....	1
I.4 Méthodologie de travail .....	1
<b>CHAPITRE I° .....</b>	<b>3</b>
<b>Caractéristiques de la région de Bou Adel :.....</b>	<b>3</b>
<i>Introduction</i> .....	<i>4</i>
<b>II Caractéristique général de la région de Bou Adel.....</b>	<b>5</b>
<i>II.1 Aire, périmètre et forme</i> .....	<i>6</i>
II.1.1 Indice de compacité .....	6
<i>II.2 Caractéristiques topographiques du bassin versant de Bou Adel.....</i>	<i>7</i>
II.2.1 Relief .....	7
II.2.2 Profil au long du cours d'eau .....	7
<i>II.3 Réseau hydrographique</i> .....	<i>8</i>
<i>II.4 Précipitations</i> .....	<i>9</i>
<i>II.5 Géologie</i> .....	<i>11</i>
II.5.1 Géologie générale du Rif : .....	11
II.5.2. Aperçu géologique de la région de Bou Adel : .....	14
II.5.3. Lithologie et âge des formations géologique de Bou Adel : .....	15
<i>II.6 Couvert végétal</i> .....	<i>18</i>
<i>II.7 Facteur humain :</i> .....	<i>20</i>
<i>Conclusion :</i> .....	<i>21</i>
<b>CHAPITRE II: .....</b>	<b>22</b>
<b>Etude des formes et processus de.....</b>	<b>22</b>
<b>L'érosion hydrique : .....</b>	<b>22</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>23</b>
<i>II.1-Définition de l'érosion hydrique :</i> .....	<i>23</i>
II.1.1-Erosion géologique ou naturelle : .....	23
II.1.2-Erosion de sol : .....	23

II.1.3-Perte en terre :.....	23
II.1.4 Production de sédiment :.....	24
II.1.5 Tolérance de perte en sol :.....	24
<i>II.2Processus de l'érosion hydrique des sols : .....</i>	<i>24</i>
II.2.1 Mobilisation des particules :.....	24
II.2.1.1 Impact des gouttes de pluie (effet Splash) :.....	24
II.2.1.2-Formation des croutes de battance :.....	25
II.2.2-Érosion et transport des particules :.....	26
II.2.2.1-Érosion en nappe ou érosion diffuse :.....	26
Influence de la taille des particules :.....	26
Influence de la pente et de la longueur de la pente :.....	26
II.2.2.2-Érosion en sub-surface :.....	26
II.2.2.3-Érosion par écoulement concentré :.....	27
Erosion en rigoles :.....	27
Erosion en ravines :.....	27
Erosion en ravins :.....	27
II.2.2.4-Mouvement en masse : solifluxion.....	27
Glissement superficiel ou pelliculaire :.....	27
Glissement rotationnel :.....	27
II.2.2.5-Erosion par les cours d'eau :.....	28
<b>CHAPITRE III.....</b>	<b>29</b>
<b>Estimation des états érosifs par la méthode de l'érosion potentielle.....</b>	<b>29</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>30</b>
<i>III.1-Elaboration de la carte d'Erodibilité :.....</i>	<i>32</i>
III.1.1-Carte des pentes :.....	32
III.1.2-Carte des lithofacies :.....	34
III.1.3-Elaboration de la carte d'Erodibilité :.....	36
<i>III.2-Elaboration de la carte de protection des sols :.....</i>	<i>38</i>
III.2.1-La carte d'occupation des sols :.....	38
III.2.2-Carte de densité de couvert végétale :.....	40
III.2.3-Elaboration de la Carte de protection des sols :.....	42
<i>III.3-Elaboration de la Carte des Etats érosifs :.....</i>	<i>44</i>
<b>Conclusion générale :.....</b>	<b>47</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>49</b>

## Table des figures, diagrammes et tableaux

<i>Figure 1 : Localisation du bassin versant de l'OUERGHA dans le contexte du Rif et de la Région de Bou Adel dans le BV d'Ouergha</i>	5
<i>Figure 2 : Exemple d'indice de compacité (Musy, 2000)</i>	6
<i>Figure 3 : carte hypsométrique et MNT de la région de Bou Adel</i>	7
<i>Figure 4: Profil en long de l'Oued Ouergha dans la région de Bou Adel</i>	8
<i>Figure 5 : Carte du réseau hydrographique de la région Bou Adel</i>	9
<i>Tableau 1 : Données climatiques disponibles dans les stations voisines de la région de Bou Adel.</i>	10
<i>Figure 6 : Carte des isohyètes - Distribution des précipitations dans le bassin versant de Bou Adel</i>	11
<i>Figure 7 : Extrait de la carte géologique du Maroc (1951)</i>	13
<i>Diagramme 1 : Pourcentage des faciès lithologique de la région de Bou Adel</i>	16
<i>Figure 8 : Carte des lithofacies</i>	17
<i>Diagramme 2 : Pourcentage de chaque type de couvert végétal dans la région de Bou Adel</i>	18
<i>Figure 9 : Carte d'occupation des sols de la région de Bou Adel</i>	19
<i>Figure 11 : croute de battance</i>	25
<i>Figure 12 : érosion en nappe</i>	26
<i>Figure 13 : glissement rotationnel</i>	28
<i>Figure 14 : Erosion par les cours d'eau</i>	28
<i>Diagramme 4 : Surface en Km<sup>2</sup> des classes de pente</i>	33
<i>Tableau 2 : Classes des pentes en fonction des superficies en Km<sup>2</sup></i>	33
<i>Figure 14 : Carte des pentes</i>	32
<i>Diagramme 4 : Superficie en Km<sup>2</sup> des faciès lithologiques</i>	35
<i>Diagramme 5 : Superficie en Km<sup>2</sup> du degré d'érodibilité</i>	37
<i>Tableau 4 : Classes des degrés d'érodibilité en fonction de la superficie en Km<sup>2</sup></i>	37
<i>Figure 16 : Carte d'Erodibilité de la région de Bou Adel</i>	36
<i>Diagramme 6: surface en Km<sup>2</sup> des classes d'occupation des sols</i>	1
<i>Figure 17 : Carte d'occupation des sols de la région de Bou Adel</i>	38
<i>Diagramme 7 : Surface en Km<sup>2</sup> de la densité de couvert vegetal</i>	41
<i>Tableau 6 : Classes des degrés de densité en fonction des superficies en Km<sup>2</sup></i>	41
<b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
<i>Figure 18 : Carte de densité de couvert végétale</i>	40
<i>Diagramme 8 : Surface en Km<sup>2</sup> du degré de protection des sols</i>	43
<i>Tableau 7 : Classes des degrés de protection en fonction des superficies en Km<sup>2</sup></i>	43
<b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
<i>Figure 19 : Carte de protection des sols de la région de Bou Adel</i>	42
<i>Tableau 8 : classification par code des états érosifs en fonction des superficies en Km<sup>2</sup></i>	44
<i>Diagramme 9 : Superficies en Km<sup>2</sup> des états érosifs</i>	46

## **Remerciements**

*Au terme de ce modeste travail de recherche qui consiste à la préparation mon mémoire de fin d'étude pour l'obtention de la licence en géosciences appliquées, je tiens à remercier toute personne ayant contribué de près ou de loin à son élaboration. Mes remerciements vont à mon encadrant au sein de la Faculté des Sciences et Techniques le Professeur LAHRACH Abderahim. Je tiens à remercier aussi mon Co-encadrant de la Faculté des Sciences de Dhar Mahraz le Professeur SADIKI Abdelhamid Tous les deux pour le temps et le savoir qu'ils m'ont transmis tout au long de la période de mon stage. Je remercie Monsieur MESRAR Haytam pour son aide et son soutien. Mes remerciements vont également à Mr le Professeur BENABIDAT Lahcen pour avoir accepté de juger ce modeste travail.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à ma chère maman Lemrini Souad et  
mon cher papa Maître Seyar Abdelhaq,*

*j'adresse au ciel les vœux les plus ardents pour la conservation de  
leur santé et de leur vie, pour leur aide, leur soutien et le courage qu'il  
m'ont proliférés en toutes circonstances,*

*A mon frère Youssef qui a partagé mes veillées du soir tout au  
long de la préparation de ce travail*

*A ma chère famille : Grands et Petits*

*A mes amis (es) proches, mes confidentes*

*Et à la mémoire d'un Grand Homme Bouchta Jamal Lemrini*

*Sans Cire Fz.*

## **Introduction générale**

### **I. Problématique, Objectifs, Plan de l'étude et méthodologie :**

#### **I.1 Problématique :**

Au cours des dernières décennies, les milieux marocains ont subis des dégradations importantes liées principalement au développement des populations, ainsi qu'à la grande pression exercée sur les ressources naturelles (eau, sol, végétation...).

L'érosion hydrique est l'un des aspects de cette dégradation qui s'accroît de plus en plus.

Un grand nombre de facteurs influence l'érosion hydrique, naturels (topographie, érodibilité du sol...) et anthropiques (élevage intensif, infrastructures routières...).

Notons de plus que les pratiques humaines qui déstabilisent et fragilisent le sol par le surpâturage et le défrichement des forêts favorise le ruissellement au dépend de l'infiltration ce qui ne fait qu'accélérer le processus d'érosion.

Au Maroc, le relief montagneux, les caractéristiques d'agressivité du climat méditerranéen, par des précipitations rares mais sous forme d'orage, l'existence d'une économie agricole très ancienne, des sols peu épais et pauvres, toutes ces conditions réunies ne font que donner à l'érosion une grande ampleur.

La question qui se pose d'elle-même: quel devenir pour ses terres subissant une telle action érosive ?

#### **I.2 Objectifs**

L'étude a pour but :

Etude et cartographie des formes et processus de l'érosion hydrique dans la région de Bou Adel ;

Exploitation de l'outil SIG pour mettre en place : cartes qualitatives de l'érosion et MNT ;

Détermination de l'érosion potentielle par la superposition des cartes thématiques des facteurs qui contrôlent l'érosion hydrique.

#### **I.3 Plan du mémoire :**

Le mémoire se présente en 3 chapitres :

- Le premier traite les caractéristiques du bassin versant étudié ;

- Le deuxième est une synthèse bibliographique des différentes formes et processus d'érosion dans le bassin versant de Bou Adel ;

- Dans le troisième se fera l'exploitation des outils de SIG pour établir les différentes cartes ainsi que l'application de la méthode potentielle.

#### **I.4 Méthodologie de travail**

Le résultat escompté du travail sur la région de Bou Adel est surtout descriptif et cartographique, les méthodes utilisées ont été réparties en plusieurs étapes :

Collecte de l'ensemble des données géoréférencées des données existantes (cartes topographiques, cartes géotechniques, image satellite, nécessaire au travail ;

L'intégration de données géoréférencées dans le Système d'Information Géographique de Mapinfo, pour établir des cartes thématiques et synthétiques.

Numérisation de la carte topographique ;

Numérisation de la carte géologique (lithofacies) en intégrant les différentes structures observées sur le terrain ;

Création d'un modèle numérique de terrain MNT a partir des données topographiques ; ce qui va nous permettre d'élaborer la carte des pentes, mais aussi la visualisation des cartes thématiques en 3D de l'extension Vertical Mapper ;  
Superposition des cartes thématique pour la détermination de l'érosion potentielle.  
Présentation des cartes à l'aide du logiciel Arc gis.

# **CHAPITRE I°**

## **Caractéristiques de la région de Bou Adel :**

## Introduction

Au Maroc, des relevés de la sédimentation effectués dans six réservoirs se trouvant dans divers bassins versants ont montré que l'érosion varie de 2 à 59 t/ha/an, l'envasement des barrages par les sédiments provoque la diminution de leur capacité de l'ordre de 75 millions de m<sup>3</sup>/an, la capacité totale perdue actuellement par les barrages est près de un milliard de m<sup>3</sup>, équivalente à la retenue de 5 barrages existants, équivalente aussi à la quantité d'eau nécessaire pour irriguer 5000 à 6000 ha/an (Sadiki 2005 in Mesrar 2010). Cette situation est due principalement à un régime climatique caractérisé par des périodes de pluie abondante sous forme d'averses intenses suivies de longues périodes sèches, à la présence des sols hautement érodibles à cause de leur faible structure, leur faible développement (faible épaisseur et taux bas de matières organiques) ainsi qu'à un relief accidenté présentant des pentes raides et des paysages très divers.

Le bassin versant de l'Oued Ouergha, en amont du barrage El Wahda, couvre une superficie de 6140 Km<sup>2</sup> sur le versant Atlantique du Rif. Il est divisé en 16 sous-bassins, recouvrant les affluents de la rive droite et les bassins intermédiaires du cours principale de l'Ouergha.

Le climat méditerranéen à étés secs et hivers pluvieux. La pluviométrie est très irrégulière d'une année sur l'autre. La moyenne des précipitations est 973mm, elle varie de 500 mm aux extrémités.

Est et Sud à 1700 mm dans la zone montagneuse centrale. Les précipitations augmentent avec l'altitude et diminuent dans la partie orientale.

La lithologie est assez tendre avec une dominante de marnes et de schistes (flysch). Combinée avec une topographie accidentée aux fortes pentes.

La répartition du couvert végétal montre une très grande proportion de la zone cultivée (69 %) et une part relativement faible des forêts (11%) essentiellement au nord, les matorrals et les parcours occupant 18 % de la superficie.

La très forte densité de population entraîne une surexploitation de ce milieu, originellement et jusqu'à il y a peu de temps essentiellement forestier, avec un très fort développement des cultures ;

La pression sur le couvert végétal pérenne se fait :

- par défrichement notamment dans la zone de culture du cannabis,
- par la récolte de feuillage pour les animaux,
- par la récolte de bois de feu.

Les cultures sur pentes fortes sont de faible productivité et l'érosion contraint souvent au bout de quelques années à l'abandon de ces parcelles.

Toutes ces conditions conduisent à une érosion très élevée qui se traduit par de faibles épaisseurs de sol et par un transport solide important à l'exutoire du bassin versant.

## II Caractéristique général de la région de Bou Adel

Dans la présentation du cadre générale de la région de Bou Adel, on va développer surtout les paramètres qui ne vont pas être traité ultérieurement comme facteurs d'érosion par la méthode potentielle. Pour la morphologie on s'intéressera à l'altitude et au réseau hydrographique. En ce qui concerne le climat c'est surtout la pluviométrie et la température des stations les plus proches qui seront traitées. On passera en revue la géologie de la zone d'étude et les types de couvert végétale, et on finira par l'étude d'un facteur qui ne cesse de rendre la dégradation de plus en plus alarmante ; le facteur anthropique.

La région de Bou Adel est une partie du bassin versant de l'Oued Ouergha, en amont de la confluence avec l'oued Sra, limitée au Sud par le bassin versant de l'Oued Teheris. (Fig. 1)

Administrativement, la zone d'étude dépend de la région de Taza-Al Hoceima, et couvre 7 communes.

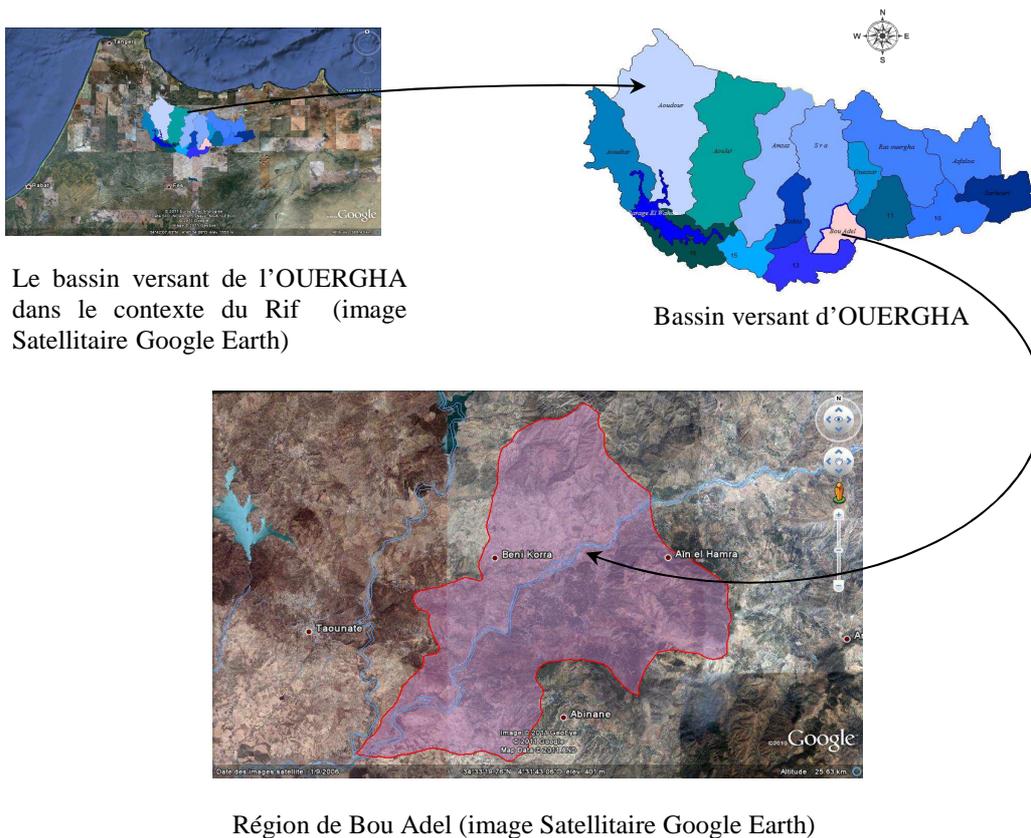


Figure 1 : Localisation du bassin versant de l'OUERGHA dans le contexte du Rif et de la Région de Bou Adel dans le BV d'Ouergha

## II.1 Aire, périmètre et forme

La superficie d'un bassin versant ainsi que son périmètre joue un rôle primordial dans les études des bassins versants. Leur influence se manifeste dans la nature de la relation entre le débit et le temps, donc un petit bassin versant réagit très vite à une averse.

Bou Adel s'étale sur une superficie de 126.8 Km<sup>2</sup> avec un périmètre de 60.23Km.

En le comparant avec les bassins voisins, c'est un assez petit bassin possédant une petite superficie et périmètre, cependant additionné à d'autres facteurs, l'érosion est présente et favorisée.

### II.1.1 Indice de compacité

L'indice admis par les hydrologues pour caractériser la forme d'un bassin versant d'une part et de renseigner sur la rapidité de la concentration des écoulements est l'indice de Gravelius. C'est le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de surface de même périmètre. Le bassin est considéré comme bien drainé si son indice de compacité tend vers 1. (Fig. 2) correspond à des exemples de forme en fonction de leur indice de compacité.

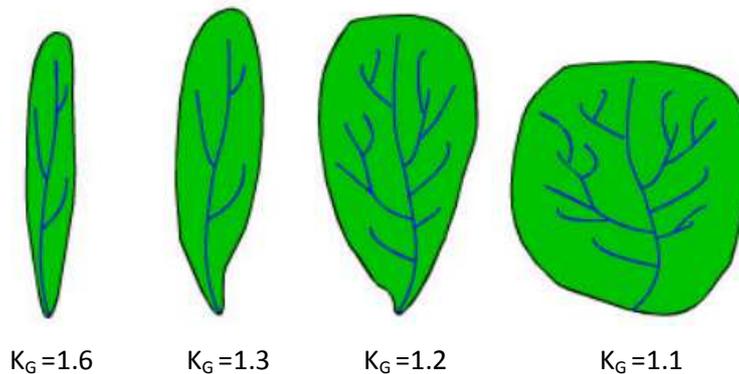


Figure 2 : Exemple d'indice de compacité

$$Kc = P / (2\sqrt{A}) = 0.28 P / (\sqrt{A}) = 0.28 \times (60.23 / (\sqrt{127})) = 1.49$$

Avec un indice de compacité égale à « 1,49 », le Bassin de Bou Adel se présente sous une forme allongée, son relief facilitant la collecte des eaux depuis les deux versants augmente la charge des sédiments dans l'eau, ainsi l'érosion au sein du bassin se voit favorisée.

## II.2 Caractéristiques topographiques du bassin versant de Bou Adel

### II.2.1 Relief

Bou Adel est une région qui témoigne d'un relief diversifié, avec des sommets allant jusqu'à 1600 m d'altitude, et un exutoire proche des 400 m. (Fig.3)

La partie droite se caractérise par des altitudes assez élevées, de 1600m depuis l'amont pour avoir un exutoire a 400m plus en aval ; les dénivellations sont de 350 m en amont.

La partie gauche quant a elle, a une pente plus douce avec des sommets atteignant 1200 et 1400m. Puis un passage doux vers les altitudes basses : entre 600 et 400m, pour finir vers un exutoire à 400m aussi.

La prédominance des pentes fortes, influence la dynamique de l'eau en favorisant l'érosion. On aura une tendance vers l'ablation plutôt que l'accumulation.

La carte hypsométrique montre les classes d'altitude bien distincte de la région, et qui sont bien représentées dans le diagramme, ainsi que le MNT : Modèle Numérique du Terrain.

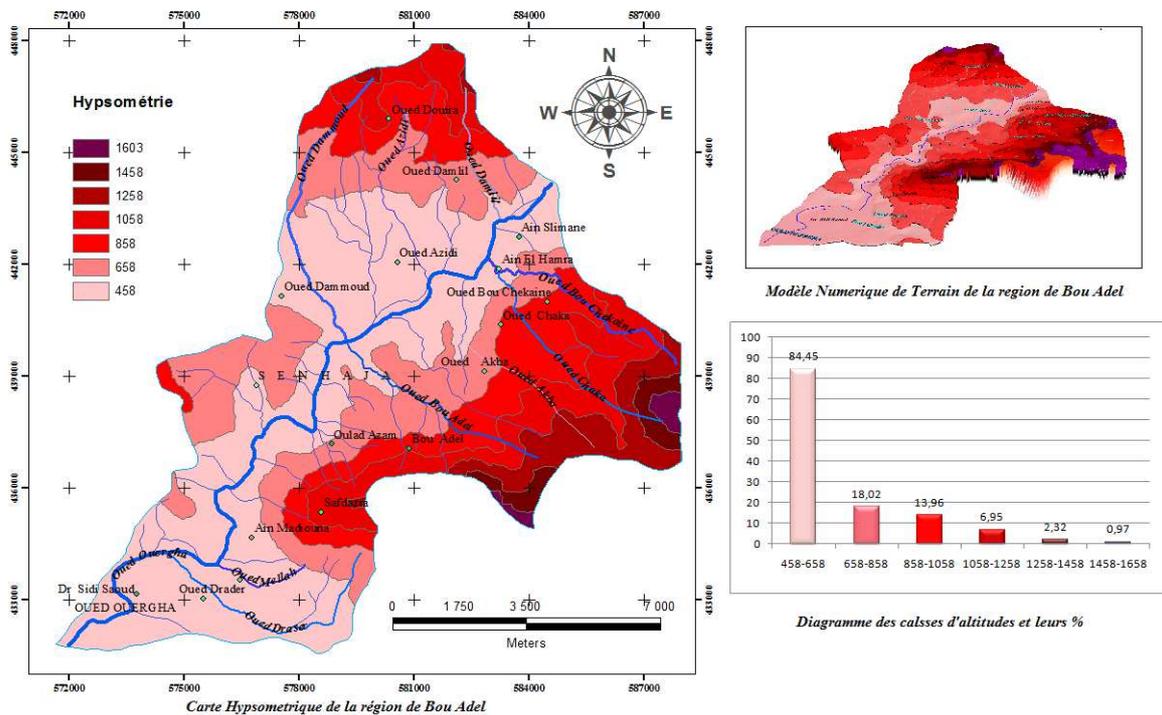


Figure 3 : carte hypsométrique et MNT de la région de Bou Adel

### II.2.2 Profil au long du cours d'eau

Le profile en long du cours d'eau est le graphique représentant les différentes élévations du fond du cours d'eau en fonction de la distance à l'exutoire, la valorisation de cette

caractéristique est très intéressante car elle permet d'une part de donner une idée sur la vitesse de l'eau dans le chenal, d'autre part, permet de mettre en évidence les zones de grande et de faible pente et par conséquent les zones de grande ou de faible vitesse d'eau. La vitesse de l'eau agit directement sur la vitesse de transport et d'arrachement, cette pente est exprimée en (m/Km). (Fig. 4)

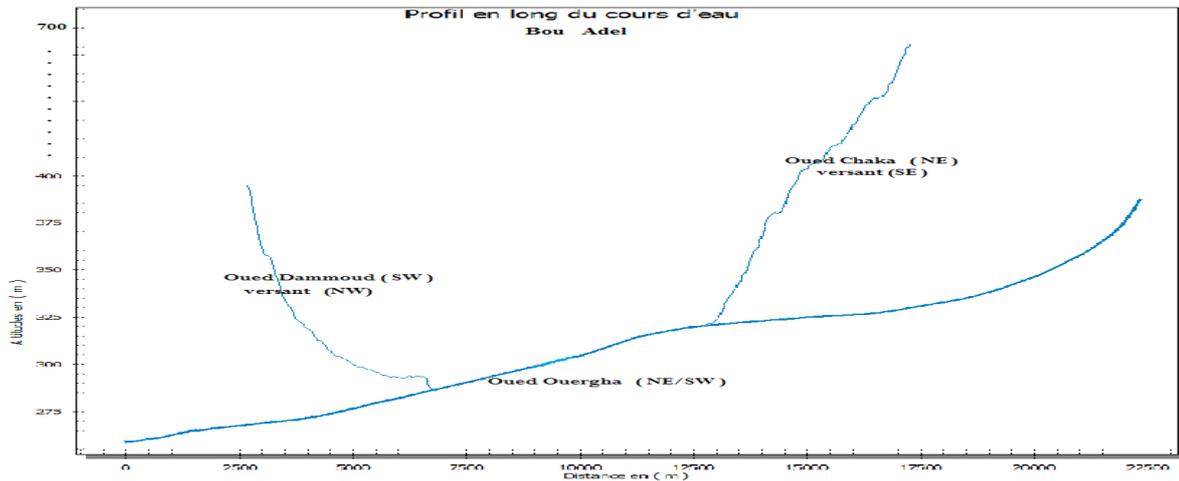


Figure 4: Profil en long de l'Oued Ouergha dans la région de Bou Adel

A partir du profil en long on peut déduire que le chemin de l'Oued Ouergha dans la région de Bou Adel, passe des fortes altitudes vers les basses altitudes.

L'amont montre une forte pente, qui va se répercuter sur la vitesse et la dynamique de l'eau, car forte pente rime avec augmentation de la vitesse de l'eau et celle-ci sera chargée en sédiments correspondant à l'amont de l'oued.

Au contraire, plus en aval, la pente s'adoucit et laisse place à la sédimentation de la charge accumulée.

Les affluents de l'oued dans cette région par exemple : Oued Dammoud sur le versant (NW) avec une direction (SW) et Oued Chaka sur le versant (SE) avec une direction (NE) se déversent dans l'oued Ouergha à 400 et 700m d'altitude respectivement.

En comparant ces cours d'eau secondaires, on remarque que la longueur de la pente diminue de l'amont vers l'aval, ainsi le bassin se divise en 2 régions : une partie jeune et une partie plus mature qui est plus érodée et aplanie.

### II.3 Réseau hydrographique

La région de Bou Adel possède un réseau hydrographique dendritique qui se caractérise par un fleuve important; l'Oued Ouergha. (Fig. 5)

A partir de ses deux versants, les cours secondaires affluent vers l'Ouergha depuis des altitudes pouvant atteindre les 1600m ce qui lui confère une dynamique torrentielle avec une assez grande vitesse d'écoulement d'eau.

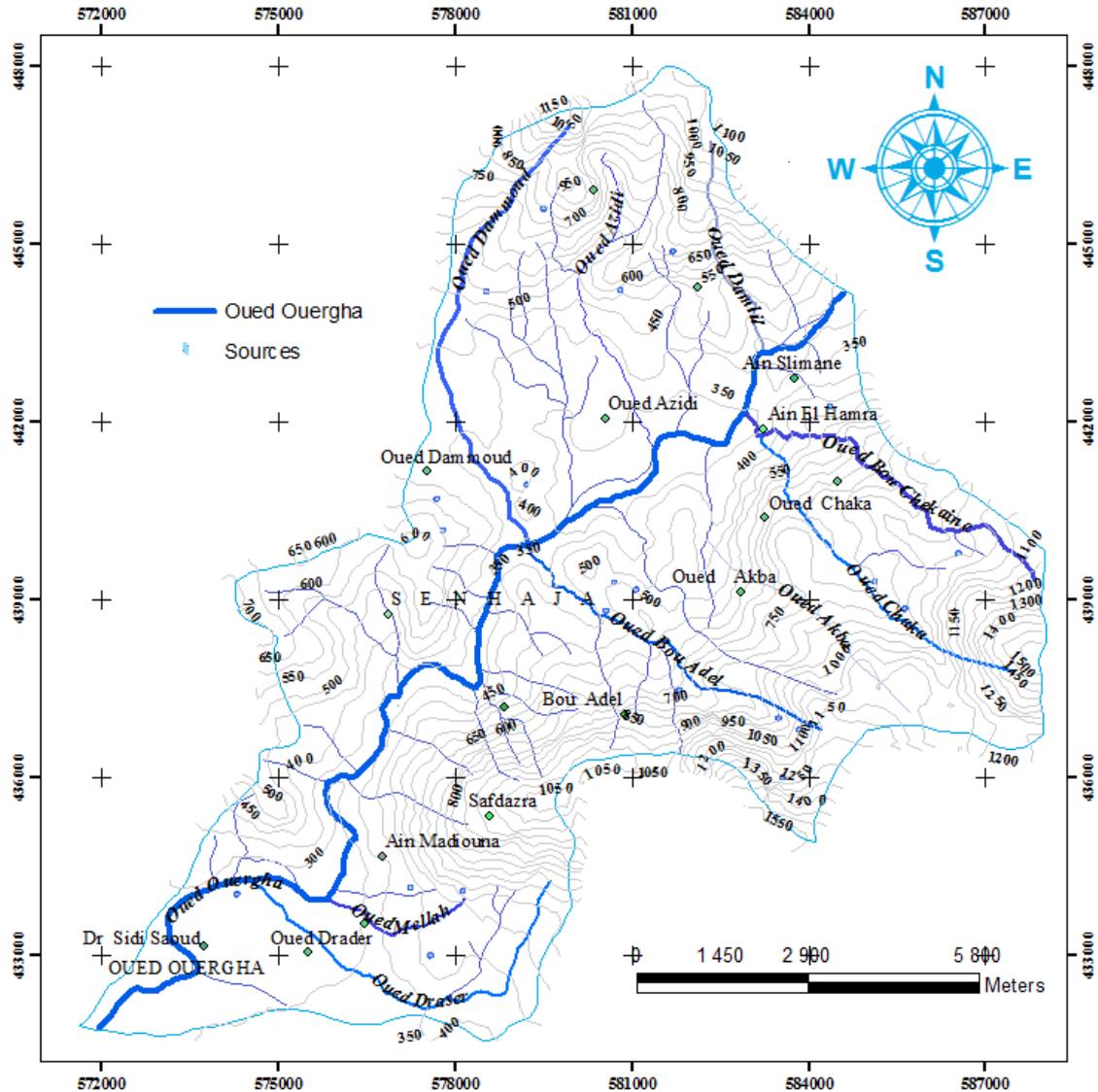


Figure 5 : Carte du réseau hydrographique de la région Bou Adel

## II.4 Précipitations

Les données disponibles sur les précipitations proviennent de l'Administration des Eaux et Forêts à partir du plan d'aménagement antiérosif du bassin versant de l'oued Ouergha (1996) il montre que plus en monte en latitude et en altitude la quantité des précipitations augmente, les valeurs minimales sont ceux des station situé en avale (Ain Aicha et Galaz avec 580 et

600 mm respectivement). En amont la quantité enregistrée augmente pour atteindre 1020 mm à Ketama. (Tab. 1)

Station	précipitations annuelles moyens (mm)	Longitude X	Latitude Y	Altitude
Bab ouender	826	579800	440100	310
Pont de sker	784	572900	441900	320
Touanate	784	569400	438000	668
Galez	600	555400	439750	230
Ain aicha	580	565000	429100	250
Oudka	970	515000	460900	1500

Tableau 1 : Donnés climatiques disponibles dans les stations voisines de la région de Bou Adel.

Pour rendre l'interprétation des précipitations plus simple, on a réalisé la carte des isohyètes qui a été construit par la méthode de Thiessen qui considère qu'il existe un gradient de précipitations progressif entre les différentes stations .D'après cette dernière en remarque que le gradient pluviométrique augmente de l'aval vers l'amont.

La variation spatiale observée peut être causée par différents facteurs tels que l'altitude, l'orientation des reliefs et la continentalité (Sadiki. 2005 in Mesrar 2010) explique ce phénomène sur le versant oriental du Rif, par l'effet Foehn; Les masses d'air d'ouest et de NW s'assèchent après leur descente sur les versants atlantiques du Rif. La plus part des perturbations d'ouest qui donnent des précipitations importantes sur la façade ouest du Rif ne donnent que de maigres pluies sur le versant exposé à l'est.

La carte des isohyètes de la région de Bou Adel (Fig. 6) nous renseigne que la quantité de précipitations est plus importante à l'amont et diminue vers l'aval. Ceci répond parfaitement au schéma de précipitations générales du Rif.

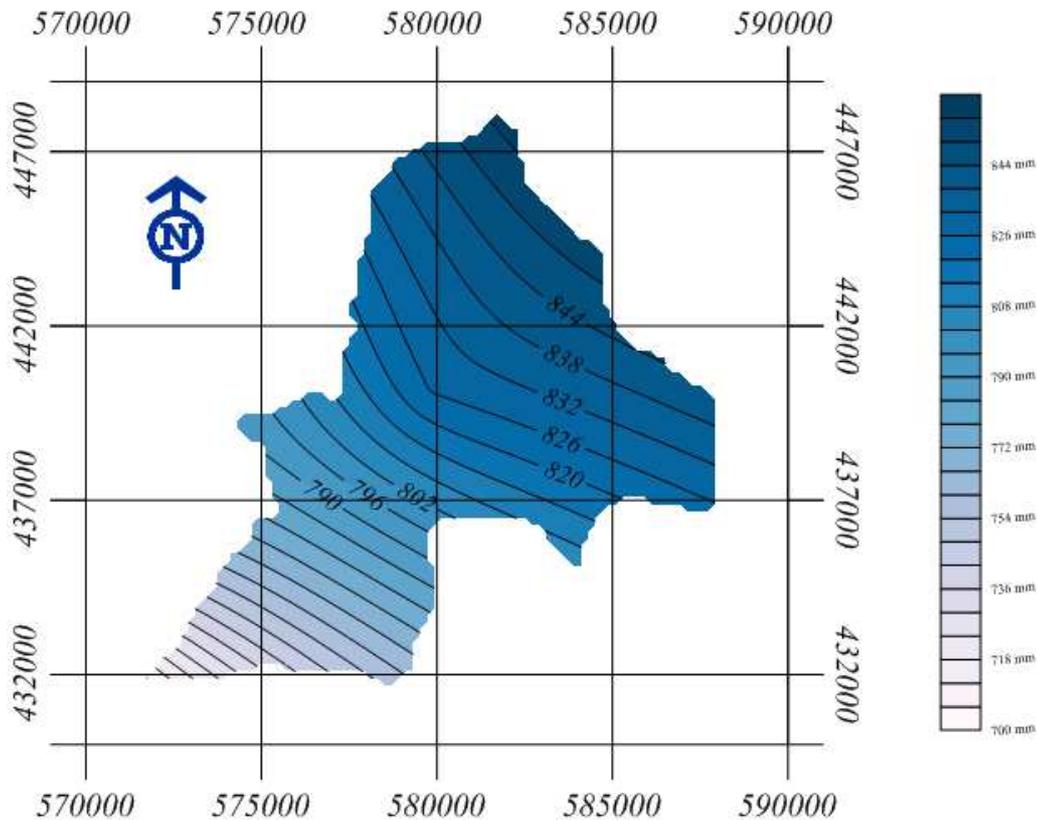


Figure 6 : Carte des isohyètes - Distribution des précipitations dans la région de Bou Adel

## II.5 Géologie

### II.5.1 Géologie générale du Rif :

Le Rif, édifice montagneux de la partie septentrionale du Maroc, fait partie des chaînes alpines du pourtour de la Méditerranée occidentale, par son âge et son style (Lespinasse, 1975). Il comporte, au dessus des éléments du socle ancien, une série sédimentaire secondaire et tertiaire. Sa structure présente des plissements multiples et intenses, accompagnés de métamorphisme ainsi que des déversements et des charriages importants orientés vers l'Ouest (Michard, 1976). Trois domaines structuraux s'individualisent :

- le Rif interne par la dorsale calcaire qui se présente sous forme d'une entité morphostructurale saillante (Fallot, 1937) et qui occupe la partie la plus externe du Rif interne. Sa série stratigraphique comporte des termes du Permien à l'Oligocène, mais c'est le
- Licence géosciences appliquées

## Chapitre I : Caractéristiques générales de la région de Bou Adel

Trias et le Lias qui sont les mieux représentés. Cette chaîne est découpée en nappes et écailles calcaro-dolomitiques (Kornprobst, 1962-1966 ; Griffon, 1966 ; Raoult, 1966 ; Gutnic, 1969 ; Leikine, 1969 ; Nold et al.1981).

– le domaine des flyschs est constitué des unités prédorsaliennes (Durand Delga, 1972) : ce terme désigne des séries lithologiques particulières à la bordure externe de la dorsale calcaire. Ces unités à matériel marno-gréseux du Jurassique à l'Oligocène supérieur, présentent un caractère qui est, tantôt celui de la chaîne calcaire, tantôt celui des flyschs (Olivier, 1990). (Fig. 7).

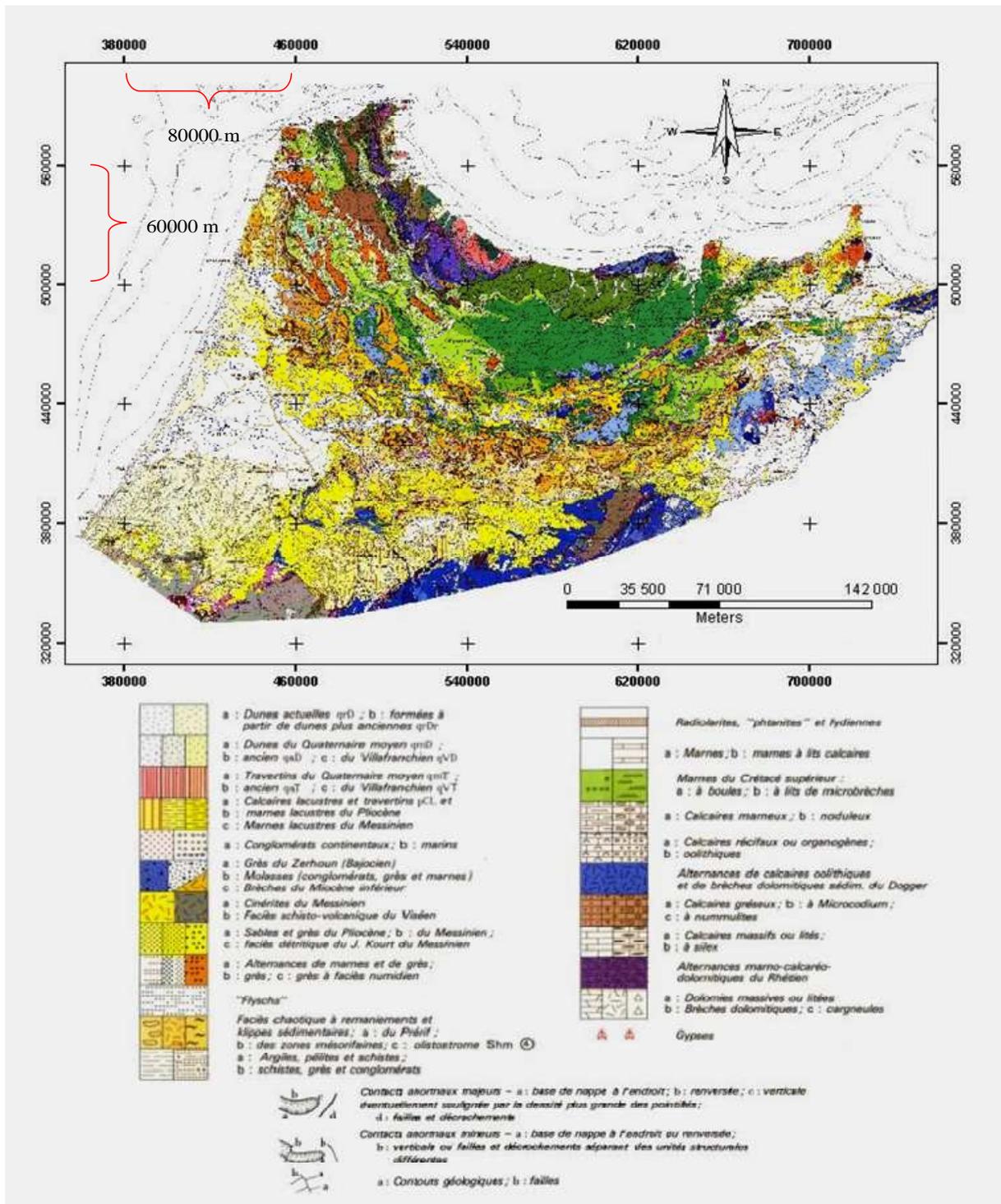


Figure7 : Extrait de la carte géologique du Maroc (1951)

– le domaine externe, Il s'oppose aux domaines précédents par la nature de ses matériaux essentiellement marneux, marno-schisteux et argileux. Il a été intensément déformé.

Du point de vue tectonique ; le Rif est découpé en blocs crustaux séparés par des failles actives. L'unité Intra- Rifaine de Ketama-Tanger est chevauchée vers le nord par des nappes de flyschs et elle-même chevauche vers le sud des unités mésorifaines

Le méso-rif est constitué par des séries jurassico-crétacées. Ses unités sont souvent en position structurale anticlinale qui correspond à des fenêtres en position d'autochtone relatif sous les nappes rifaines (ou d'origine Intra-Rifaine).

La nappe rifaine d'Ouezzane est une nappe de glissement qui a été mise en place jusque dans le Prérif externe.

Ce canevas structural est responsable en grande partie de l'orientation du réseau hydrographique de la région.

La bibliographie consultée pour la géologie du Rif est en grande partie tirée depuis un site internet qui rapporte les travaux d'Andrieux, 1971).

### **II.5.2. Aperçu géologique de la région de Bou Adel :**

Du point de vue géologique, la zone de Bou Adel est façonnée dans une partie de chacun des deux ensembles structuraux (le Méso-Rif et le bassin de Taounat qui est un bassin de dépôts tortoniens post nappes).

La zone Méso-Rifaine apparaît au sud du bassin versant sous forme de fenêtre sous les nappes intrarifaines. Les terrains de cette unité sont constitués dans la zone d'étude par une série jurassico-crétacées constituée dans la région de Taounate par des marnes surmontées par une formation molassique composée de grés et de conglomérats

Les dépôts post nappes sont des formations autochtones du Miocène déposées pendant la transgression Tortonien constituées de sédiments grossiers conglomératiques à la base. Ils deviennent plus fins en haut donnant des grés puis une série épaisse des marnes argileuses bleues. (Fig. 7')

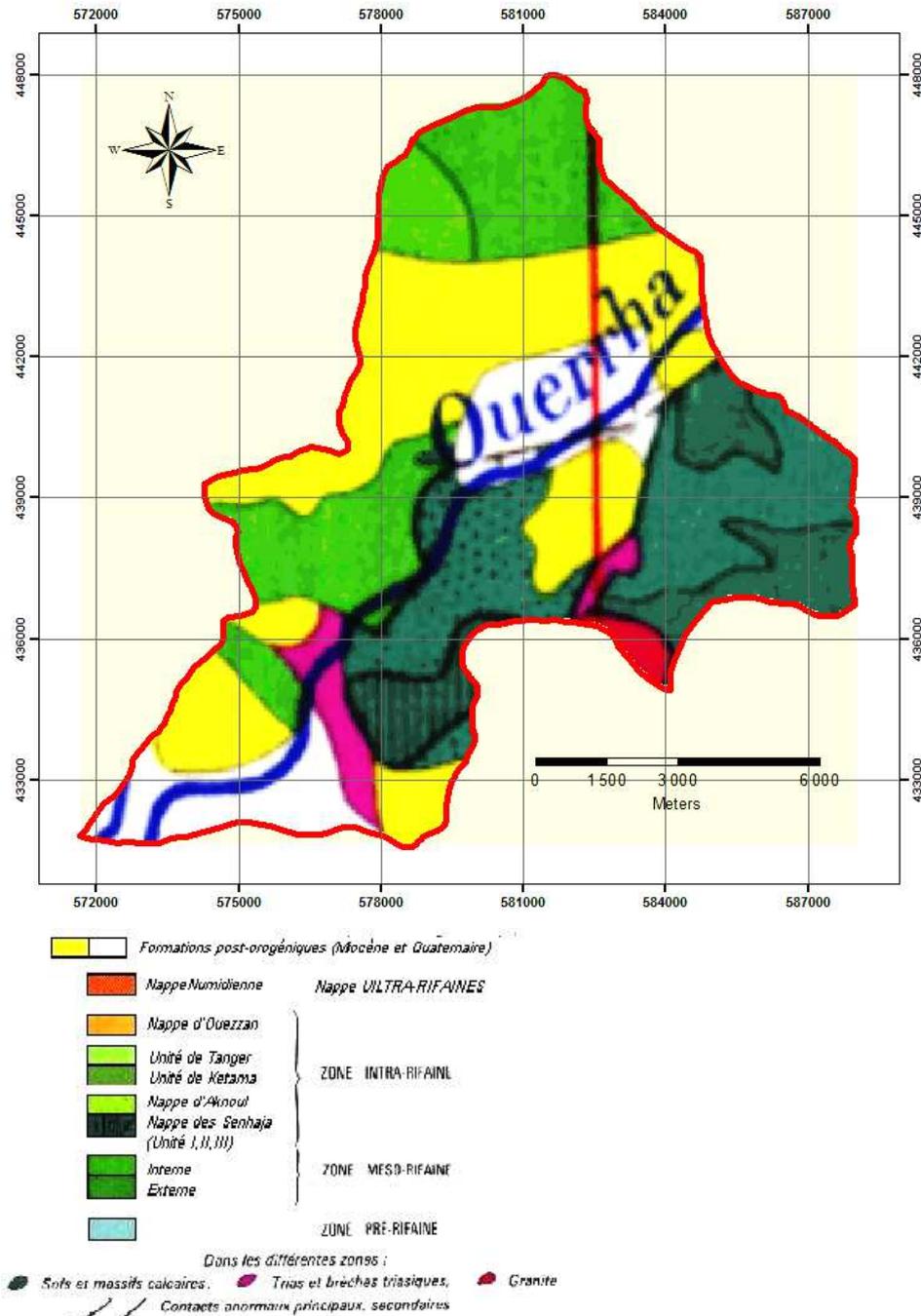


Figure 7' : Carte géologique de la région de Bou Adel

### II.5.3. Lithologie et âge des formations géologique de Bou Adel :

Le type de faciès lithologique renseigne sur le degré d'Érodibilité des formations géologiques, cela dépend de plusieurs facteurs tels que, La dureté, la texture et la structure...

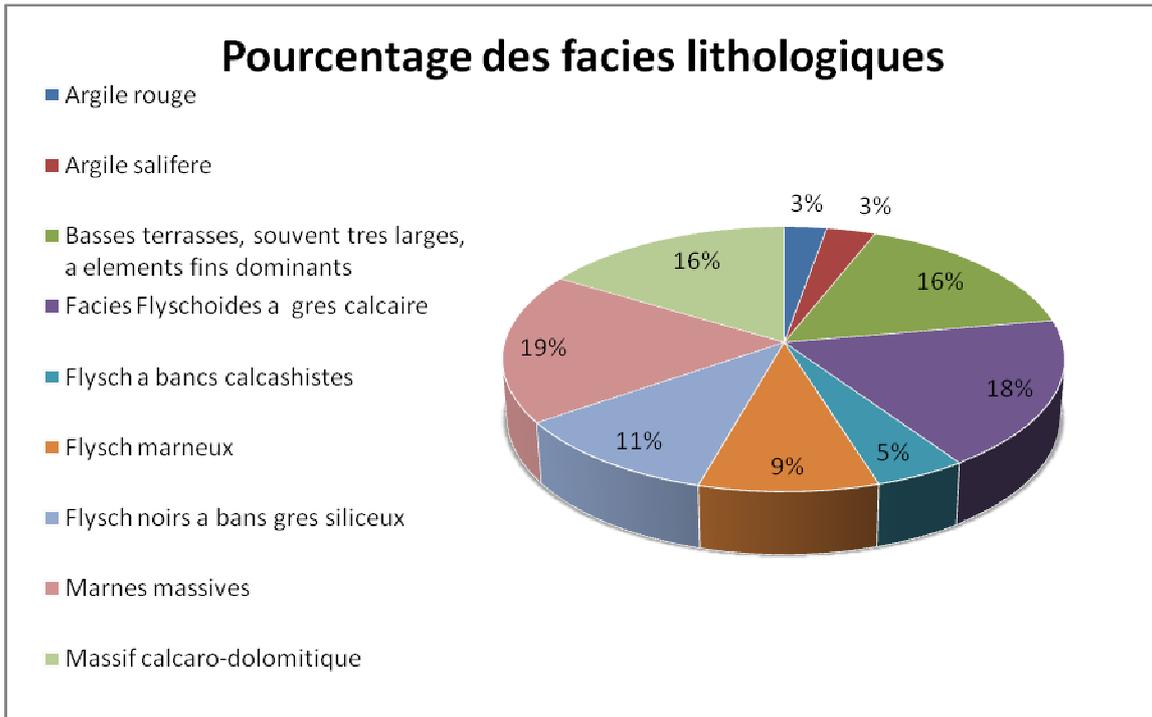


Diagramme 1 : Pourcentage des facies lithologique de la région de Bou Adel

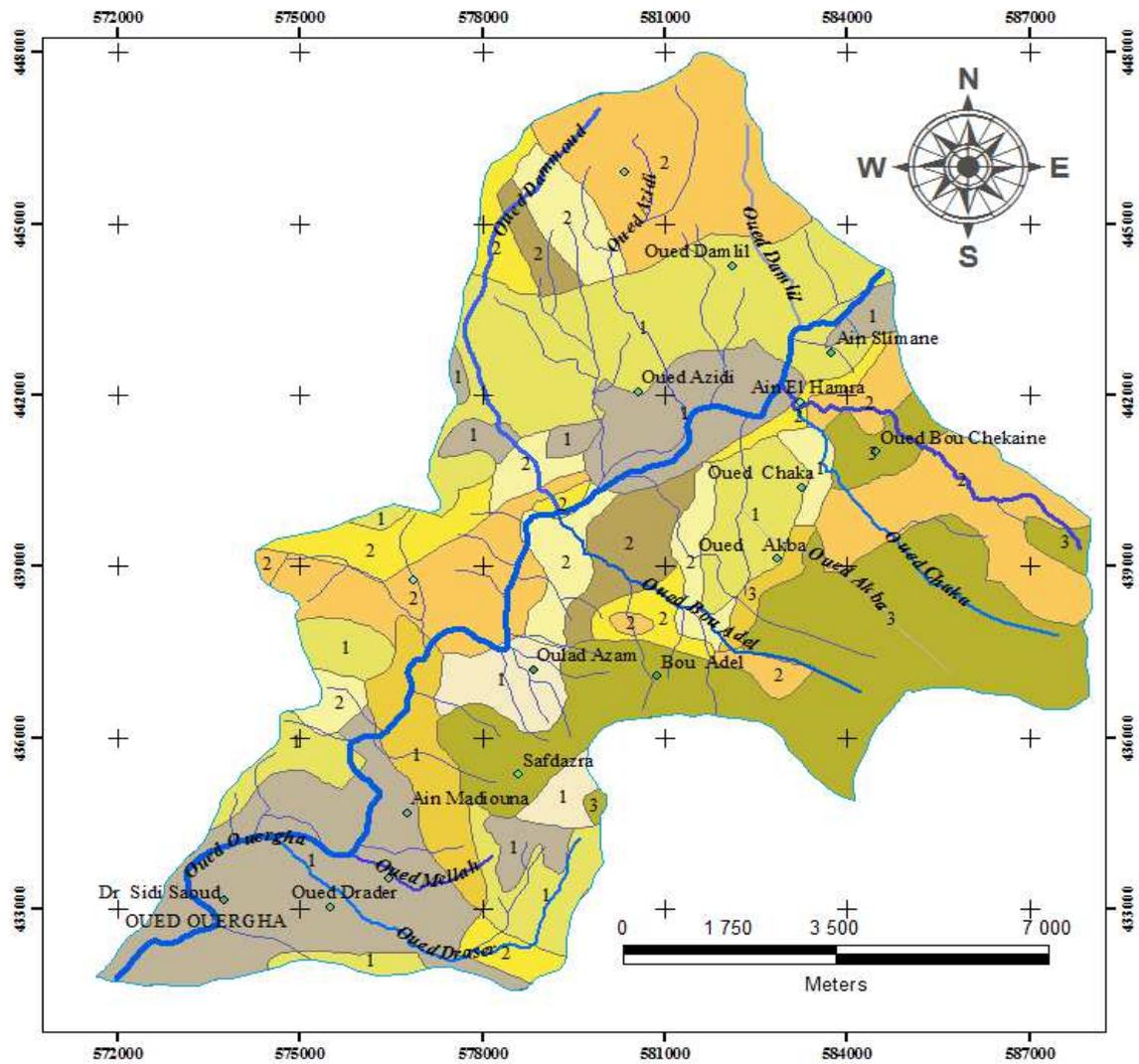
Le Graphique en forme de fromage (Diag. 1), nous montre les types et le pourcentage des facies lithologiques présent dans la région, on y trouve 9 facies avec des pourcentages plus ou moins proches les l'uns des autres.

Sur la carte des lithofacies de la région de Bou Adel (Fig. 8), les facies se présentent comme suit :

- Marnes massives du Messinien avec 19% occupent une grande partie du versant (NW), ainsi qu'une petite partie du versant (SE).
- Avec 18%, le facies des flyschoides à grés calcaires du Eocène-Miocène inférieur, occupent tout l'extrême Nord du versant (NW)
- les basses terrasses du Quaternaire couvre 16% de la zone d'étude couvrent une grande partie de l'aval
- Les massifs calcaro-dolomitiques du Lias et Jurassique Moyen représentent 16% et couvrent toute la partie Sud du versant (SE)
- Les flyschs noirs à bancs de grés siliceux du Crétacé inférieur, se situe plus en amont avec 11%. Les flyschs marneux du Crétacé supérieur à 9%, les flyschs à bancs calcschistes du Crétacé Moyen a 5%, les Argiles Rouges et grés fracturées du Jurassique supérieur et les

## Chapitre I : Caractéristiques générales de la région de Bou Adel

Argiles salifères à ophiles du Trias à 3% respectivement, tous ces faciès se repartissent ici et là sur la carte des lithofaciès.



### LITHOLOGIE, AGE

- Argiles rouges et gres fracturés, Jurassique superieur
- Argiles saliferes a ophiles, Trias
- Basses terrasses, souvent tres larges, a elements fins dominants, Quaternaire
- Facies flyschoides a gres calcaire, Eocene - miocene inferieur
- Flysch a bancs de calcshistes, Cretace moyen
- Flysch marneux, Cretace superieur
- Flysch noir a bancs de gres siliceux, Cretace inferieur
- Marnes massives, Messinien
- Massif calcaro-dolomitiques, Lias et Jurassique moyen

Figure 8 : Carte des lithofaciès

## II.6 Couvert végétal

Un couvert végétal est d'autant plus efficace pour réduire l'érosion qu'il dissipe l'énergie de l'impact des gouttes de pluies, qu'il ralentit l'écoulement du ruissellement et maintient une bonne porosité à la surface du sol (Roose, 1996 in Sabir 2007). La taille, le type, et la densité du couvert végétal déterminent le degré de protection que peut conférer ce facteur au sol. Pour mieux comprendre l'influence de ce dernier, on va commencer par un aperçu sur la végétation naturelle (répartition et densité) puis en va différencier les zones de culture, d'arboriculture et les différents types de matorral et de forêt.

Selon le Bulletin de suivi global de la campagne agricole par télédétection-Situation au 31 Décembre 2010 ; N° 1-2010-2011. La carte d'indice de végétation de la région du Rif Pré-Rif présente une situation contrastée entre les parties Ouest et Est. Du côté de l'Ouest les provinces de Taounate d' El Hoceima présentent un couvert végétal en bonne situation; par contre l'Est de la province de Taza correspondant à une zone de cultures pluviales connaissant un faible taux de couverture végétale.

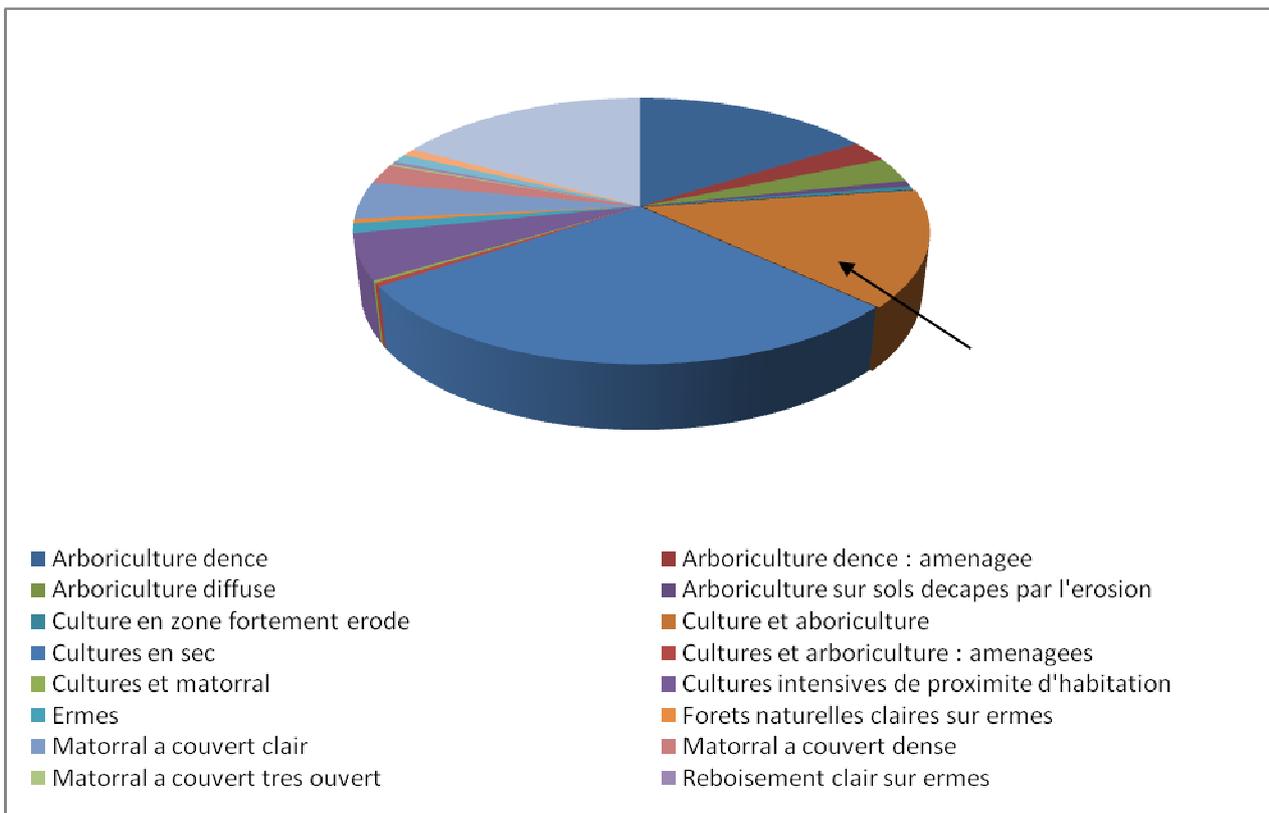


Diagramme 2 : Pourcentage de chaque type de couvert végétal dans la région de Bou Adel  
Licence géosciences appliquées

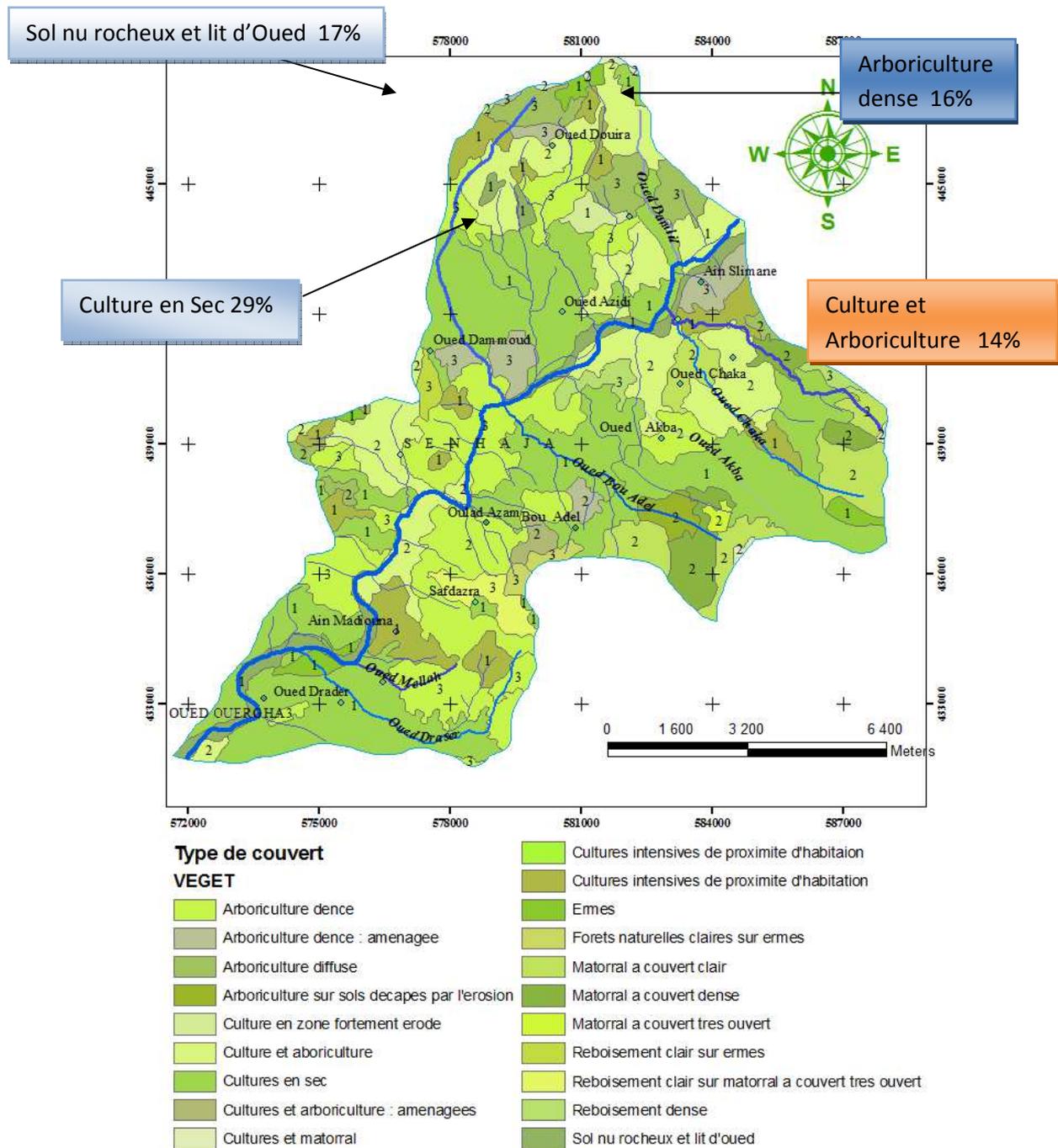


Figure 9 : Carte d'occupation des sols de la région de Bou Adel

A partir du diagramme des pourcentages de chaque type de couvert et de la carte d'occupation des sols (Diag. 2), on remarque que la couverture du sol se partage entre quatre grands types de végétation : 28% de cultures en sec, 17% de sol nu rocheux et lit d'oued, 16%

d'arboriculture dense et 15% de culture et arboriculture. Les autres types de végétations se partagent le reste de la surface de la région.

Cette dominance de culture sec, de sol nu rocheux, de cultures et arboriculture rend le sol vulnérable à toute forme d'érosion.

L'arboriculture dense, les forêts et les autres types de végétation aussi minimes soient elles pourraient former un bouclier protecteur pour le sol, mais ceci en tenant compte des conditions climatiques qui dépendent à leur tour de la latitude, l'altitude et de l'exposition des versants. (Fig. 9).

En résumé on peut dire que les facteurs qui déterminent la densité du couvert végétale sont liés aux conditions climatiques qui dépendent à leur tour de la latitude, l'altitude et de l'exposition des versants mais les défrichements et les reboisements peuvent perturber cette organisation bioclimatique.

## **II.7 Facteur humain :**

Un facteur qui ne cesse d'accélérer l'activité des agents de l'érosion, le facteur anthropique. Les activités humaines rarement adéquates (défrichement, construction de route et d'ouvrage d'art, labouage perpendiculaire au courbe de niveau, piétinement...); rend le sol de plus en plus vulnérable à l'érosion. La compréhension de la répartition dans le temps et dans l'espace des populations ainsi que leurs activités s'avère très importante dans l'étude du diagnostic de l'érosion. Cela permettra de chercher avec la contribution des populations des méthodes agricoles plus adéquates en faveur d'un développement durable tout en conservant un milieu stable et protégé.

Le recensement de 2004 révèle par ailleurs que la population de la région est désormais à majorité rurale avec une proportion de 75,8%, contre seulement 24,2% dans le milieu urbain.

La population urbaine a connu un accroissement annuel important par rapport à la population rurale respectivement 1,6% contre 0,2%, cet accroissement est plus important dans la province de Taounate, soit 2,7% et 2% à Taza, contre seulement 0,5% dans la province d'Al Hoceima. (Aspects démographique et socio-économique de la région de Taza-Al Hoceima Taounate-RGPH 2004).

L'important taux de croissance au sein de la région de Taounate, a un impact sur les ressources naturelles, l'activité humaine rend le sol plus sensible à l'érosion.

### **Conclusion :**

Les facteurs de l'érosion sont intimement liées et interdépendants mais les différentes caractéristiques morphologique, géologique et bioclimatique de la région de Bou Adel, peuvent expliquer la dynamique érosive qui règne dans ce secteur ;

Du point de vue morphologique la région de Bou Adel occupant une superficie de 126,8 Km<sup>2</sup> à un indice de forme de 1,49 (Forme en couloir) témoignant d'un rassemblement rapide des eaux et par conséquent une vitesse d'arrachement rapide.

En ce qui concerne le relief, on note une grande altitude à 1600m un exutoire à 400m ainsi c'est un bassin qui se divise en deux parties : une partie jeune et une partie plus mature qui est plus érodée et aplanie.

D'après le profil en long de l'Oued Ouergha dans la région de Bou Adel,

L'amont est marqué par une forte pente hydrographique, alors que l'aval par une faible pente, cette différence peut témoigner de la présence d'une zone de production amont et une zone d'accumulation aval. Le réseau hydrographique de la région de Bou Adel est dendritique parfois parallèle montrant une densité et une dynamique importante.

Du point de vue climatique, la disposition des reliefs joue un grand rôle dans la différenciation des milieux climatiques. La présence d'altitudes élevées sur les deux versants forme des barrières face aux influences atlantiques et méditerranéennes. Il est par contre ouvert vers le sud, ce qui favorise les influences du climat aride. Cette situation se manifeste par des quantités d'eaux qui augmentent de l'aval vers l'amont. Cela va rendre la situation de plus en plus grave vue que là où la pente est forte les précipitations sont élevées.

Les faciès lithologique présent, quand à eux montre une grande diversité avec une dominance des marnes massives, faciès flyshoïdes et marneux et les basses terrasses ce qui favorisera l'érosion

Le couvert végétal montre dans la plupart des cas de la culture en sec, un sol nu rocheux et de l'arboriculture, la faible présence de forêts favorise l'érosion.

Les facteurs de l'érosion sont intimement liés au sein de la région de Bou Adel. C'est pour cela que la méthode potentiel a été choisit et qui va nous renseigner sur les zones de grande vulnérabilité, ainsi que les facteurs déterminant qui ont donné naissance à cette vulnérabilité.

## **CHAPITRE II:**

# **Etude des formes et processus de L'érosion hydrique :**

## **Introduction**

Cette partie a fait l'objet d'une sortie de terrain, le but a été d'une part l'observation et l'étude des différentes formes et processus de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Bou Adel, d'autre part mettre en œuvre des cartes descriptives montrant la localisation des différentes formes d'érosion.

### **II.1-Définition de l'érosion hydrique :**

Il s'agit de la forme d'érosion la plus complexe. Elle agit par l'impact des gouttes de pluie sur le sol, par l'écoulement en nappe continu ou en rigoles, par le déplacement des chenaux de rivières ou l'érosion de ravins par les fortes pluies, par l'écoulement des eaux dans les matériaux de surface et par les marées, les courants et les vagues dans les zones peu profondes des lacs et des océans.

#### **II.1.1-Erosion géologique ou naturelle :**

C'est l'ensemble des processus qui sculptent la surface du globe terrestre et dont l'Homme n'intervient que d'une façon minime tels le creusement des vallées, le façonnement des versants et le comblement de plaines d'inondations. Le mécanisme responsable de ses phénomènes est lié au cycle climatique. Lors des périodes pluviales il y a production de puissants dépôts de pente qui aplanissent de vastes surfaces alluviales, pendant qu'inter pluviales, l'ablation l'emporte sur l'accumulation ainsi les eaux s'enrichissent peu en sédiments et sont capables de creuser (Pujos 1958).

#### **II.1.2-Erosion de sol :**

C'est un processus lié aux terrains agricoles, forestiers et de pâturage appelé aussi érosion accélérée vu la vitesse de dégradation des sols sous l'effet des pratiques humaines telles des pratiques agricoles, l'exploitation forestière, le surpâturage, l'aménagement et l'implantation d'infrastructures (Sundborg 1986).

#### **II.1.3-Perte en terre :**

Elle est définie comme étant la masse de sol perdue par une surface pendant une période donnée, elle est exprimée en unité de masse par unité de surface par unité de temps.

Elle peut être calculée pour un événement pluvieux ou comme une valeur moyenne pour une période spécifiée (Cerdan 2001).

### **II.1.4 Production de sédiment :**

C'est la masse de sédiments émise sur une surface pendant une période donnée, elle est mesurée lors du franchissement d'une limite exutoire et elle peut être exprimée en unité de masse par unité de longueur ou en unité de masse par unité de surface (Cerdan 2001).

### **II.1.5 Tolérance de perte en sol :**

La tolérance de la perte par érosion hydrique pour un sol est évoquée de trois points de vue différents (Roose 1994) :

- L'équilibre entre la vitesse de la perte en sol et celle de l'altération et la pédogenèse qui lui donne naissance ;
- Le maintien de la productivité agricole sur sol a un niveau élevé ;
- L'influence que cette perte peut avoir sur la qualité des eaux d'écoulement.

## **II.2 Processus de l'érosion hydrique des sols :**

Les déplacements des matériaux par érosion hydrique sont subdivisés en trois grands types :

- Ceux qui se produisent sur le sol lui-même, et qui consistent en écoulement de nappes d'eau sans différenciation de réseau d'écoulement ;
- Ceux qui se font dans des réseaux de drainages groupées sous l'appellation d'érosion linéaire (rigoles, ravinements et collecteurs principaux)
- Ceux des mouvements de masse (solifluxion, éboulements, éboulis).

### **II.2.1 Mobilisation des particules :**

Sur une surface dénudée de végétation, les agrégats des particules du sol sont exposés à l'action des pluies et du ruissèlement et sont soumis à différents mécanisme de désagrégation par l'eau.

#### **II.2.1.1 Impact des gouttes de pluie (effet Splash) :**

L'action érosive hydrique débute par l'impacte des gouttes de pluies sur la surface du sol, elle est appelée : Effet Splash. (Fig. 10).

Les pluies provoquent les premiers mouvements des particules du sol, brisent les agrégats et dispersent les particules par le rejaillissement des gouttes en les éjectant sur de courtes distances, les distances d'éjection dépendent de l'énergie d'impact qui est fonction de :

## CHAPITRE II: Etude des formes et processus de L'érosion hydrique

- Hauteur de la chute des gouttes de pluie ;
- Poids de la goutte de pluie ;
- Diamètre de la goutte de pluie ;
- Vitesse et direction du vent ;
- Érodibilité du sol ;
- Humidité initiale

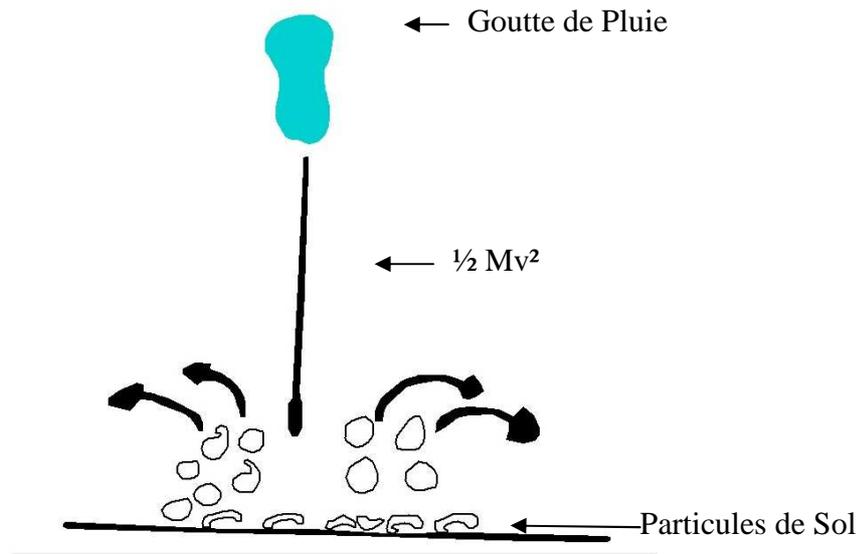
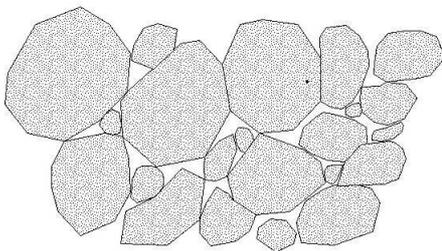


Figure 10 : effet Splash

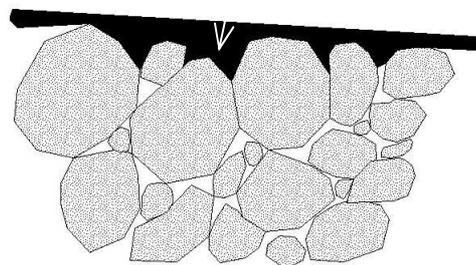
### II.2.1.2-Formation des croûtes de battance :

Elle désigne l'ensemble des phénomènes affectant la surface d'un sol dénudé soumis à une pluie, elle débute par l'augmentation de l'humidification du sol qui rend les particules vulnérable à l'éjection sous l'effet Splash, ensuite on assiste à une dispersion qui provoque une désorganisation, puis une redistribution qui réorganise les particules fines entre celles grossières, et enfin le passage progressif d'une surface rugueuse à la formation d'une croûte lisse et régulière appelée croûte de battance. (Fig. 11)

Formation d'une croûte de battance



1° Une surface de sol caractérisée par des agrégats bien individualisés et par la présence de très nombreux pores interstitiels.



2° La même surface après formation d'une croûte de battance qui limite très fort l'infiltration des eaux de pluie dans le sol.

Figure 11 : croûte de battance

### II.2.2-Érosion et transport des particules :

Dans la nature, l'eau se déplace sous l'effet de la gravité par ruissellement diffus, écoulement sub-surfacique, percolation ou écoulement concentré.

Ainsi, les matériaux se déplacent selon l'itinéraire que prends l'eau et l'érosion à lieu en nappe, ravinement ou mouvement de masse.

#### II.2.2.1-Érosion en nappe ou érosion diffuse :

Après saturation du milieu interstitiel, on remarque que le taux de ruissellement augmente par rapport à l'intensité des précipitations. A ce moment le ruissellement se déclenche et selon la pente on a une agglomération des gouttes en petits filets qui s'écoule d'une façon linéaire, les petits écoulements s'anastomosent, se rejoignent latéralement, fusionnent et forment une pellicule puis une nappe. le transport dans ce cas est sélectif et dépend de la pente, de l'intensité et de la durée de pluie ainsi que de la stabilité structurale et de la résistance des particules du sol. (Fig. 12).

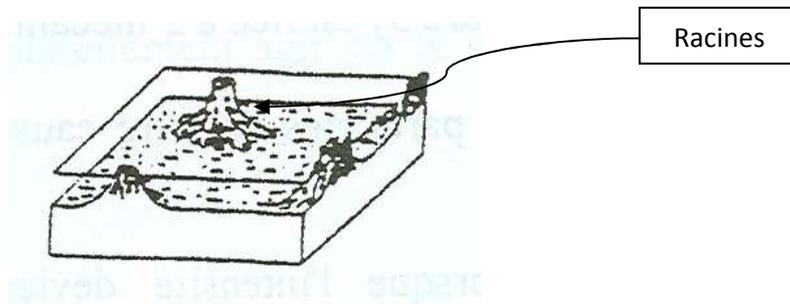


Figure 12 : érosion en nappe

Influence de la taille des particules :

La mise en suspension des particules dépend de leur taille et de leur cohésion. Ainsi les sables fins et les limons sont les plus facilement érodibles car leur résistance dépend de leur cohésion, en ce qui concerne les particules grossières, elles nécessitent un écoulement fort car elles résistent par friction.

Influence de l'impact des gouttes de pluie :

Les gouttes de pluie contribuent à la mise en mouvement des particules, ce qui implique une augmentation de la charge solide qui peut être multipliée par deux ou trois lorsque la vitesse de ruissellement augmente.

Influence de la pente et de la longueur de la pente :

La pente joue un rôle important dans l'érosion hydrique, elle peut, selon son inclinaison, accélérer la vitesse du ruissellement et augmenter la charge solide.

Additionner à cela, que plus la longueur de la pente est grande plus la surface touchée par les incisions est grande, car sous l'effet de l'accélération par la gravité le ruissellement acquiert plus d'énergie.

#### II.2.2.2-Érosion en sub-surface :

Les mouvements d'eau en sub-surface sont : infiltration, percolation et écoulement hypodermique.

## CHAPITRE II: Etude des formes et processus de L'érosion hydrique

Ces mouvements sont contrôlés par l'arrangement géométrique des particules grossières, qui détermine la connectivité porale. L'entraînement des particules fines par l'eau s'effectue verticalement ou d'une façon oblique va constituer un lessivage pédologique.

L'eau peut transporter de la matière sous forme de solutés ce qui va contribuer à une dégradation et un appauvrissement des sols. En ce qui concerne l'écoulement hypodermique, il est presque parallèle à la surface du sol. Il a le pouvoir d'entraîner les particules ou les éléments nutritifs à travers les pores, en plus de sa capacité à creuser des tunnels qui peuvent être responsables d'affaissement ou de suffusion.

### II.2.2.3-Érosion par écoulement concentré :

Erosion en rigoles :

Elle est la première forme d'incision linéaire qui affecte les sols. Elle est associée le plus souvent aux terrains de culture, lorsque le ruissellement s'intensifie on observe une concentration puis un creusement de quelques centimètres de profondeur, la formation des incisions et d'autant plus rapide que la pente est forte, la pluie est intense ou lorsque le cisaillement exercé par l'écoulement dépasse le seuil de résistance.

Erosion en ravines :

Se sont des formes d'érosion linéaire qui naissent soit par évolution des rigoles, soit par une dissection profonde du sol qui crée une rupture de pente brutale. Ces ruptures peuvent favoriser la naissance des ravines.

Erosion en ravins :

Les ravins peuvent correspondre à une évolution en profondeur, en longueur et en largeur des ravines, les formes d'évolution sont diverses et sont surtout liées à la lithologie.

Lorsque le ravinement affecte littéralement le versant, on parle de ravinement généralisé ou « Bad Lands ».

### II.2.2.4-Mouvement en masse : solifluxion

C'est un ensemble de mouvement de terrain allant de petits arrachements pelliculaires aux grands glissements rotationnels profonds. Ces mouvements sont liés à la perte de cohésion entre les particules du sol quand il est riche en argile.

En revanche, les glissements se manifestent lorsque le sol devient plastique ou liquide, et on assiste soit à un glissement superficiel ou rotationnel.

Glissement superficiel ou pelliculaire :

Correspond à un mouvement d'une masse limitée par deux plans parallèles lorsque la limite de plasticité des minéraux est atteinte, suivi d'une désolidarisation du reste du versant puis glissement sous l'effet de la gravité. Le plan inférieur correspond généralement à la surface de labour ou la base du manteau d'altération. Sur ce plan l'eau coule et constitue un lubrifiant qui fait glisser la masse au dessous.

Glissement rotationnel :

C'est un mouvement spectaculaire qui affecte des quantités considérables de matériaux.

L'eau est l'agent principal dans le déclenchement des glissements rotationnels en plus de la pente, la tectonique et l'action humaine.

## CHAPITRE II: Etude des formes et processus de L'érosion hydrique

On distingue deux facteurs qui contribuent au déclenchement des glissements rotationnels :

Passifs : liés a la nature du substrat et produit dérivés tels la lithologie, la fracturation, le pendage, disposition structurale et exposition ;

Actifs : liés aux agents de l'érosion tels le climat, la végétation et les activités humaines. (Fig. 13)

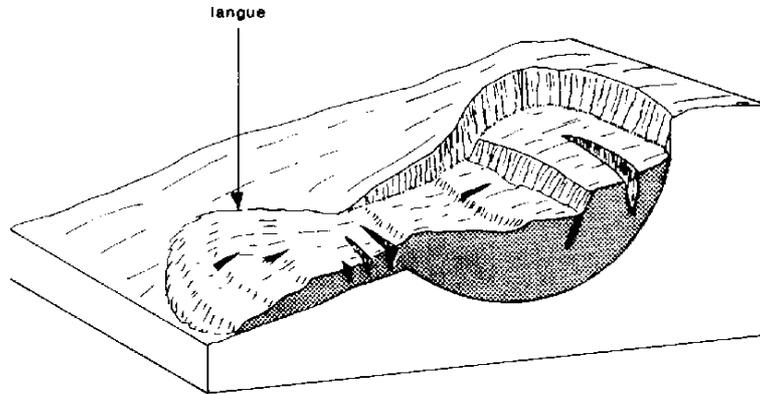


Figure 13 : glissement rotationnel

### II.2.2.5-Erosion par les cours d'eau :

Cette érosion résulte de la turbulence des eaux courantes lors des crues.

Elle se manifeste par le sapement des berges ou l'ablation des fonds des chenaux.

La capacité se transporter est fonction de l'énergie et la vitesse des cours d'eau ce qui implique qu'un chenal est en équilibre quant toute l'énergie est dépensée dans le transport des sédiments, ce qui veut dire : que si la charge en sédiment est faible, l'énergie disponible est utilisée pour l'érosion des berges. (Fig. 14)

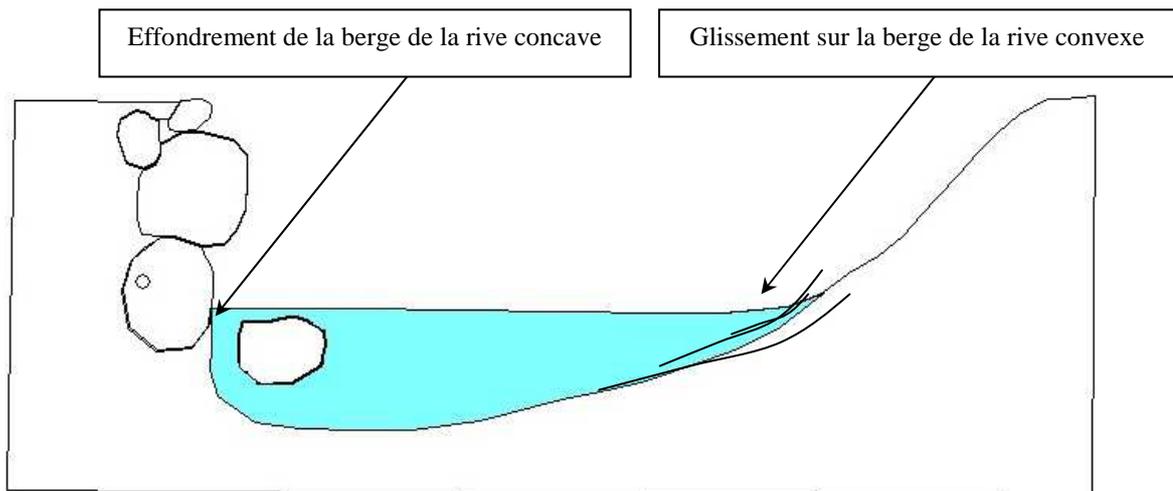


Figure 14 : Erosion par les cours d'eau

## **CHAPITRE III**

# **Estimation des états érosifs par la méthode de l'érosion potentielle**

## Introduction

L'érosion potentielle est une méthode d'étude qualitative de l'érosion hydrique, qui permet d'hierarchiser la surface d'un bassin versant en unités distinctes selon la vulnérabilité à l'érosion et de déterminer les zones les plus fragiles potentiellement pourvoyeuse de sédiments.

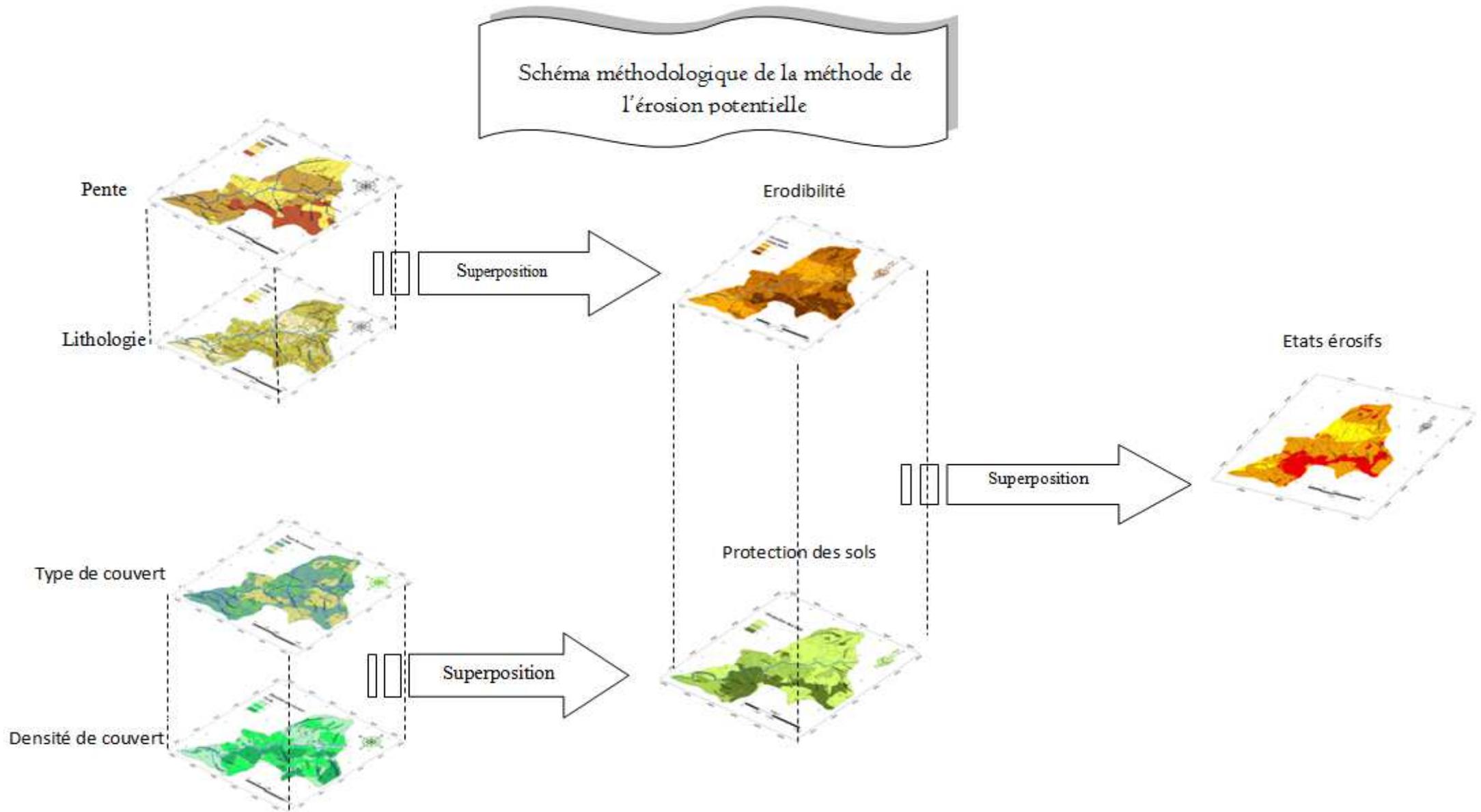
Elle se base sur la cartographie thématique des facteurs de l'érosion, notamment l'Erodibilité des sols, la pente, l'occupation des sols et la densité de couverture végétale.

Pour chaque carte, le facteur est présenté en trois classes, on attribue pour chaque classe une valeur qui correspondent aux degrés d'influence du facteur sur l'érosion.

La superposition des différents polygones des cartes et la sommation des valeurs aboutit a une carte d'érosion potentielle dans laquelle les zones où coïncident les degrés d'influence élevés des différents facteurs correspondent aux zones les plus vulnérables à l'érosion et vis versa.

Pour ceci, nous devons tout d'abord réaliser la carte d'Erodibilité qui est le résultat de la superposition de la carte des pentes et celle des lithofacies puis la carte de protection des sols qui résulte de la superposition de la carte d'occupation des sols et de la densité de recouvrement, et enfin la carte des états érosifs qui est le produit final de la superposition de la carte d'Erodibilité et de la carte des degrés de protection des sols. L'organigramme présenté ci-dessous explique le schéma méthodologique de la méthode de l'érosion potentielle

### CHAPITRE III: Estimation des états érosifs par la méthode potentielle



### III.1-Elaboration de la carte d'Erodibilité :

Pour l'élaboration de la carte d'Erodibilité, commençons par expliquer les étapes de réalisation de la carte des pentes puis, celle des lithofacies. La superposition de ses dernières va constituer la carte d'Erodibilité, qui est une combinaison des entités de chaque carte.

#### III.1.1-Carte des pentes :

Pour la réalisation de la carte des pentes (Fig. 14), on a utilisé le SIG pour découper le MNT du Maroc de résolution 30m de coté de pixel et pour classer les pentes suivant les classes voulues. La démarche commence par une délimitation de la zone d'étude, après on superpose le polygone résultant sur le MNT et grâce à l'extension \ extraction \ Masque on obtient un MNT délimité suivant les coordonnées du bassin d'étude, après, et afin de réaliser la carte avec les classes propres a la méthode potentielle, on a utilisé l'extension spacial analyst \ slope\ qui permet de diviser le terrain en polygones de classes différentes. Pour le calcul des surfaces de chaque classe, on a utilisé l'utilitaire de calcul des surfaces qui après une transformation du fichier Raster en un fichier vectoriel de rassembler les classes de pentes dans des polygones.

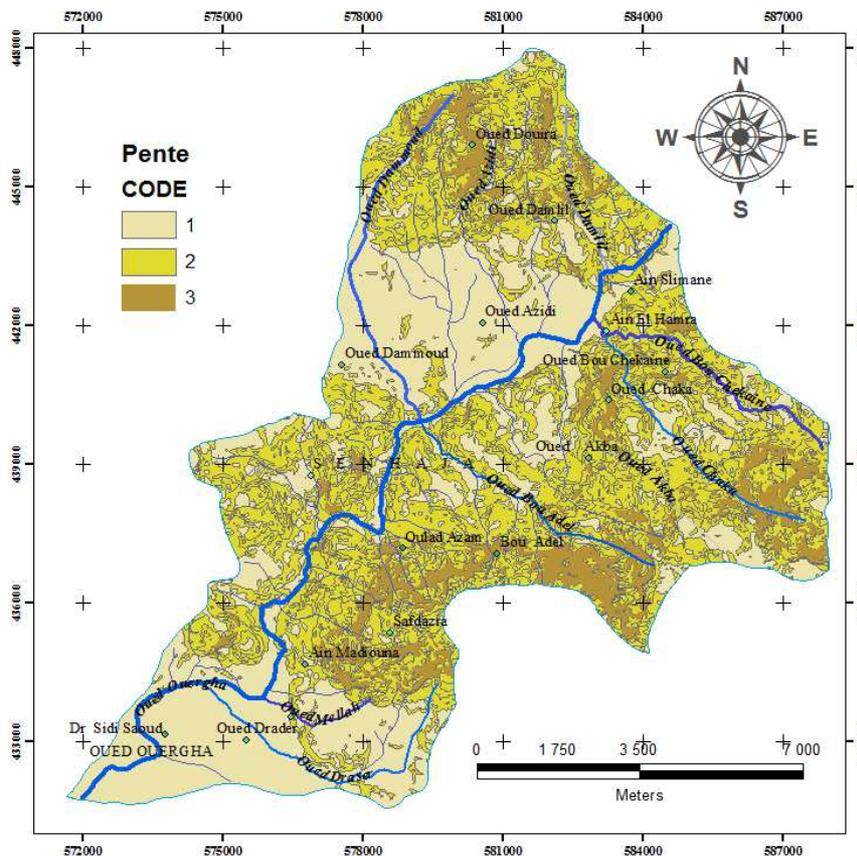


Figure 14 : Carte des pentes

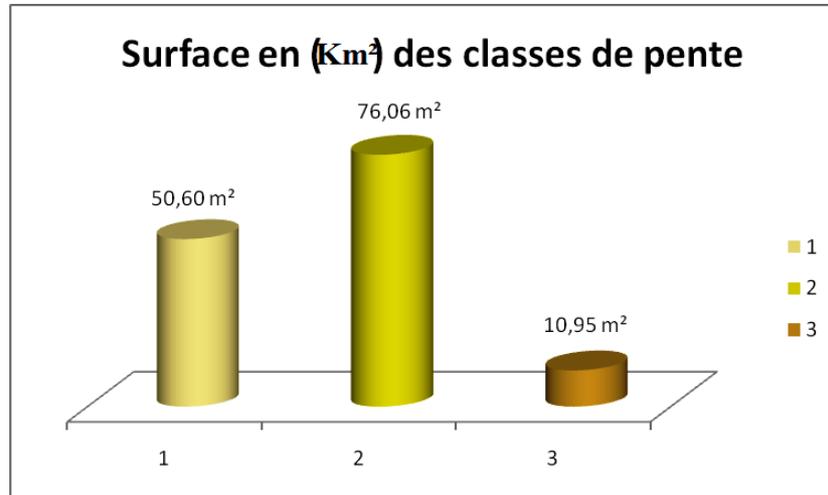


Diagramme 4 : Surface en Km<sup>2</sup> des classes de pente

Classes	Code	Superficie	Type de pente
0 - 7 %	1	45,60 km <sup>2</sup>	Faible
7- 30%	2	70,06 km <sup>2</sup>	Moyenne
> 30%	3	10,95 km <sup>2</sup>	Forte

Tableau 2 : Classes des pentes en fonction des superficies en Km

### CHAPITRE III: Estimation des états érosifs par la méthode potentielle

L'analyse du diagramme (Diag. 4), ainsi que le tableau des classes des pentes (Tab. 2) a donnée les superficies relatives à chaque type de pente. Les résultats obtenus montrent une superficie de 50,60 m<sup>2</sup> pour la pente faible ; 76,06 m<sup>2</sup> pour la pente moyenne et seulement 10,59 m<sup>2</sup> pour la forte pente.

Donc Notre bassin témoigne d'une pente moyenne, sauf dans les extrémités des versants qui montre un degré de pente fort, ce qui va rendre l'activité des eaux d'écoulement plus forte, L'ablation va nettement l'emporter sur l'accumulation.

#### III.1.2-Carte des lithofacies :

La carte des lithofacies a été réalisée à partir des données géologiques, lithologiques, elle identifie les différents types de roches ou de sédiments/sols de surface, classés selon leur degré relatif de cohésion et de résistance mécanique et technique à l'érosion. (Fig. 15)

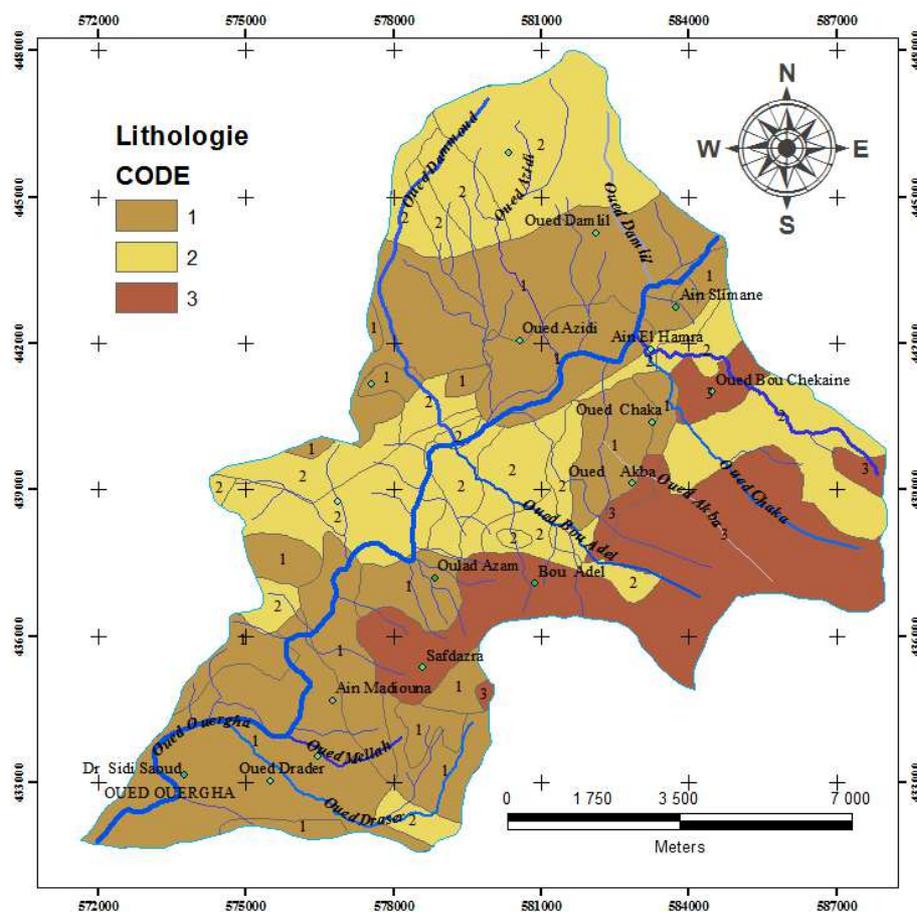


Figure 15 : Carte de lithologie

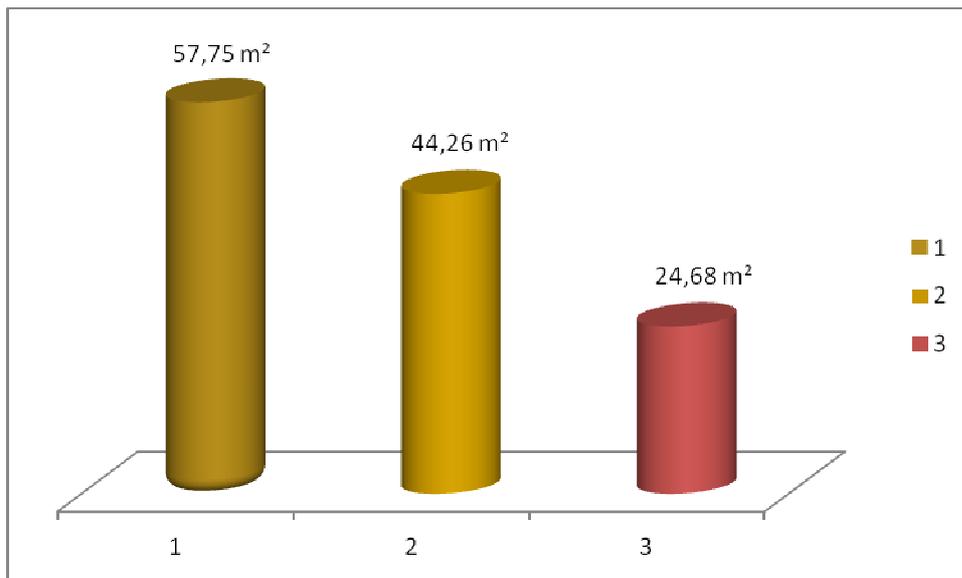


Diagramme 4 : Superficie en Km<sup>2</sup> des facies lithologiques

Code	Type de matériel	Superficie
1	Tendre	57,75 Km <sup>2</sup>
2	Moyennement résistant	44,26 Km <sup>2</sup>
3	Résistant	24,68 Km <sup>2</sup>

Tableau 3 : Classes des types de matériel en fonction de la superficie en Km<sup>2</sup>

D'après le diagramme des superficies (Diag. 4) et son tableau (Tab. 3) les matériaux tendres se répartissent fortement vers l'aval, mais aussi un peu vers l'amont avec une superficie dominante de 57,75 Km<sup>2</sup>

Les matériaux moyennement résistants avec 44,25 Km<sup>2</sup> ont les retrouvent vers l'amont ainsi que la partie médiane du bassin.

Les matériaux résistants se trouvent uniquement sur la partie Sud du versant (SE) par rapport a l'oued Ouergha avec seulement 24,68 Km<sup>2</sup> du territoire.

### CHAPITRE III: Estimation des états érosifs par la méthode de l'érosion potentielle

On remarque que les matériaux tendres ainsi que les matériaux moyennement résistants sont situés là où la pente est relativement faible, dans la partie médiane et vers l'amont du bassin.(Fig. 15).

ceci va se répercuter sur le taux d'érosion que va subir cette région du bassin, alors que les matériaux résistants se situent là où la pente est assez forte, dans les hautes altitudes. Sur ces zones la quantité de matériaux érodés sera relativement faible.

#### III.1.3-Elaboration de la carte d'Erodibilité :

La carte de l'Erodibilité (Fig. 16) est le résultat de la superposition de la carte des pentes et de la carte des lithofacies. Les polygones résultant de la superposition des deux cartes de référence sont classés selon le degré d'Erodibilité avec des codes allant de 1 à 3.

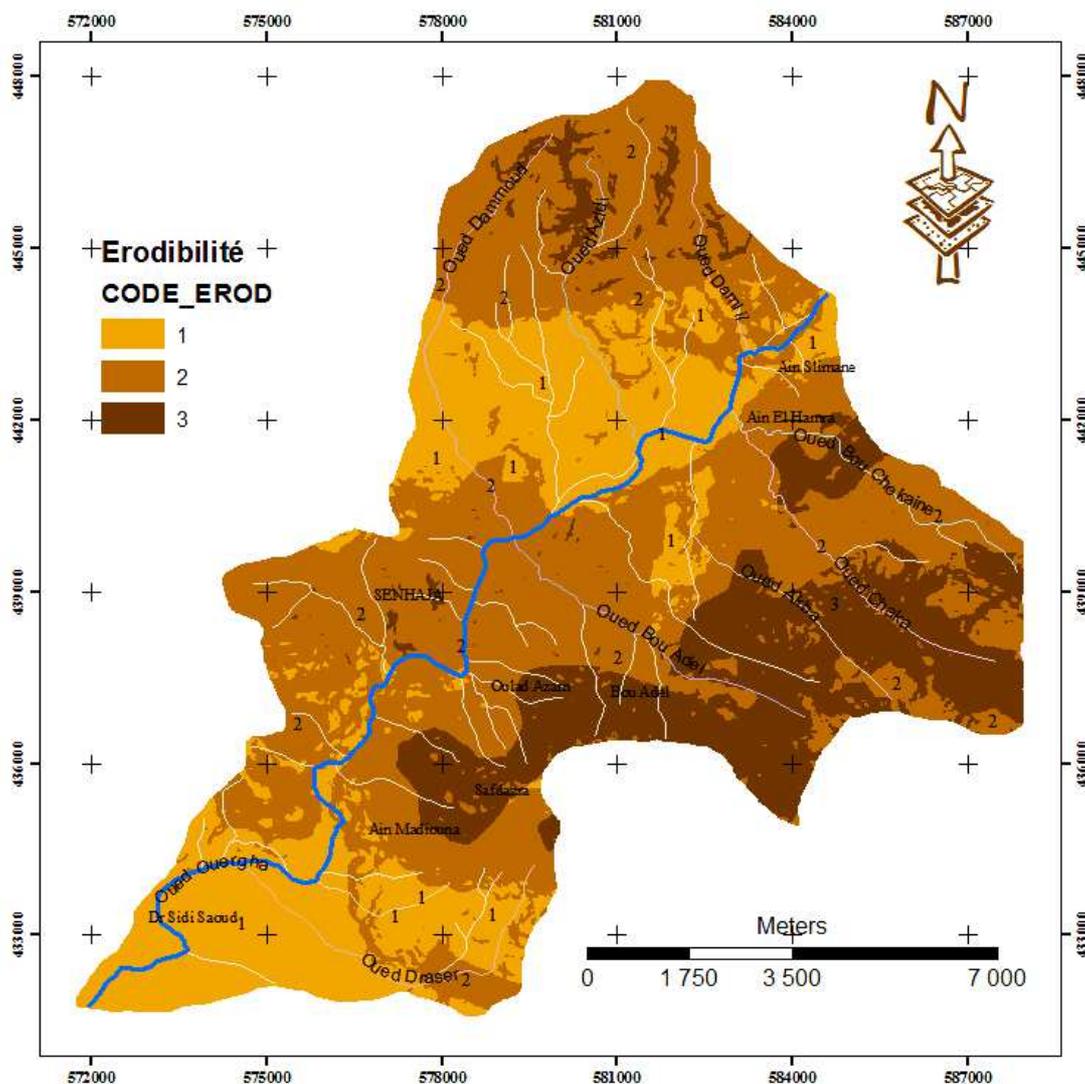


Figure 16 : Carte d'Erodibilité de la région de Bou Adel

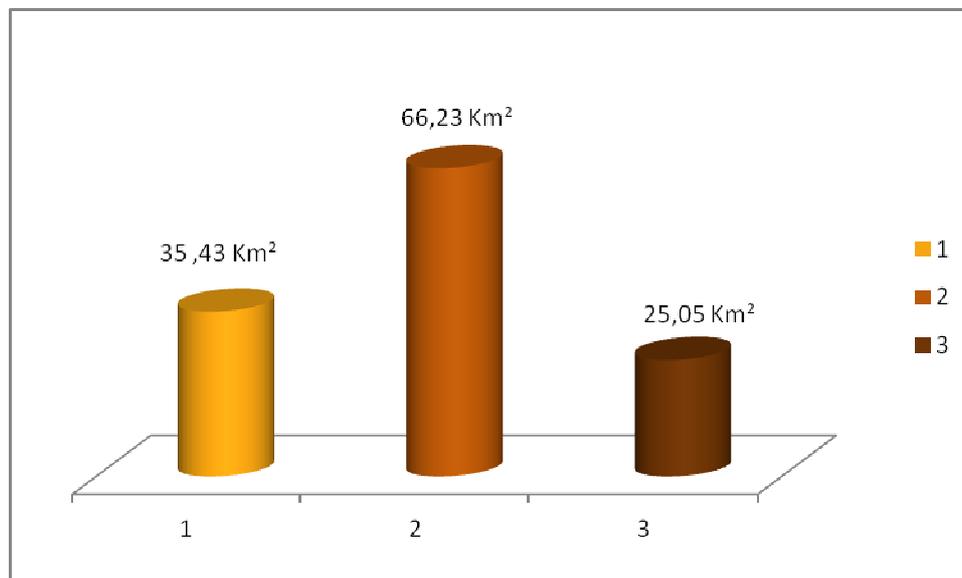


Diagramme 5 : Superficie en Km<sup>2</sup> du degré d'érodibilité

Code	Degrés d'Erodibilité	Superficie
1	Faible	35,43 Km <sup>2</sup>
2	Moyenne	66,23 Km <sup>2</sup>
3	Fort	25,05 Km <sup>2</sup>

Tableau 4 : Classes des degrés d'érodibilité en fonction de la superficie en Km<sup>2</sup>

La répartition des différentes classes d'Erodibilité comme le montre le diagramme (Diag. 5), suit en quelque sorte le canevas dessiné dans les carte des pente et des lithofacies, là où la pente est forte et/ou le terrain est de faible résistance, l'Erodibilité est toujours extrême.

En effet, la classe correspondante au code (1) faible degrés d'Erodibilité coïncide avec une section où le matériel ainsi que la pente sont faibles, ceci va donner en occurrence une Erodibilité faible vers l'aval, ainsi que sur une partie le versant (NW) avec 33,43 Km<sup>2</sup> du territoire.

Cependant, la plus grande superficie 66,23 Km<sup>2</sup> représente les degrés l'Erodibilité moyen, cette partie montre un faciès moyennement résistant et une pente moyenne, l'Erodibilité se voit

### CHAPITRE III: Estimation des états érosifs par la méthode de l'érosion potentielle

atténuer du faite de l'association d'un matériel et une pente moyenne, on lui a affecté le code (2), remarquable tout au long de l'oued Ouergha sur les deux versant.

Le code (3) quant a lui est porté par les degrés le plus extrême de l'Erodibilité, là ou les altitudes sont fortes donc les pentes aussi, ainsi que la présence d'une lithologie composée de matériel résistants et ne figure que sur la partie extrême sud du versant (SE).

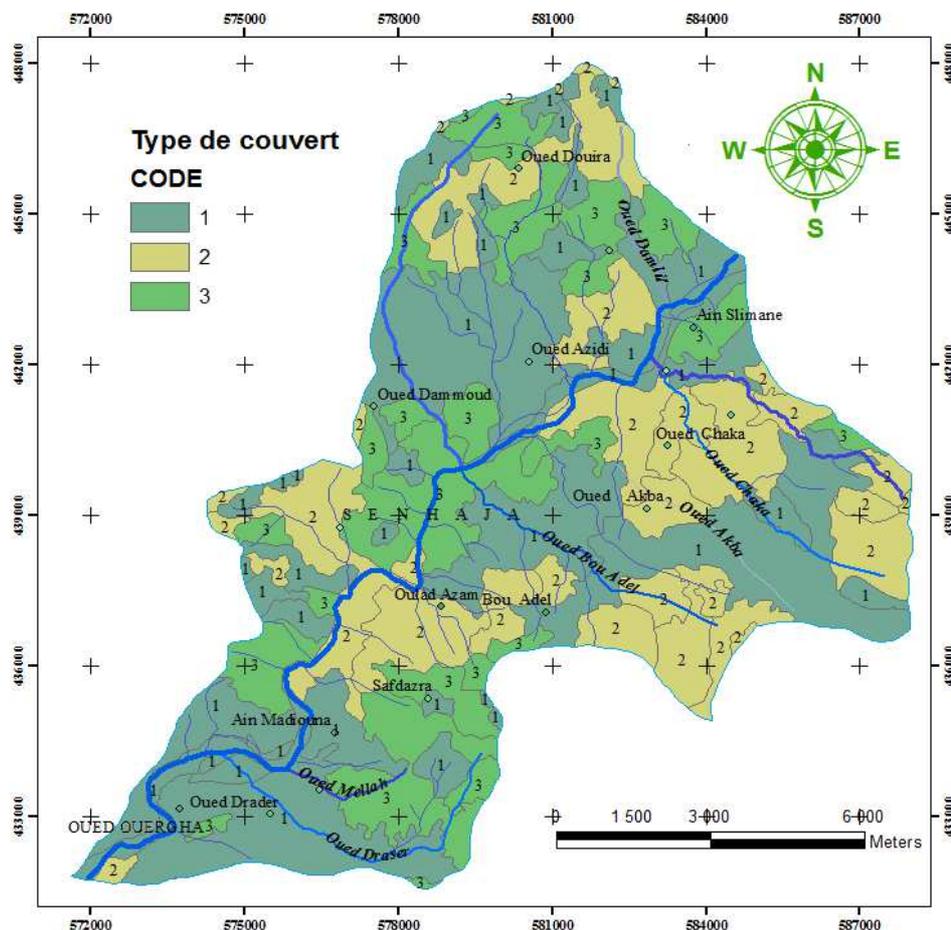
#### III.2-Elaboration de la carte de protection des sols :

La carte de protection des sols (Fig. 19) est réalisée à partir de la superposition de la carte d'occupation des sols et celle de densité de recouvrement par le couvert végétal. En ce qui concerne la première, elle a pour objectif de diviser le terrain en polygones selon le type de couvert végétal (matorral claire ou dense, forêt, reboisement ...) ou de culture (arboriculture, culture sèche, culture intensive maraîchage ...). La seconde quand à elle, tient compte de la densité du couvert végétal. Elle a pour objectif de corriger la carte d'occupation des sols.

##### III.2.1-La carte d'occupation des sols :

La carte d'occupation des sols (Fig. 17) est réalisée sur la base de la carte de végétation (AEFCS 1994). Après calage et digitalisation des polygones selon le type de couvert végétal.

Figure 17 : Carte d'occupation des sols de la région de Bou Adel



### CHAPITRE III: Estimation des états érosifs par la méthode de l'érosion potentielle

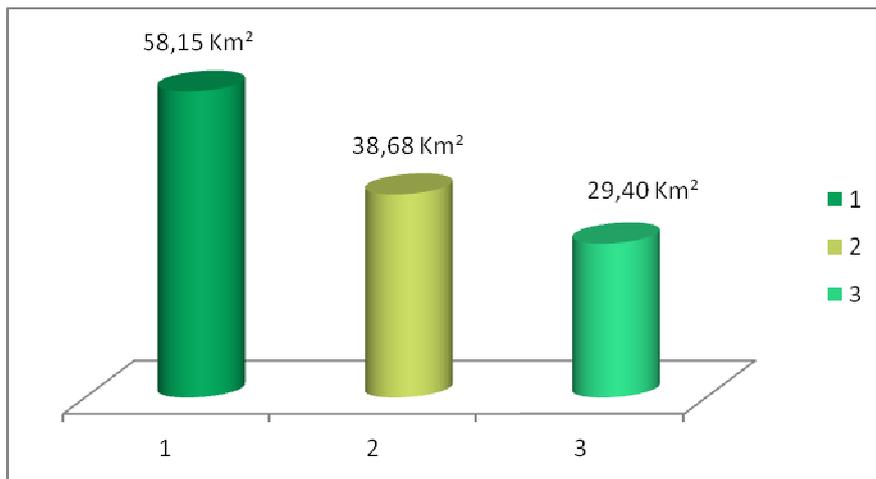


Diagramme 6: surface en Km<sup>2</sup> des classes d'occupation des sols

Code	Degrés d'occupation	Superficie
1	Faible	58,15 Km <sup>2</sup>
2	Moyen	38,68 Km <sup>2</sup>
3	Fort	29,40 Km <sup>2</sup>

Tableau 5 : Classes des degrés d'occupation des sols en fonction des superficies en Km<sup>2</sup>

D'après l'analyse de la base de données (Diag. 6) et (Tab. 5), on remarque que la carte se divise en trois parties avec 3 codes de 1 à 3.

Le code (1) correspond à une faible occupation du sol avec 58,15 Km<sup>2</sup>, vers l'amont ainsi que la partie médiane : se sont des cultures en sec ou des lits d'oued ou bien des zones d'arboriculture.

Le code (2) représente la classe de moyenne occupation avec 38,68 Km<sup>2</sup> du territoire ce localisant un peu partout sur la carte.

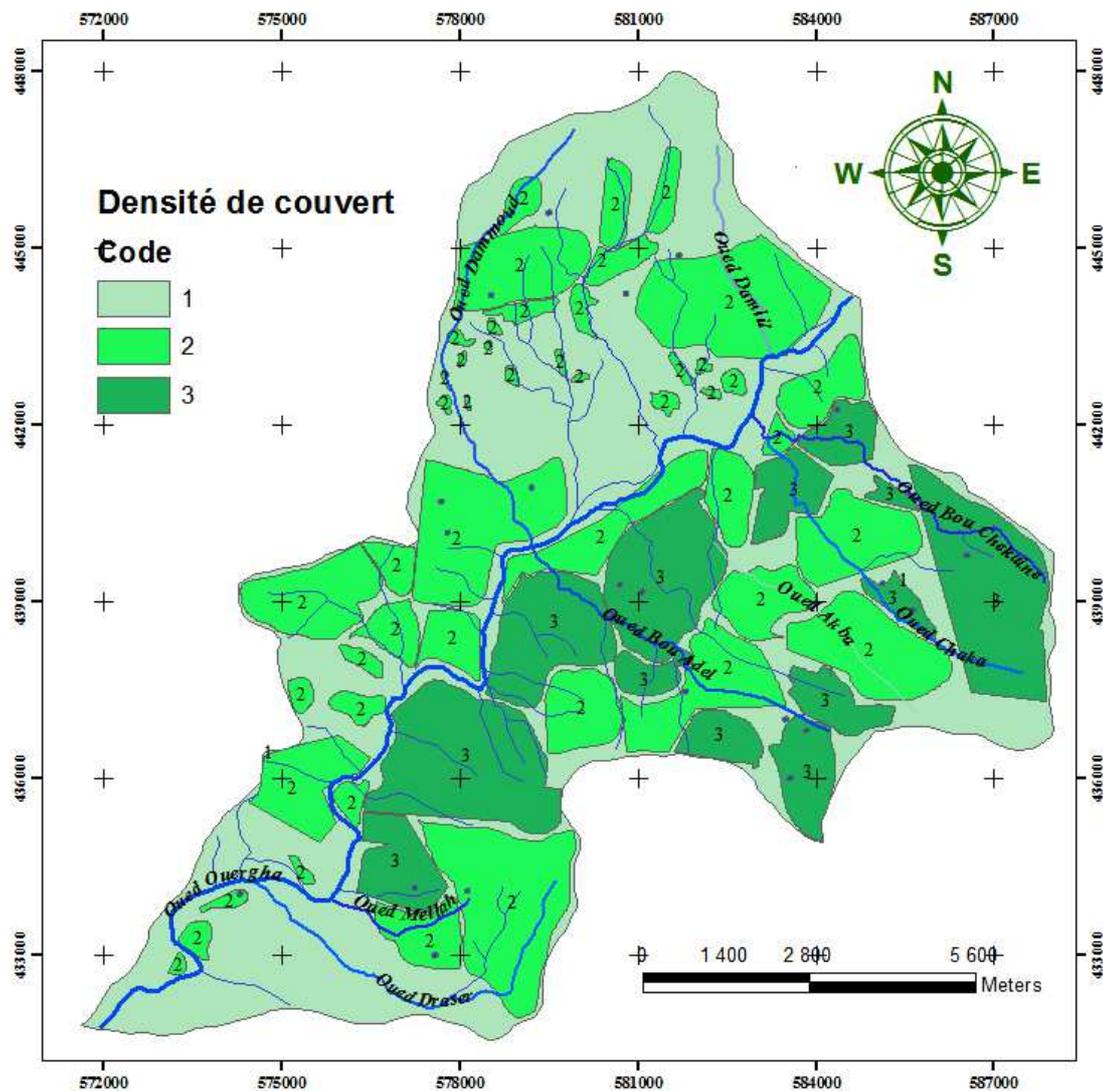
Le code (3) qui représente le degré de forte occupation ne se voit attribuer que 29,40 Km<sup>2</sup> de la surface totale, à dire que l'occupation de végétation dense (forêts et matorrals) n'est que rarement existante au sein de la région ce que la vulnérable à toute forme d'érosion.

### III.2.2-Carte de densité de couvert végétale :

La carte de la densité de recouvrement (Fig. 18) à été réalisée à partir d'un navigateur satellitaire qui permet la digitalisation in situ des différents thèmes voulus. Le résultat est une cartographie de la région de Bou Adel en polygones selon la densité de recouvrement.

La carte d'occupation des sols ou de densité de couvert, est réalisée sur la base de la carte de végétation (AEFCS 1994) rectifié par interprétation d'image satellitaire. Après analyse de la base de données : le diagramme du pourcentage de densité de couvert, ainsi que la carte de densité.

Figure 18 : Carte de densité de couvert végétale



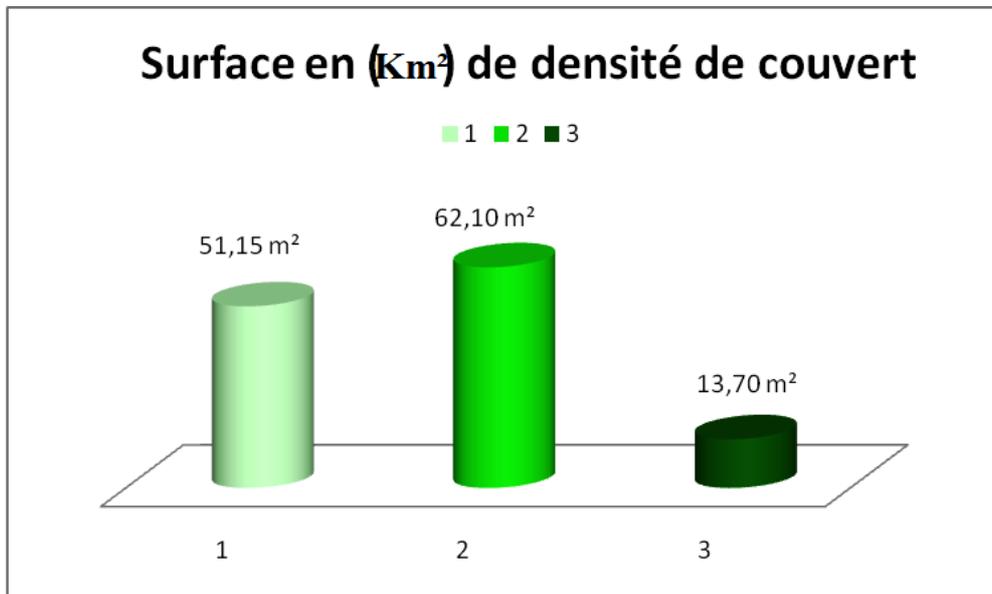


Diagramme7 : Surface en Km² de la densité de couvert vegetal

Code	Degrés de densité	Superficie
<b>1</b>	Faible densité	51,15 Km²
<b>2</b>	Moyenne densité	62,10 Km²
<b>3</b>	Forte densité	13,70 Km²

Tableau 6 : Classes des degrés de densité en fonction des superficies en Km²

La répartition se fait comme suite : 51,15 Km² de densité faible ; 62,10 Km² de densité moyenne et 13,70 m² de forte densité. (Diag. 7) et ( Tab. 6).

Le recouvrement de faible densité l'emporte avec 51,15 m², ceci pourrait jouer en faveur de l'érosion au sein de la région, autant plus que les types de couvert dominants sur cette surface sont des herbes et des sols nus rocheux ou lits d'oued, vers l'amont mais aussi tout au long de l'oued et sur les deux versants, ceci est point en faveur de l'érosion qui, additionner aux conditions de lithofacies et de pente présente sur cette zone fortement exposée à l'érosion.

A noté que toute la superficie de 13,70 Km² de couvert dense se regroupe sur le versant (SE) et tout au long de l'Oued d'Ouergha qui traverse la région de Bou Adel, sachant que la

### CHAPITRE III: Estimation des états érosifs par la méthode de l'érosion potentielle

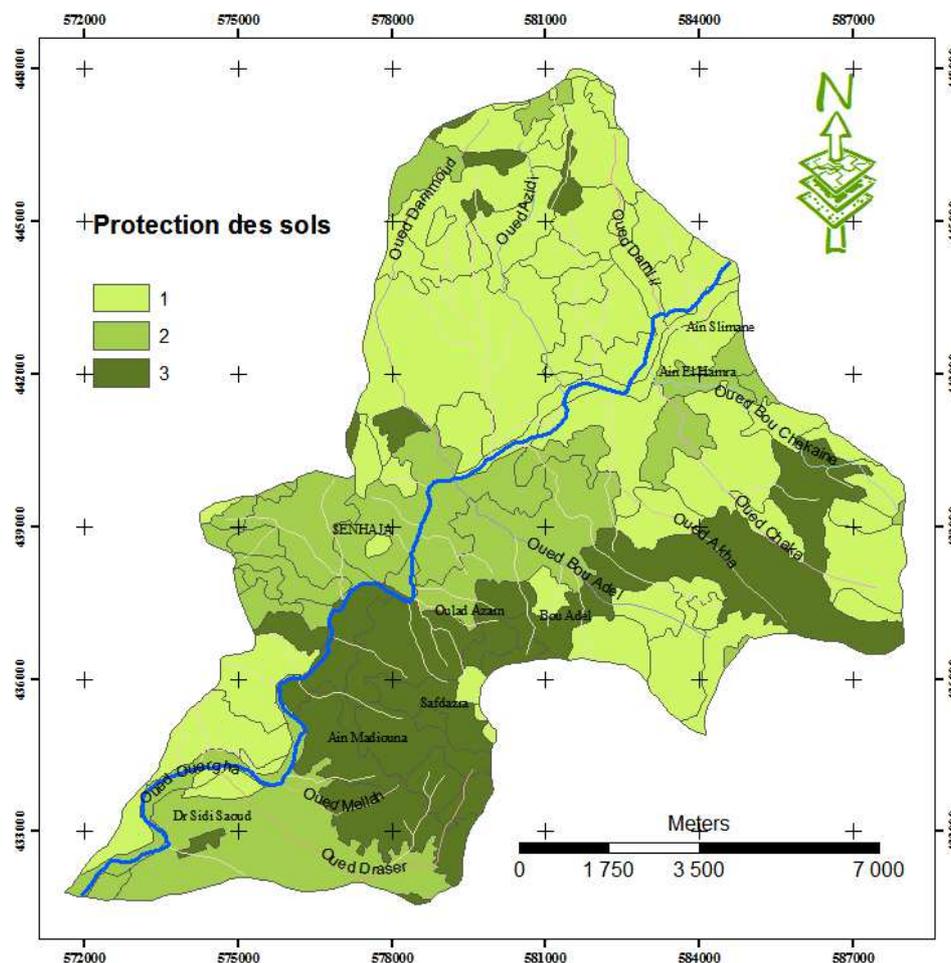
lithologie de cette région est moyennement résistante et que la pente est moyenne à forte par localité, ceci pourrait jouer en faveur de la protection qui serait assez moyenne dans cette zone en comparaison avec les autres zones où la densité est faible.

#### III.2.3-Elaboration de la Carte de protection des sols :

L'élaboration de la carte de degrés de protection des sols (Fig. 19) est faite par la superposition de la carte d'occupation des sols et la carte de densité de recouvrement. Les degrés de protection des sols sont obtenus grâce à l'application d'une méthode qui consiste à avoir :  $\text{polygone1} + \text{polygone1} = 2$  : le (2) est remplacé au sein de la base de donnée par le code (1) ; puis les polygones portant les valeurs (3) et (4) par le code (2), et ceux ayant les valeurs de (5) et (6) par le code (3).

L'objet de cette carte est d'hierarchiser le bassin en polygones selon le degré de protection. L'utilité de cette étape s'avère nécessaire dans la mesure où elle permet de détecter les zones à faible ou à forte protection et par conséquent les zones noires qui nécessitent des interventions urgentes et rapide par le reboisement pour fixer et stabiliser le sol.

Figure 19 : Carte de protection des sols de la région de Bou Adel



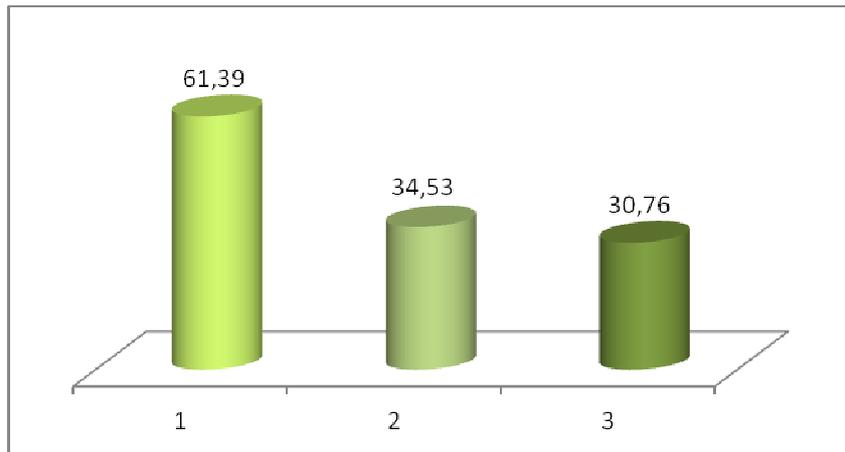


Diagramme 8 : Surface en Km<sup>2</sup> du degré de protection des sols

Code	Degrés de protection	Superficie
1	Faible protection	61,39 Km <sup>2</sup>
2	Moyenne protection	34,53 Km <sup>2</sup>
3	Forte protection	30,76 Km <sup>2</sup>

Tableau 7 : Classes des degrés de protection en fonction des superficies en Km<sup>2</sup>

La répartition des classes de protection du sol (Tab. 7) montre que les zones de très faible protection se trouvent partout dans le bassin, en aval mais aussi en amont, zone qui abrite un lithofacies et une pente faible et qui couvre la grande majorité du bassin avec 61,39 Km<sup>2</sup> de superficie. Ceci représente un réel danger pour la région car protection faible rime avec exposition grande à l'érosion.

Les zones de protection moyennes couvrent une superficie de 34,53 Km<sup>2</sup> et sont localisés dans la partie médiane du bassin ainsi qu'une petite parcelle en aval.

Les zones qui répondent au degré (3) forte protection ne couvrent que 30,76 Km<sup>2</sup> de la superficie totale et se localisent sur le versant (SE) sa partie sud plus exactement là où la pente et la lithologie sont fortes.

On peut dire que notre bassin est un bassin faiblement protégé d'après ce que le diagramme de répartition des surfaces et la carte de protection des sols ont montrés.

C'est un terrain très dégradé, qui a subi une forme érosion.

### III.3-Elaboration de la Carte des Etats érosifs :

La carte des états érosifs (Fig. 20) est réalisée à partir de la superposition de la carte d'Erodibilité et celle de la protection des sols, polygones résultant vont être classés comme suit :

Code de protection des sols	Code d'Erodibilité		
	1	2	3
<b>1</b>	1	1	2
<b>2</b>	1	2	3
<b>3</b>	2	3	3

Code (1) Faiblement érodé

Code (2) moyennement érodé

Code (3) Fortement érodé

Légende (codification) des états érosifs

Code	Superficie
<b>1</b>	19,50 Km <sup>2</sup>
<b>2</b>	80,16 Km <sup>2</sup>
<b>3</b>	26,90 Km <sup>2</sup>

Tableau 8 : classification par code des états érosifs en fonction des superficies en Km<sup>2</sup>

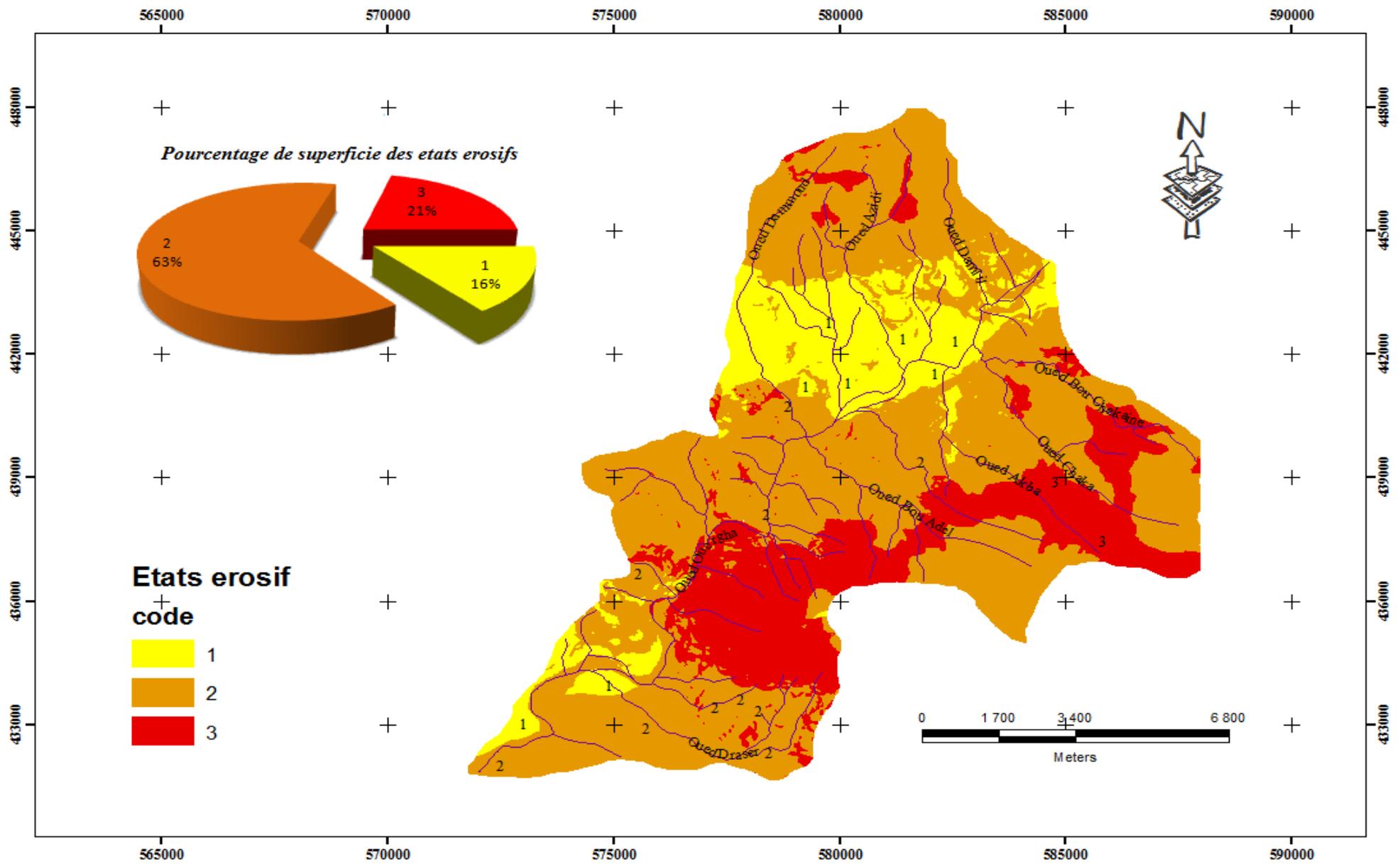


Figure 20 : Carte des états érosifs de la région de Bou Adel

### CHAPITRE III: Estimation des états érosifs par la méthode potentielle

Le résultat du traitement de la base de données de l'Erodibilité (Tab. 8) nous a permis de dégager plusieurs informations notamment sur en ce qui concerne les superficies relatives à chaque classe.

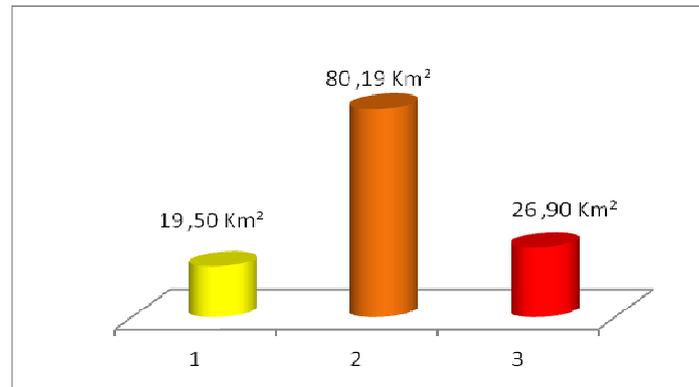


Diagramme 9 : Superficies en Km<sup>2</sup> des états érosifs

D'après le diagramme (Diag. 9) en battons et en fromages, l'état d'érosion dominant est l'état moyen avec une superficie de 80,19 Km<sup>2</sup> et 63% du pourcentage totale, se répartissant sur tout le bassin au long de l'Oued et vers l'aval. Ceci montre que notre région a plus au moins subi une érosion moyenne due a la nature de la pente, mais aussi au couvert, a la lithologie et au degrés de protection.

Des pentes fortes couplées à des terrains résistants donnent un terrain moyennement érodibles, le cas de notre bassin où la plus grande superficie répond à cet état d'érodibilité.

Les autres états se repartissent le reste de la surface totale avec 19,50 Km<sup>2</sup> et 16 % pour l'état faible qui est présenté vers l'amont et 26,90 Km<sup>2</sup> et 21% du pourcentage totale du bassin, représenté surtout sur le versant.

63% des terrains présentent une moyenne de prédisposition à l'érosion hydrique car la sommation des degrés d'influence des trois facteurs qui contrôlent l'érosion se voit moyen dans cette zone, Cela aura de grave répercussion à long terme si la qualité de protection est faible. Et on nous referons à la Carte de protection des sols, celle-ci montre un faible degré de protection avec un code (1) et un code (2) dominant. Ceci approuve le risque élevé d'érodibilité du terrain en question.

21% de la surface du terrain à une érosion potentielle forte, le reste soit 16% de la surface subit une faible érosion. C'est deux derniers pourcentage sont très proches ce qui laisse prévoir une érosion hydrique forte par zone de forte pente et de faible facies.

## **Conclusion générale :**

La quasi-totalité de ses terrains du bassin versant de l'oued Ouergha dans la région de Bou Adel ont subi des perturbations remarquables (dégradations des ressources naturelles, dégradation du couvert végétale) dues non seulement à certains effets naturels, mais aussi aux différentes interventions de l'Homme.

Les environnements forestiers malgré leur faible extension sur le territoire, sont fortement touchés par ces phénomènes de dégradation, on remarque une forte régression sous l'influence des conditions de la région.

Cette dégradation se manifeste par différents processus et formes d'érosion hydrique dans la région de Bou Adel. Devant cette menace qui pèse sur les ressources naturelles et sur l'économie en général, il est nécessaire d'intervenir selon une approche globale et novatrice qui permettra de concilier entre besoin importants d'une population, qui ne cesse d'augmentée et les potentialités limitées des ressources naturelles qui s'appauvrissent du fait de leur surexploitation combinée a une mauvais un usage, ainsi qu'un a degré d'érosion hydrique notable.

La cartographie et l'estimation de l'érosion hydrique potentielle, basée sur les facteurs naturels (pente, couvert végétal et lithologie) a permis d'hierarchiser le bassin versant de Bou Adel en parcelle en fonction du degré du risque érosif de 1 à 3.

La carte des états érosifs fournit des informations sur l'état actuel de la dégradation des sols en se basant sur les degrés d'influence des différents facteurs qui contrôlent l'érosion hydrique. La carte fait ressortir trois états : faible, moyen et fort. 63% des terrains présentent prédiction a l'érosion avec un état moyen d'érodibilité, 16% montre un état d'érodibilité faible, alors que 21% du territoire à un aspect de forte érodibilité.

Cette dégradation pourrait se manifester par différents processus et forme de l'érosion hydrique. On pourrait assister à une perte de sol de différentes manières :

L'érosion en nappe et le décapage, l'érosion en rigole et ravines, l'érosion en ravins, les mouvements de masse (liés à des événements pluvieux exceptionnels), ainsi que d'autre forme et processus de l'érosion hydrique. Ceci est notable dans les régions où règne une tendance a l'érosion, les zones où s'additionne forte pente, faible lithofacies et faible degré de protection, notamment en aval et tout au long de l'Oued Ouergha présent dans la région.

## Conclusion générale

Il est devenu nécessaire d'intervenir pour lutter contre l'érosion hydrique plus précisément vue l'ampleur des dégâts causés par celle-ci, selon une approche globale et novatrice qui permettra de concilier besoins et apports importants d'une population qui ne cesse de s'accroître selon le dernier recensement de 2004, et les potentialités limitées des ressources naturelles qui s'appauvrissent à vue d'œil suite à une surexploitation combinée au mauvais usage.

## Références bibliographiques

**ANDRIEUX J. (1971)** - La structure du Rif central. Etude des relations entre la tectonique de compression et les nappes de glissement dans un tronçon de la chaîne alpine. Notes et mem. Du serv. Géol. Maroc, 235, 155p.

**ASEBRY L., BOURGOIS J., DE LUCA P. & BUTTERLIN J., (1992).**- Importance d'une tectonique de distension pliocène dans le rif central (Maroc : la nappe de Ketama existe-t-elle ?, J. Africain Earth. Sci., 15, 49-57

**Cerdan 2001** - Analyse et modélisation du transfert de particules solide a l'échelle de petits Bessin versant cultivés. Thèse Univ. Orleans

**Majid Mansour Et Lahcen Ait Brahim B ;** rapport de la télédétection radar et du mnt à l'analyse de la fracturation et la dynamique des versants dans la région de bab-taza, rif, maroc

**Mesrar H. (2010)**- Application des directives du PAP/CAR et des outils SIG pour l'évaluation de l'érosion hydrique et la définition des facteurs causaux dans la partie aval du bassin versant de l'Oued Amzaz. 100p.

**Mesrar- H (2007)**- Etude des formes et processus de l'érosion hydrique par application de la méthode potentielle Fès-Maroc.

**Pujos A. (1958)** – Etudes des érosions dans le bassin de la Moulouya. SOGETIM, Maroc, administration des eaux et forets, 5 volumes, 1 carte de couvert végétale.

**Roose E. (1994)** – Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) Bulletin pédologique de la F.A.O. 70

**SADIKI, A. (2005).** Estimation des taux d'érosion et de l'état de dégradation des sols dans le bassin versant de Boussouab, Maroc nord oriental : Application du modèle empirique (USLE), de la technique du radio-isotope <sup>137</sup>Cs et de la susceptibilité magnétique. Oujeda: faculté des sciences.

**SUTER G. (1980)** – Carte géologique de la chaîne rifaine. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc. N°245.

**SUTER G., 1967.**- Note explicative de la carte géologique du rif, région de moyen Ouarrha (feuille de taounate, Aïn Aïcha, tissa) au /50000ème. Note et Mém. Serv. Géol. Maroc, n° 166 bis.

*Web-bibliographie :*

<http://www.crts.gov.ma/BulletinAgri/bulletin-31-12-2010.pdf>

<http://www.teledetection.net/upload/TELEDETECTION/pdf/20051024140223.pdf>

[http://www.hcp.ma/pubData/Demographie/RGPH/TAZA\\_AL\\_HOCEIMA\\_TAOUNATE.pd](http://www.hcp.ma/pubData/Demographie/RGPH/TAZA_AL_HOCEIMA_TAOUNATE.pd)