



Année Universitaire : 2021-2022



Licence Sciences et Techniques : Géorressources et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

Titre :

## Modélisation de l'érosion hydrique à l'échelle du bassin versant d'Oued Aggay

Présenté par :

**Kaoutar LAFDILI**

**Zineb ZAHER**

Encadré par :

**Pr. Rachid ZAHOUR, FST-Fès**

**Mr. Hafid MOUSTAKIM : Direction régionale des eaux et forêts, Fès.**

**Soutenu le mercredi 6 Juillet 2022, devant le jury composé de :**

**Pr. Said HINAJE, FST-Fès**

**Pr. Abdelali CHAOUNI, FST-Fès**

**Mr. Hafid MOUSTAKIL, DREF**

**Pr. Rachid ZAHOUR, FST-Fès**

**Pr. Mohamed EL FARTATI, FP-Khouribga: Invité**



---

Stage effectué à la direction régionale des eaux et forêts, Fès.

## *Remerciement*

Nos remerciements s'adressent d'abord à **Monsieur Mustapha IJAALI**, Doyen de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès.

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de notre stage et qui nous ont aidé lors de la rédaction de ce rapport, nous tenons tout d'abord à remercier Monsieur le directeur **Kamal Moutawakil**, qui par son avis favorable à ce stage d'avoir lieu.

Nous adressons mes remerciements à notre encadrant le professeur **Rachid Zahour** de la FST de Fès, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter nos réflexions. Et aussi nous remercions Également notre encadrant au stage **Mr. Hafid Moustakim**. Nous le remercions également de nous avoir encadrés avec patience et gentillesse et aussi pour ses explications et précieux conseils tout au long de ce stage.

Nos remerciements vont également à **Mr. Said Hinaje et Mr. Abdelali CHAOUNI**, qu'ils trouvent ici l'expression de notre gratitude pour avoir accepté de juger ce travail.

Nos remerciements s'adressent également à tout le corps professoral de la FST, plus particulièrement aux enseignants du département de l'environnement qu'ont assuré notre formation.

Nous tenons à remercier tous les employés du Haut commissariat des eaux et forêts.

Nous remercions nos parents et nos frères nos sœurs, pour leur soutien constant et leurs encouragements.

Nos remerciements s'adressent enfin à toute nous amis(e) et nos collègues étudiants de la FST de Fès.



## Sommaire

Remerciement.....	
.1	
Sommaire.....	
.2	
Liste des figures	
.....	3
Liste des tableaux	
.....	4
Liste des graphes .....	
5	

### Chapitre I : Introduction sur l'érosion hydrique au maroc

- 1- Cadre générale de l'étude
- 2- Présentation des outils de travail
- 3- Problématique: l'érosion hydrique

### Chapitre II : Cadre géographique et géologique

#### I- Cadre géographique.

1. Situation administrative
2. Hydrographie du bassin
3. La végétation

#### II- Cadre géologique

### Chapitre III : Etude du milieu physique du bassin Oued Aaggay

1. Morphologie du bassin
2. Aire et périmètre
3. La pente
4. Altitude
5. Lithologie
6. Occupation des sols
7. L'érosion



---

**Liste des figures :**

- Figure 1 : Carte de la situation administrative du bassin versant Oued Aggay  
Figure 2 : Carte représentant le réseau hydrographique  
Figure 3 : Les précipitations des régions avoisinantes  
Figure 4 : Diagramme représentant les précipitations moyennes annuelles  
Figure 5: Diagramme montrant les longueurs des ravins du bassin  
Figure 6 : Carte de la végétation  
Figure 7 : Situation géographique du bassin versant Oued Aggay  
Figure 8: Carte géologique du bassin versant Oued Aggay  
Figure 9 : Répartition des classes de pente du bassin versant Oued Aggay  
Figure 10 : Diagramme de la répartition des pentes du bassin versant Oued Aggay  
Figure 11 : Carte hypsométrique du bassin versant Oued Aggay  
Figure 12 : Carte géologique du bassin versant Oued Aggay  
Figure 13 : carte d'occupation des sols  
Figure 14 : Carte de l'érosion du bassin versant Oued Aggay

**Liste des tableaux :**

- Tableau 1 : Les précipitations des zones avoisinantes  
Tableau 2 : Les précipitations moyennes annuelles des stations  
Tableau 3 : Les caractéristiques morpho-métriques du bassin versant Oued Aggay  
Tableau 4 : La surface de chaque tranche d'altitude  
Tableau 5 : La dureté des roches dominantes  
Tableau 6 : La surface et le recouvrement de différentes occupations du sol  
Tableau 7 : Intensité de l'érosion

**Abréviations :**

- CES** : centre des études des sols  
**DEM** : Digital Elevation Model  
**SIG** : système informatique géographiques



## Chapitre I : Introduction générale

### 1. Cadre générale de l'étude

Dans le cadre de l'enseignement supérieur et la poursuite d'études dans la licence Sciences et Technique « Géoressources et Environnement » à la Faculté des Sciences et Technique Fès, le choix de notre stage a été un élément important pour l'intégration dans la vie active. Nous avons voulu un stage résolument orienté géomatique afin de nous rapprocher de l'utilisation des logiciels dans un secteur professionnel, nous avons effectué ce stage au sein du service d'études, d'aménagements et de planification, direction régionale des eaux et de forêts et de la lutte contre la désertification, qui nous a permis de réaliser des missions diversifiées.

L'objectif de cette étude est l'évaluation qualitative de l'érosion hydrique dans le bassin Oued Aggay, le contrôle de l'érosion, la prévention de la sédimentation des retenues des barrages, la réduction du risque d'inondation, et la mise en place les actions de préservation et reconstitution les ressources forestières.

### 2. Présentation des outils de travail

Pour réaliser notre travail, nous avons eu recours aux différents logiciels qui nous ont permis d'effectuer la suite des opérations conçues pour avoir les résultats souhaités.

➤ **ArcGIS** 10.2 (licences authentiques disponible au SEAP), est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde.

Nous avons commencé par la localisation du sous bassin puis l'actualisation des cartes thématiques de la zone d'étude, afin de déterminer l'état érosif de cette dernière, nous avons superposé les cartes descriptives d'occupation des sols, de végétation, de pente, du réseau hydrographique, et de lithologie. Nous traiterons également des cartes géologiques, d'érodibilité, d'hypsométrie, et des précipitations.



### 3. Problématique : Erosion hydrique

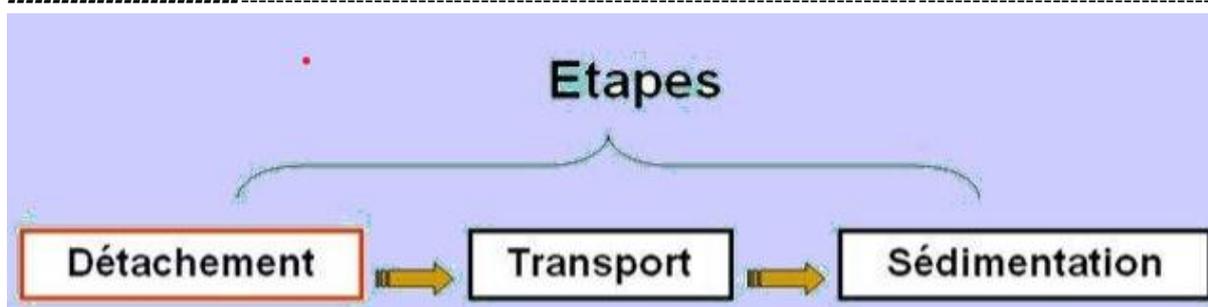
A l'échelle globale, l'érosion est un problème majeur, dont 40% de la superficie totale du globe terrestre est touché par l'érosion des sols.

L'ampleur des processus érosifs dépend des caractéristiques physico-chimiques du sol. L'érodabilité d'un sol est une estimation, fondée sur les caractéristiques physiques du sol, de la vulnérabilité de ce sol à l'érosion. L'érodabilité est surtout influencée par la texture du sol, mais elle est également par sa structure, sa teneur en matière organique et sa perméabilité. En général, les sols qui affichent une plus grande résistance à l'érosion sont ceux dans lesquels l'eau s'infiltré plus rapidement, ceux qui sont riches en matière organique et ceux dont la structure est améliorée. Les actions de CES permettent de réduire l'ampleur de l'érosion du sol en améliorant les caractéristiques physicochimiques du sol.

A titre d'exemple, les actions de CES, en amélioration le couvert végétal, améliore la teneur en matière en organique du sol, la structure du sol, la stabilité des agrégats, la rugosité de la surface du sol, et par conséquent améliore l'infiltration de l'eau dans le sol et réduit les risques de ruissellement et d'érosion.

#### 3.1. Erosion hydrique, les causes?

L'érosion hydrique est un processus majeur de dégradation des sols, où l'érosion génère des dommages importants en amont et en aval des structures hydrauliques, remettant en cause la durabilité de l'exploitation de ces dernières. C'est un phénomène compliqué, qui menace particulièrement les potentialités en eau et en sol. Elle se détermine comme le détachement et le transport de particules de sol de son emplacement d'origine par différents causes vers un lieu de dépôt. Donc, les trois étapes par lesquelles passe l'érosion sont le détachement, le transport et la sédimentation. Cependant, il est à signaler que la pluie et le ruissellement superficiel sont à l'origine du détachement, du transport et du dépôt des particules du sol arraché comme simplifié dans la figure suivante :



L'érosion des sols s'accroît 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 surplus apparaît soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol (ruissellement "Hortonien"), soit lorsque la pluie arrive sur une surface relativement ou entièrement saturée par une nappe (ruissellement par saturation).

Les principaux facteurs d'érosion, sont :

- les [précipitations](#) : érosion hydrique due à l'impact de la pluie sur le sol ( influencé par la [texture du sol](#), l'intensité des pluies, le [couvert végétal](#), le taux d'[infiltration](#) qui diminue sous l'effet du [gel](#), de l'[encroûtement](#) ou du [compactage de sol](#) et augmente avec les [techniques culturales simplifiées](#)), à la [fonte des neiges](#) ;
- L'influence de la pente (LS)
- L'érosion des sols est favorisée par plusieurs facteurs anthropiques : [artificialisation](#) et imperméabilisation des sols, [déforestation](#), pratiques de travail du sol ([labourage](#) qui favorise la [minéralisation](#) de la [matière organique](#))

### 3.2. Impact de l'érosion

L'érosion hydrique constitue une des contraintes majeures au développement durable.

Parmi les répercussions négatives de l'érosion hydrique on trouve :

- L'appauvrissement et l'amincissement du sol et surtout de sa couche arable
- La diminution de la fertilité des sols par la perte en terre et l'appauvrissement en éléments nutritifs et en matière organique ce qui conduit à la régression de la production ;
- La diminution de la valeur foncière des terres agricoles à cause de la diminution de la fertilité,



- La régression du patrimoine végétale (forêts et parcours) et de sa biodiversité,
- L'altération de la qualité de l'eau potable par la turbidité et l'eutrophisation (Elaloui, 2017).

### 3.3. Les actions de lutte contre l'érosion.

La présence de végétaux peut limiter considérablement les phénomènes de ruissellements. Lorsque les végétaux sont absents, par exemple dans les zones très urbanisées (autoroutes, routes, trottoirs, maisons...), aucun obstacle ne peut réduire le ruissellement des eaux de pluies. De même, dans les zones déboisées en vue de mettre des cultures, les sols sont exposés à une forte érosion. Lors de précipitations, les substances du sol sont facilement emportés par l'eau qui se rassemble progressivement, creuse des sillons, des ravines et des ravins dans les paysages, notamment en zones montagneuses, arrachant au passage les racines des végétaux fragiles.

Une végétation assez dense protège rentablement le sol contre l'impact de la pluie. Les feuillages et les branches bloquent les gouttes qui mettent plus de temps à parvenir dans les cours d'eau. De plus le feuillage produit un effet brise-vent qui freine l'évaporation de l'eau et limite le déplacement des particules transportées par l'air. Les feuilles et branches qui tombent sur le sol l'enrichissent d'humus par décomposition de la matière organique.

## Chapitre II : Cadre géographique et géologique

### I. Cadre géographique

#### 1. Situation administrative

Le bassin de l'Oued Aggay est situé au Sud-Est du bassin hydrologique de sebou, l'Oued Aggay qui constitue le drain principale du bassin est progressivement alimenté tout au long de son cours par de petites sources.

Le bassin versant d'Ouead Aggay, se situe dans la province de Sefrou, region Fès-Meknès. Géologiquement, il appartient à la partie septentrionale du cause moyen atlasique à 20 km au SE de la ville de Fès à 46 km au NW de Boulmane elle s'étend entre les coordonnées LAMBERT X1=540000 / X2= 568000 (figure1).

Y1= 332000/ Y2=368000 .Elle est limitée au nord par la plaine de Saiss, à l'ouest et au SW par la cause de Imouzzar à l'Eest par le Moyen Atlas plissé.

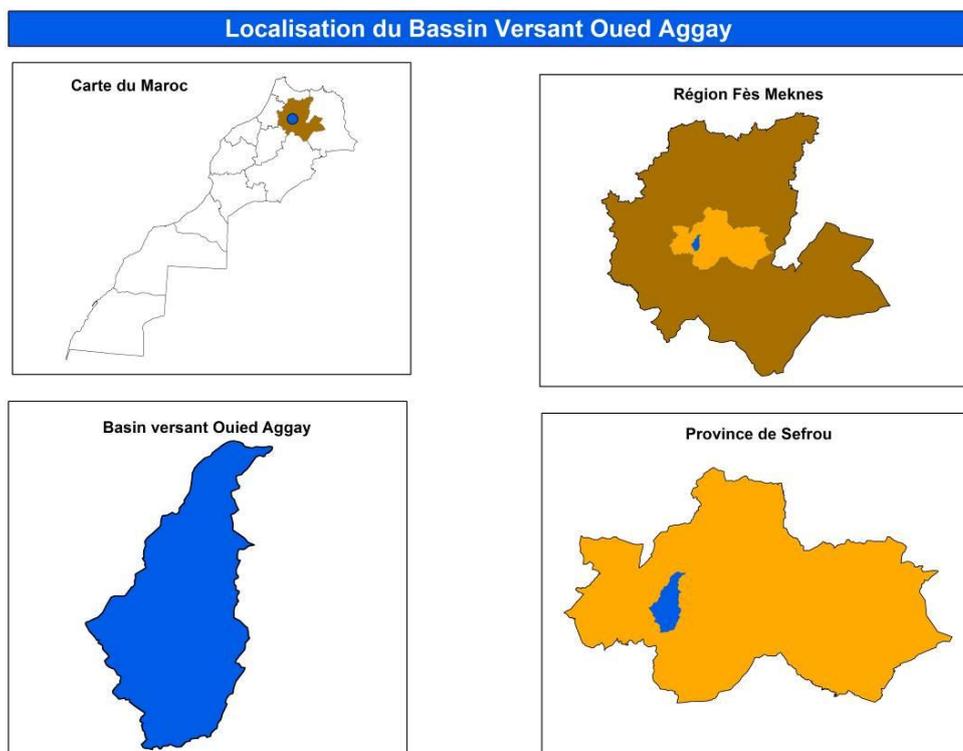


Figure 1 : Cartes géologiques : situation administrative du bassin Oued Aggay

## 2. Hydrographique du Bassin

Le bassin versant Oued Aggay (figure2) à un réseau hydrographique d'ordre 4, avec un principale d'une longueur de 14,639,14 Km avec des ravins d'ordre 1,2,3. Le ravin d'ordre 2 possède une longueur maximale et le ravin d'ordre 3 a une longueur minimale.

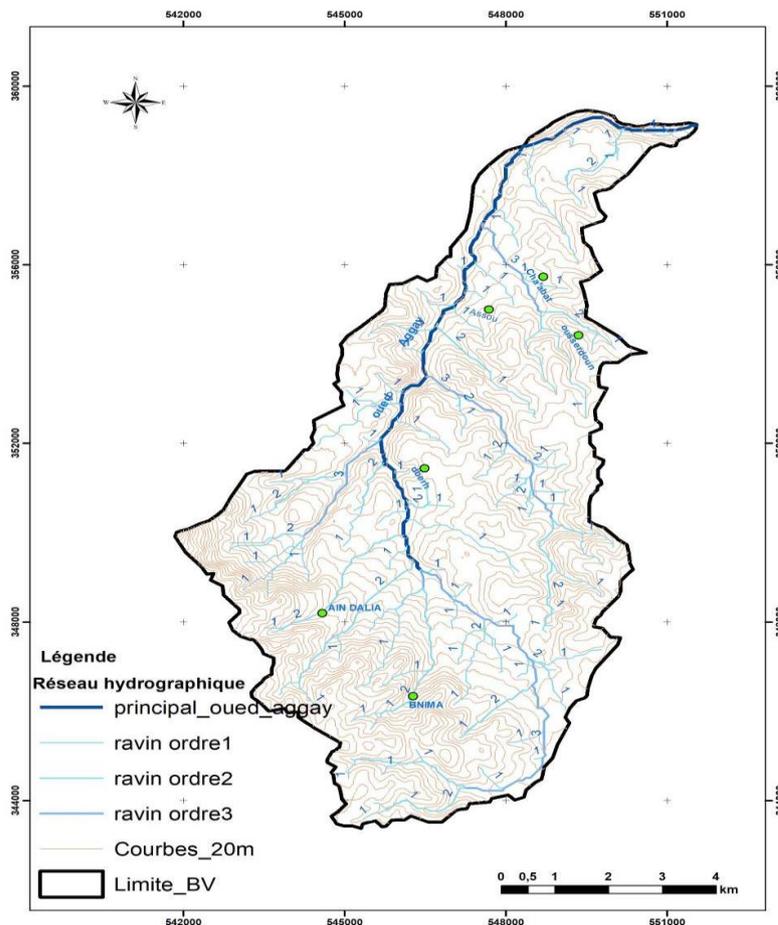


Figure 2: Carte représentant le réseau hydrographique

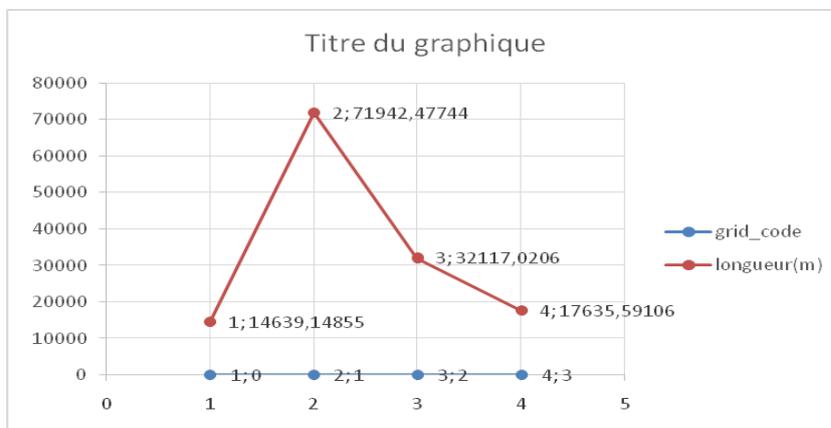


Diagramme montrant les longueurs des ravins du bassin



## 2.1. Climatologie

Le climat est un facteur majeur de l'érosion. La pluie détache des particules du sol, notamment dans la formation du ruissellement. Cette érosivité dépend principalement de la durée et de l'intensité des précipitations. Il y a ruissellement quand la vitesse avec laquelle la pluie arrive au sol dépasse la vitesse avec laquelle l'eau entre dans le sol

## 2.2. Précipitations

Les données de précipitations mensuelles disponibles utilisées couvrent la période 1980-2017, sont disponibles pour les stations les plus proches du bassin Oeud Aggay , présentées dans les tableaux suivant :

Les zones avoisinantes :

### Localisation des station :

station	X	Y	Période	source
azzaba	569650	359570	1980_2018	Agence bassin
Ait khbach	557000	314800	1980_2018	Agence bassin
M'dez	581400	341900	1980_2018	Agence bassin
ait betit	519660	355000	1980_2018	Agence bassin
Drh fes	53540	38480	1980_2018	Agence bassin

### Station azzaba

Moyenne	14.1	36.8	44.8	42.7	39.4	44.0	47.1	46.9	32.0	13.6	4.0	4.5	366.8
Max	90.6	141.1	142.3	126.8	105.0	139.7	142.5	206.8	170.0	74.7	34.6	50.5	726.8
Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	93.8

### Station Drh fes

Moyenne	12.1	39.2	63.0	56.9	61.1	53.3	49.9	43.7	23.9	5.5	0.5	1.2	404.4
Max	96.8	184.5	187.0	219.1	202.0	224.2	189.0	155.0	94.7	44.8	7.9	33.8	842.6
Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	143.4

### Station M'dez

Moyenne	24,8	31,3	43,8	20,1	40,4	32,9	36,1	44,7	26,2	5,6	8,9	19,5	220,5
Max	92,7	83,0	74,1	42,2	73,0	61,0	52,0	92,8	79,0	8,6	13,0	61,7	483,7
Min	0,0	0,0	16,5	6,5	9,0	8,0	25,7	5,0	2,0	1,0	3,0	1,0	2,1

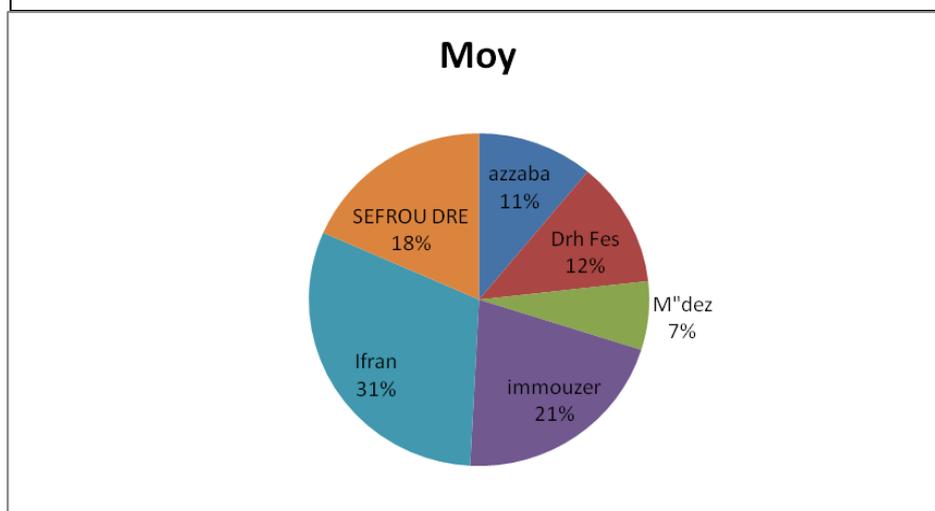
Tableau 1 : Les précipitations des zones avoisinantes



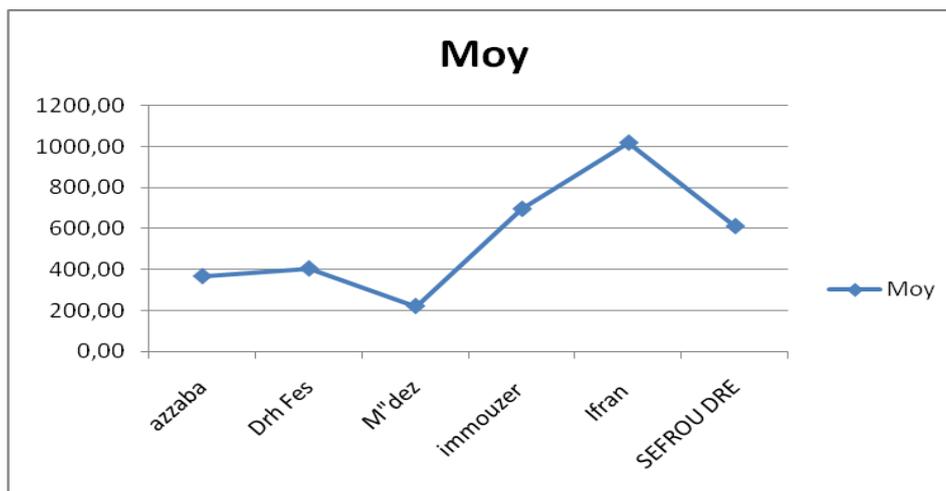
**La moyenne des stations :**

Station	Moyenne en mm
Azzaba	366,80
Drh Fes	404,40
M"dez	220,50
Immouzer	696,46
Ifran	1020,79
Sefrou DRE	611,73

**Tableau 2 : Les précipitations moyennes annuelles des stations**



**Figure 3 : La precipitation des regions avoisinantes**



**Figure 4 : diagramme représentant les précipitations moyennes annuelles des régions avoisinantes**



Les précipitations moyennes annuelles ont été obtenues par sommation des moyennes mensuelles des régions avoisinantes. Le bassin versant Oued Aggay se situe entre des régions de précipitations moyennes qui se varie entre 220 mm à Mdez et 1020,79 à Ifrane, durant les années 1980-2018. En mentionnant que le point le plus proche est celui de Sefrou où la moyenne des précipitations est 611,73 mm.

## II. Cadre géologique

La zone d'étude (figure5) est constituée par des formations d'âge et de nature lithologique variée. La série lithostratigraphique comprend du plus ancien vers le plus récent les formations suivantes (Charriere, 1990; Hinaje, 2004) :

**Les formations paléozoïques** : n'affleurent que très peu dans la zone d'étude, où elles apparaissent sous forme de boutonnières. Celles-ci sont dégagées suite aux jeux tectoniques alpins des failles de directions NE-SW et NW-SE

**Les formations du Trias supérieur-Lias inférieur** : affleurent sur les bordures de la boutonnière de Kandar à l'ouest, au N et au SW de Bhalil et à l'est, dans la région de Bsabis, Zgane et Kliâ où elles jalonnent l'accident nord moyen-atlasique. Ces dépôts sont constitués d'argiles rouges à traces de gypse et de sel. Une importante couche de basalte doléritique, interstratifiée dans ces argilites rouges du Trias supérieur-Lias inférieur, sépare une formation sédimentaire rouge inférieure, d'une formation rouge supérieure à évaporites

**La formation du Lias inférieur** : caractérisée essentiellement par des dolomies qui couvrent en concordance les formations rouges triasico-liasiques, sur la majeure partie de la zone d'étude. Ces dolomies présentent une lithologie variable ; elles sont le plus souvent bréchiques s'altérant en sable dolomitique ;

**Les formations du Miocène supérieur** : affleurent au nord de la zone, dans la dépression de Sefrou et son avant pays. Ces formations sont représentées par des molasses discontinues à la base et les calcaires de Bhalil qui forment la base des couches tortono-messiniennes, les silts ocres de Sefrou, et enfin les marnes sableuses et les marnes bleues de Fès.

**Les formations du Plio-Quaternaire** : elles sont caractérisées par des dépôts continentaux fluvio-lacustres et travertineux. Ces dépôts sont localisés dans des bassins intra-montagneux à style tectonique extensif

Les causses de Sefrou et de L'Anoceur sont séparés par l'accident de **Tizi'N Tretten** orienté NE-SW et par d'autres failles transverses orientées NW-SE. Ils sont en communication entre eux et forment une seule unité hydrogéologique. Ces deux causses sont constitués essentiellement d'une puissante série carbonatée (de l'ordre de 200m), généralement dolomitique.

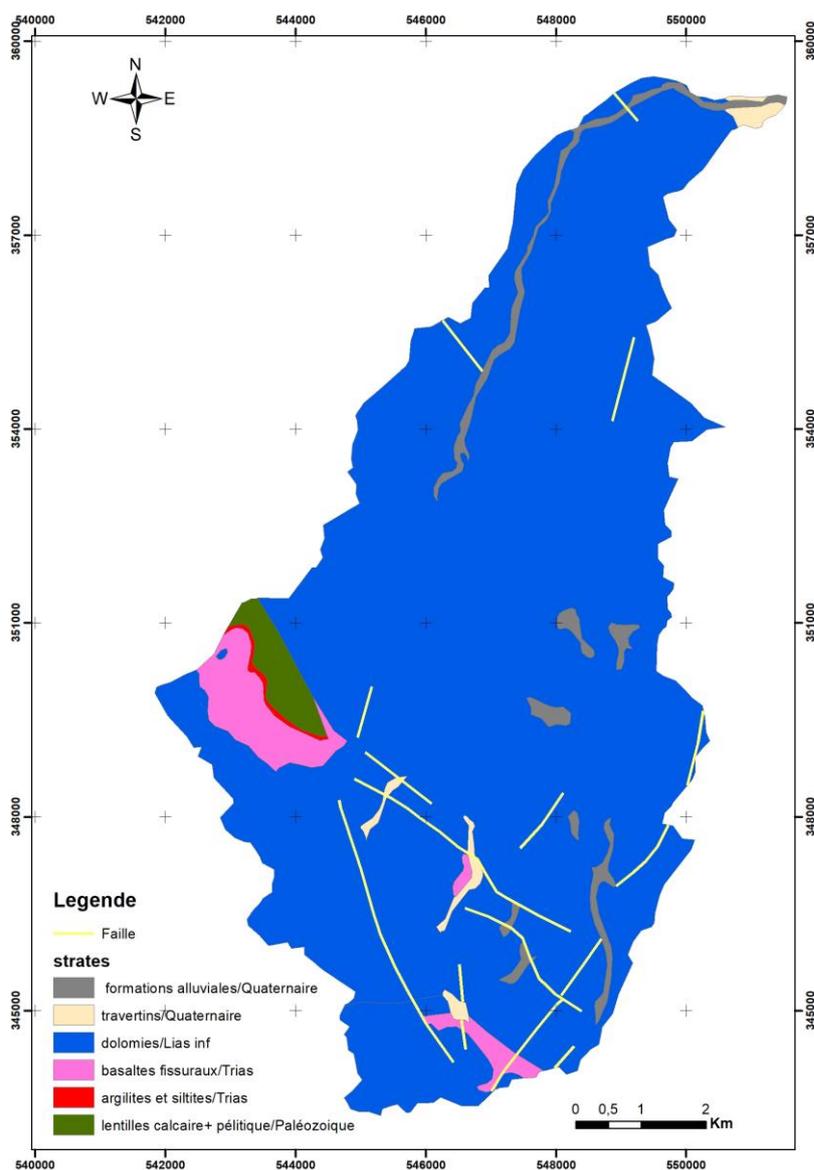


Figure 5 : Carte géologique du bassin versant d'Oued Aggay



## Chapitre III : Etude du milieu physique du bassin versant d'Oued Aggay

### 1. Morphologie du bassin

La caractérisation morphométrique d'un bassin versant est nécessaire pour une compréhension approfondie des processus hydrologiques auxquels le bassin est soumis. Ainsi, la réussite de l'aménagement d'un bassin versant nécessite sa caractérisation du point de vue morphométrique. Parmi les paramètres qui sont utilisés pour la caractérisation morphométrique d'un bassin versant, on peut citer la superficie ( $Km^2$ ), la longueur du talweg principal (Km), le périmètre (Km), la dénivelée (km), la pente moyenne (m/m), l'indice de pente global (%), l'indice de Gravelius, l'indice de Horton, la dénivelée spécifique, le rectangle équivalent.

#### - Indice de compacité de Gravelius

La forme du bassin versant l'Oued Aggay a un grand impact sur l'écoulement global et surtout sur l'allure de l'hydrogramme résultant d'une pluie donnée. Cette caractéristique est obtenue par l'indice de Gravelius défini comme le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface. Il est calculé par la formule suivante :

$$K_g = 0.28 (P / \sqrt{S})$$

AVEC :

$$P = 49.81 \text{ km}$$

$$S = 76.66 \text{ KM}^2$$

$$K_g = 1.59$$

#### Alors le bassin est allongé

S : surface du bassin versant en  $km^2$ .

P : périmètre du bassin versant en km.



### - Indice de compacité de Horton Titre ne figure pas dans le sommaire

Il exprime le rapport de la largeur moyenne du bassin versant à la longueur du cours d'eau principal (Horton, 1932).

$$KH=A/L2$$

Avec :

$$A= 76.66 \text{ KM}^2$$

$$L=14.63$$

$$KH= 0.35$$

**Alors le bassin est allongé**

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

L : longueur du cours d'eau principal en km

### - Temps de concentration

Le temps de concentration est un paramètre très important dans le calcul hydrologique. C'est le temps nécessaire à l'eau pour s'écouler depuis le point le plus éloigné du bassin jusqu'à son exutoire

$$T_c = 60 \times 0,108 \times (L \times S) / \sqrt{I}$$

1-calcul de la pente

$$I= \text{dénivler} / L$$

$$\text{Dénivelé} = 1753-843 = 910$$

$$\text{Donc } I= 0.06 \text{ Et } L= 0,77 \text{ m}$$

$$\text{Donc : } T_c= 24.62 \text{ min}$$

Paramètres	Valeurs
Surface (Km <sup>2</sup> )	76.66
Longueur _Talweg	26.11
Périmètre km	49.81
Dénivelée km	910
Pente Moy(m/m)	0.06
Pente global %	6
Indice Gravelius	1.59
Longueur km	21.25
Largeur km	3,60

**Tableau 3 : Caractéristiques morphométriques du bassin versant Oued Aggay**



## 2. Aire et périmètre

La superficie et le périmètre d'un bassin versant représentent l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau. Ces deux paramètres jouent donc un rôle primordial dans l'étude et l'aménagement du bassin versant. Le bassin versant en amont de la ville du Sefrou s'étend sur une superficie de 76.66 KM<sup>2</sup>, avec un périmètre de 49.81km.

Le rectangle équivalent, ou rectangle de Gravelius, se définit comme le rectangle qui a la même surface et le même périmètre, le même indice de compacité, la même distribution hypsométrique à conditions climatiques similaires, une même distribution des formations lithologiques et pédologiques, de la végétation et même densité de drainage que le bassin versant. C'est une transformation géométrique dans laquelle les droites parallèles à la largeur du rectangle et l'exutoire constituent la largeur du rectangle (Laborde, 2009). Il permet de comparer facilement des bassins entre eux. Les dimensions du rectangle équivalent sont déterminées par les formules suivantes :

### Longueur du rectangle équivalent :

$$L = \sqrt{A} \frac{KG}{1,12} \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{1,12^2}{KG}} \right)$$

D'où

$$L = 21.25 \text{ Km}$$

### Largueur du rectangle équivalent :

$$l = \sqrt{A} \frac{KG}{1,12} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{1,12^2}{KG}} \right)$$

D'où

$$l = 3,60 \text{ Km}$$

Avec :

A : superficie du bassin versant.

KG : Indice de compacité de Gravelius



### 3. La Pente

La pente joue un rôle déterminant dans l'érosion hydrique, elle donne aux zones de ruissellement l'énergie nécessaire pour l'arrachement des particules, le creusement des rigoles et des ravins, et le sapement des berges et par conséquent la dégradation de la surface de la terre.

La carte des pentes (Figure6) a été réalisée à partir d'un DEM de (Digital élévation Model) de 30m téléchargé sur le site ASTER GDEAM.

Nous avons utilisé également l'extension spatial analyste 3D / PENTE au but de diviser le terrain en polygone de classes différentes. Concernant le calcul des surfaces de chaque classe, nous avons utilisé l'utilitaire de calcul des surfaces après une transformation de l'image raster vers une image vectoriel permet de rassembler les classes de pentes dans les polygones.

La carte de pente permet de mettre en évidence cinq (05) grandes catégories de pentes au niveau du bassin versant Oued Aggay (Figure 6) :

- La classe de pentes inférieures à **3%** occupe le pourcentage minimal de la région (**23%**). Ces zones correspondent essentiellement aux zones de plaine;
- La classe de pentes allant de **3 à 8 %** représente environ (**35.31%**) de la superficie totale de région;
- La classe de pentes allant de **8 à 15 %** représente (**22.57%**) de la zone étudiée;
- La classe de pentes allant de **15 à 25 %**, couvre environ (**11.63%**) de la zone étudiée;
- La classe de pentes supérieure à **25 %**, couvre (**7.04%**) de la zone étudiée.

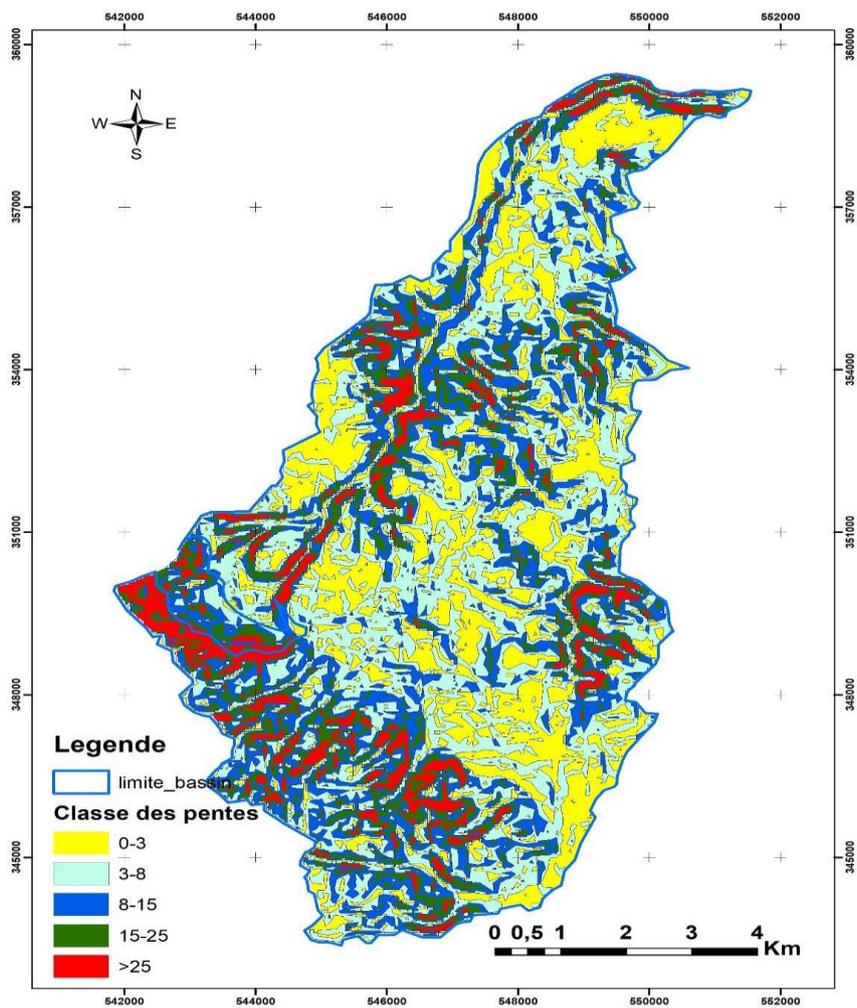


Figure 6 : Répartition des classes de pente du bassin versant d'oued Aggag

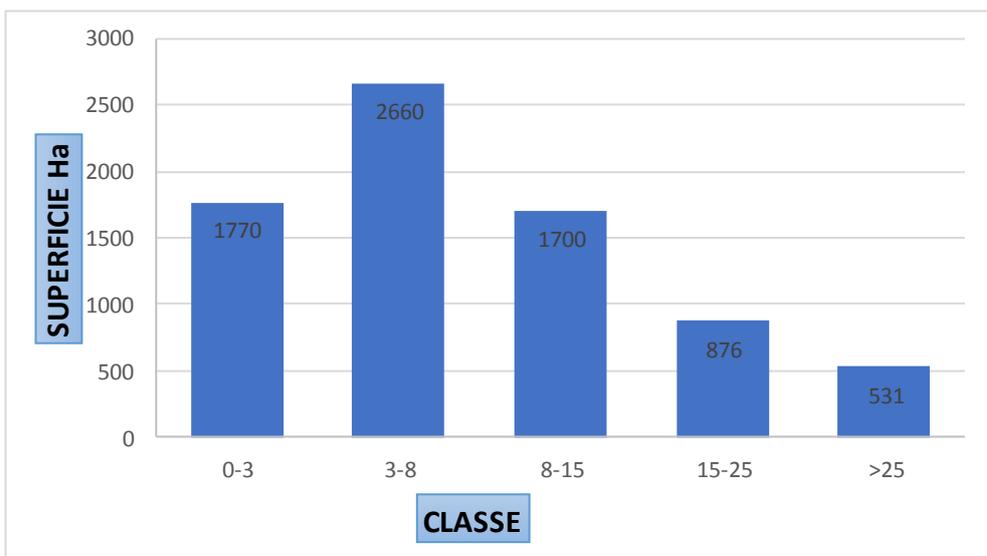


Figure 7 : Diagramme montrant la répartition des pentes du bassin versant Aggag



Ce rationnement des classes de pentes dans la zone étudiée manifeste qu'environ 92.8% du bassin versant est dominée par des pentes qui sont généralement inférieures à 25% (Figure 7). Ces valeurs de pente sont à mettre en relation avec la structure géologique et surtout la lithologie des terrains qui définissent leur comportement vis à vis de l'érosion.

#### 4. Altitude

La carte hypsométrique (Figure 8) présente cinq tranches d'altitudes. Ces tranches, ordinairement orientées NS (des zones montagneuses vers l'exutoire), témoignent de la structure du bassin versant en plateaux échelonnés. La plupart des facteurs climatiques et hydrologiques sont fonction de l'altitude, donc il est intéressant d'étudier l'hypsométrie du bassin versant par tranche d'altitude. Les caractéristiques hypsométriques du bassin versant d'Oued Aggay se présentent dans le tableau suivant :

Classe altitude	Surface en Km <sup>2</sup>	Pourcentage
800-1000	253,2127	3,32%
1000-1200	1384,2767	18,06%
1200-1400	3206,9381	41,84%
1400-1600	1934,1443	25,23%
1600-1800	885,5055	11,55%
<b>Total</b>	<b>7666,07</b>	<b>100%</b>

Tableau 4 : La surface de chaque tranche d'altitude

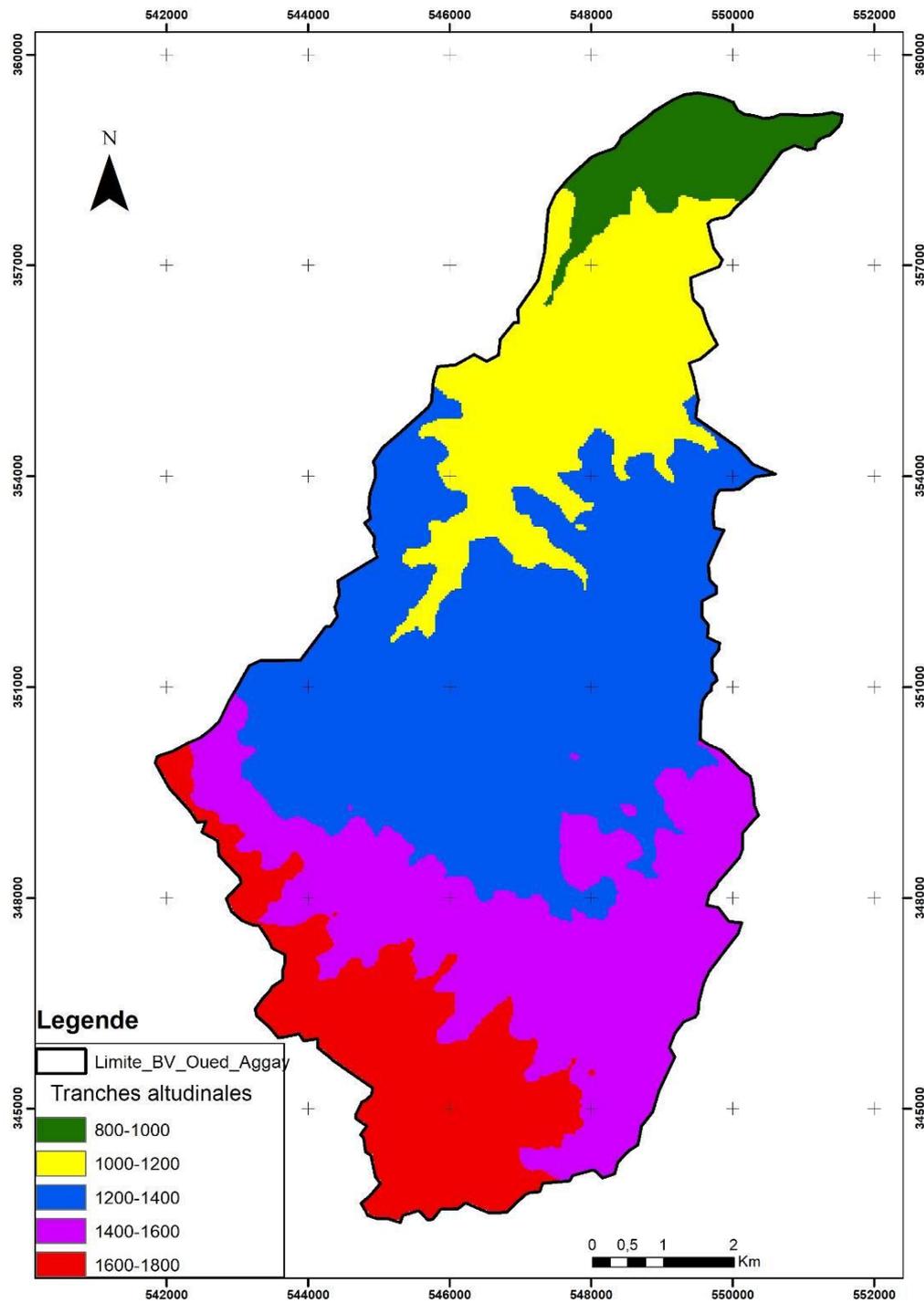


Figure 8 : Carte hypsométrique du bassin versant d'Oued Aggay



## 5. La Lithologie

L'ampleur des phénomènes d'érosion dépend de la résistance ou de la friabilité du substrat. Ainsi, les roches compactes non altérées, comme les conglomérats fortement cimentés, grès ferrugineux, calcaires massifs, sols fortement rocheux, roches ignées, sols localement encroûtés sont résistants à l'érosion. Les roches ou sols cohésifs fracturés ou modérément altérés sont de résistance moyenne à l'érosion. Par contre, les roches sédimentaires facilement ou modérément compactés (ardoise, schiste, marne, etc.) sont de faible résistance à l'érosion.

Parmi les cartes qu'on a utilisé pour étudier l'érosion du bassin versant d'oued Aggay, est la carte lithologique. Cette carte (figure 9) montre une domination des Dolomies qui sont connues par leur résistance contre l'érosion qui occupe 7018 (Ha) du surface totale. Les roches résistantes représentent une majorité dans le bassin ce qui va jouer un rôle primordiale contre l'érosion.

Strates	Dureté	Surface en Ha
dolomies	dure	7018
lentilles calcaires+Série pélitique+grès rouges	dure	109
argilites et siltites rouges	friable	20
basaltes fissurax	moy dure	270
travertins	friable	52
formations alluviales	friable	198

**Tableau 5 : La dureté des roches dominante**

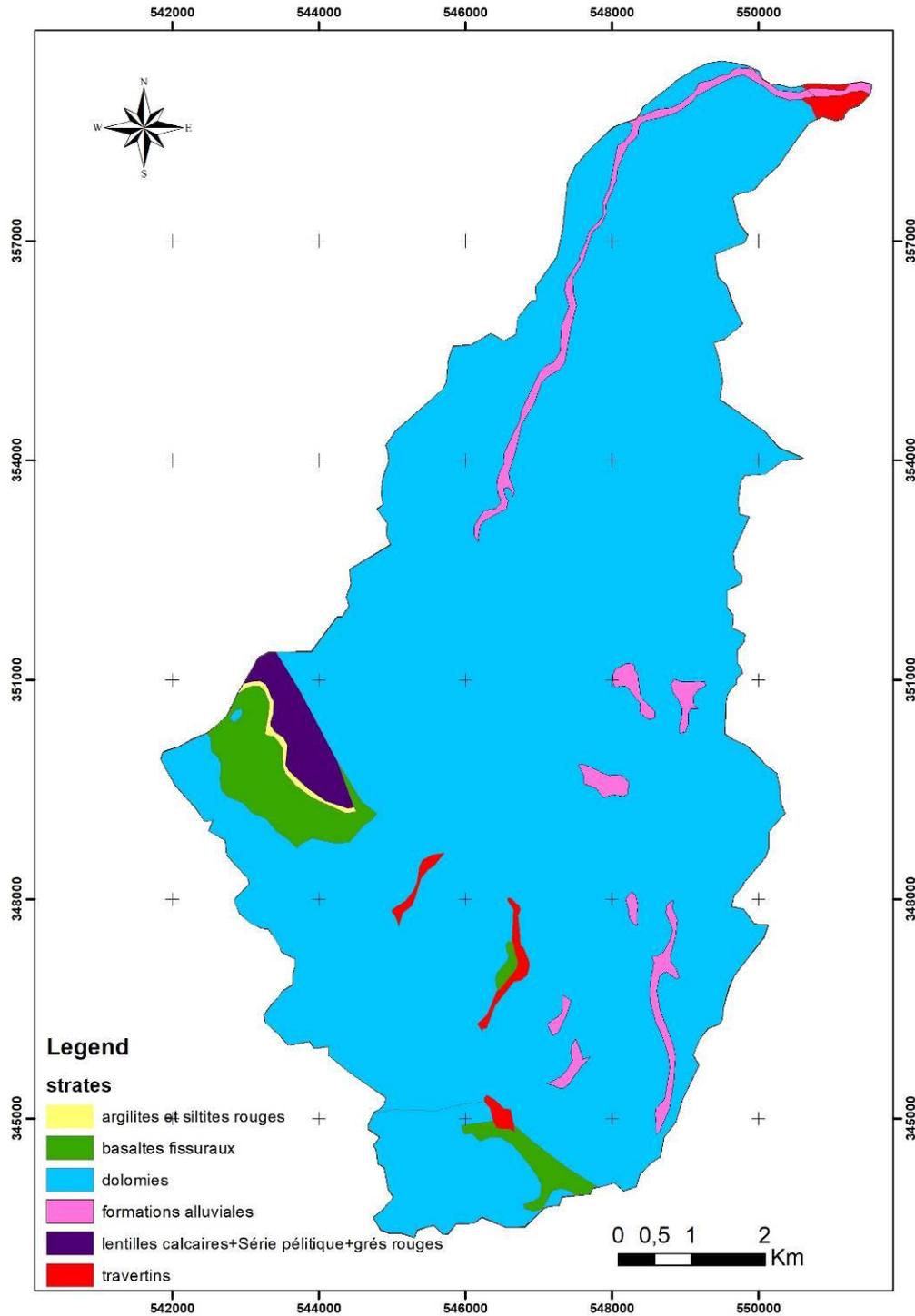


Figure 9 : Carte lithologique du versant d'Oued Aggay



## 6. Occupation des sols

Un sol peut être remis définitivement indisponible quand il est occupé par : la ville, les routes, zones d'activités, aéroports et autres fondations imperméabilisées ou artificialisantes. Dans ces cas, les sols ne rendent plus les services écosystémiques. Cela représente l'importance d'étude des sols et leurs occupations.

Pour lutter l'érosion, un couvert végétal est d'autant plus efficace qu'il absorbe l'énergie cinétique des gouttes de pluie, qu'il recouvre une forte proportion du sol durant les périodes de l'année où les pluies sont les plus agressives, qu'il ralentit l'écoulement du ruissellement et qu'il maintient une bonne porosité à la surface du sol. Parmi les facteurs qui conditionnent l'érosion, le couvert végétal est certainement le facteur le plus important puisque l'érosion.

Cependant, La relation entre végétation et l'érosion n'est pas simple (Roose, 1994). Elle dépend d'une part de la densité du couvert végétal. L'effet protecteur d'une culture agricole n'est souvent pas efficace avant environ 40-50% de couvert végétal et il y a peu de différences au-delà de 80-90%. Elle dépend, d'autre part, du type de végétation : des plantes à feuillage haut sont moins efficaces parce que les gouttes d'eau qui tombent des feuilles ont le temps d'atteindre une vitesse presque égale à celle de la pluie. Même la forme de la feuille peut jouer en altérant la taille de la goutte qui tombe au sol. Des feuilles qui concentrent l'eau à leur surface pour agrandir la taille des gouttes peuvent en effet provoquer une érosion sous la couronne si le sol est nu.

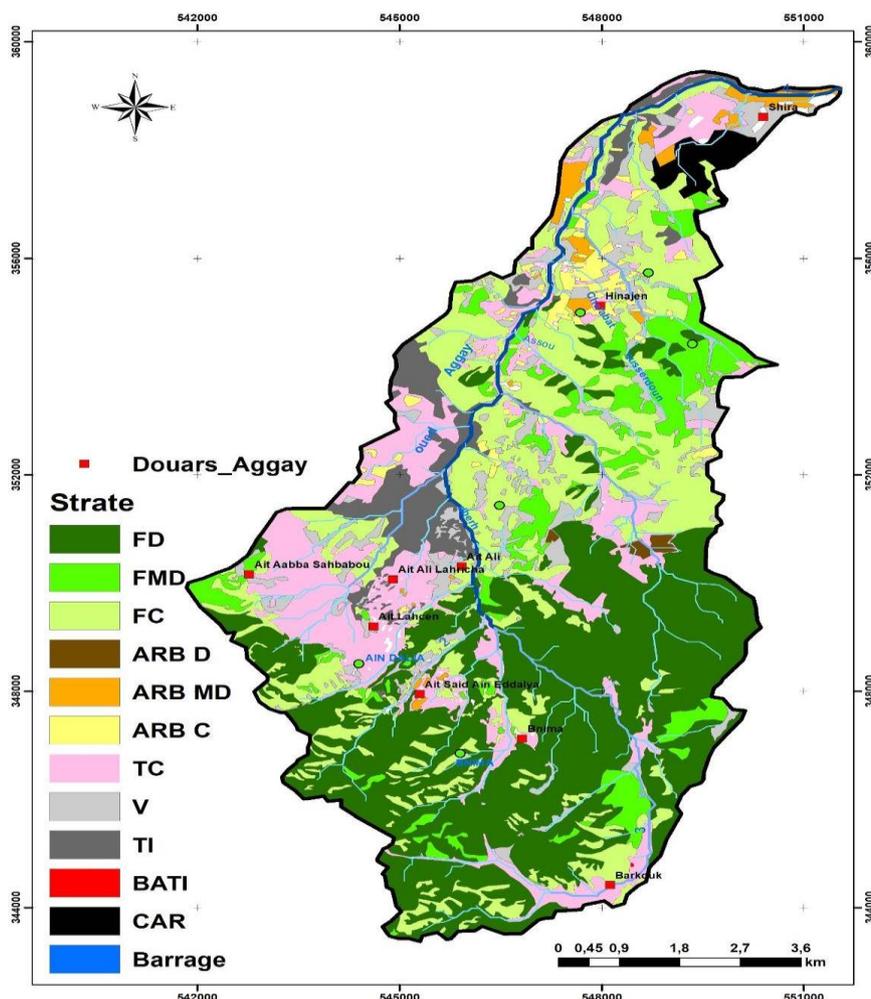


Figure 10 : Carte d'occupation des sols

Recouvrement	Superf Ha	Pourcentage	Strate
R<25	1807,20	23,5755	Foret claire
R>50	2638,73	34,423	Foret dense
R<25	1181,01	15,4067	Terrain de culture
R<25	600,31	7,8313	Vide
25<R<50	618,460003	8,068	Foret moy dense
R<25	382,404035	4,9885	Terrain inculte
25<R<50	115,62248	1,5083	Arboriculture moy dense
R<25	149,71468	1,9531	Arboriculture claire
R<25	103,01888	1,3439	Carrière
R<25	3,30241	0,0431	Barrage
R>50	21,271129	0,2775	Arboriculture dense
R<25	44,5576	0,5813	Bâtiments
<b>Total</b>	<b>7666</b>	<b>100%</b>	

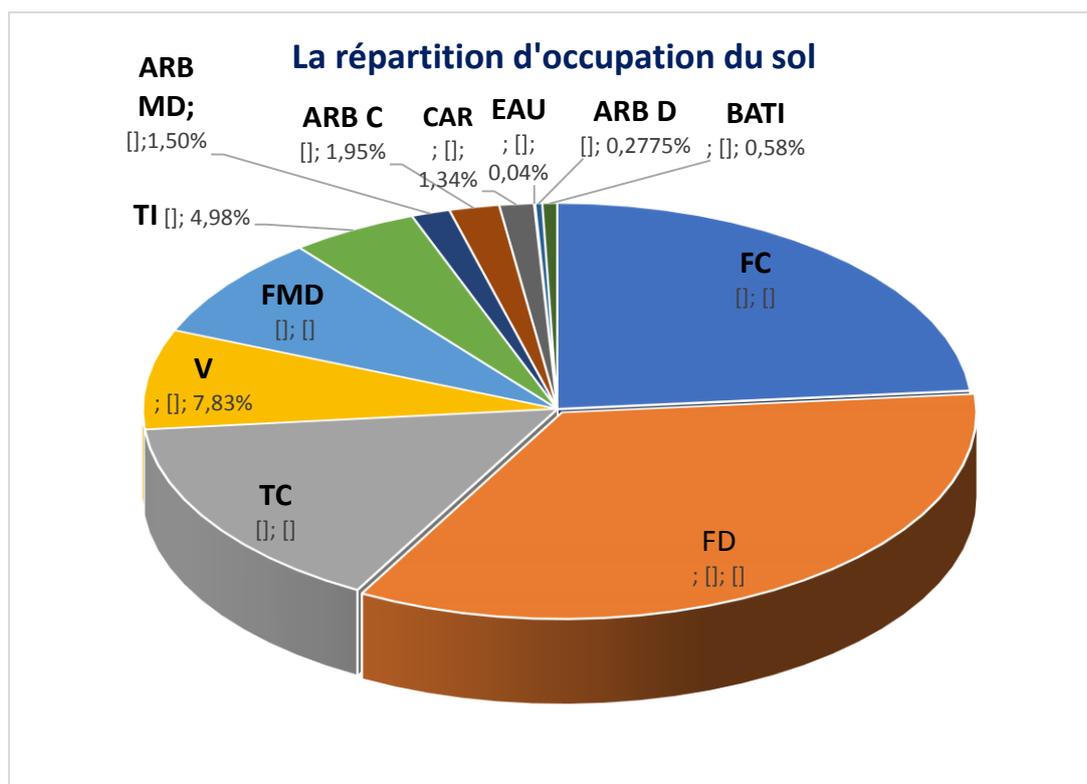
Tableau 6 : La surface et le recouvrement de différentes occupations du sol

Le bassin versant d'Oued Aggay, est occupé par des forets avec un pourcentage totale de 66,05% qui se répartie en 3 classes :

- Forêt claire : **23,57%**
- Forêt dense : **34,42%**
- Forêt moy dense : **8,06%**

Ce qui montre que la forêt dépasse la moitié de l'occupation du bassin, alors que les arboricultures présentent un pourcentage de 3,62%, et les terrains de culture occupent 15,40%.

Le recouvrement se varie entre 25 et sup à 50%. Cette dernière est manifestée par la forêt dense et arboriculture dense.





## 7. Végétation

### Couvert végétal et indice de couvert

La végétation joue un rôle primordial dans la maîtrise de l'érosion en agissant de deux manières principales (Viles,1990): d'une part elle peut empêcher l'érosion de se produire, jouant ainsi un rôle de protection « active » contre l'érosion, d'autre part elle peut retenir les sédiments érodés à l'amont, jouant un rôle « passif » ou « à distance » contre l'érosion

Dans l'objectif de caractériser cette dynamique du couvert végétal, une analyse diachronique entre l'année 2011 et l'année 2020 a été réalisée moyennant l'indice de végétation normalisé « NDVI », afin de mettre en évidence l'ampleur des changements du couvert végétal durant cette période.

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

Où PIR représente les valeurs de réflectance spectrale de la bande du proche infrarouge et R celles de la bande du rouge.

L'indice de végétation NDVI varie sur une échelle de valeurs allant de -0,38 à 0,66 pour l'année 2011 (figure4) et de -0,17 à 0,44 pour l'année 2020 (figure3). Les valeurs positives représentent la biomasse végétale. Plus les valeurs sont importantes, plus la végétation est dense

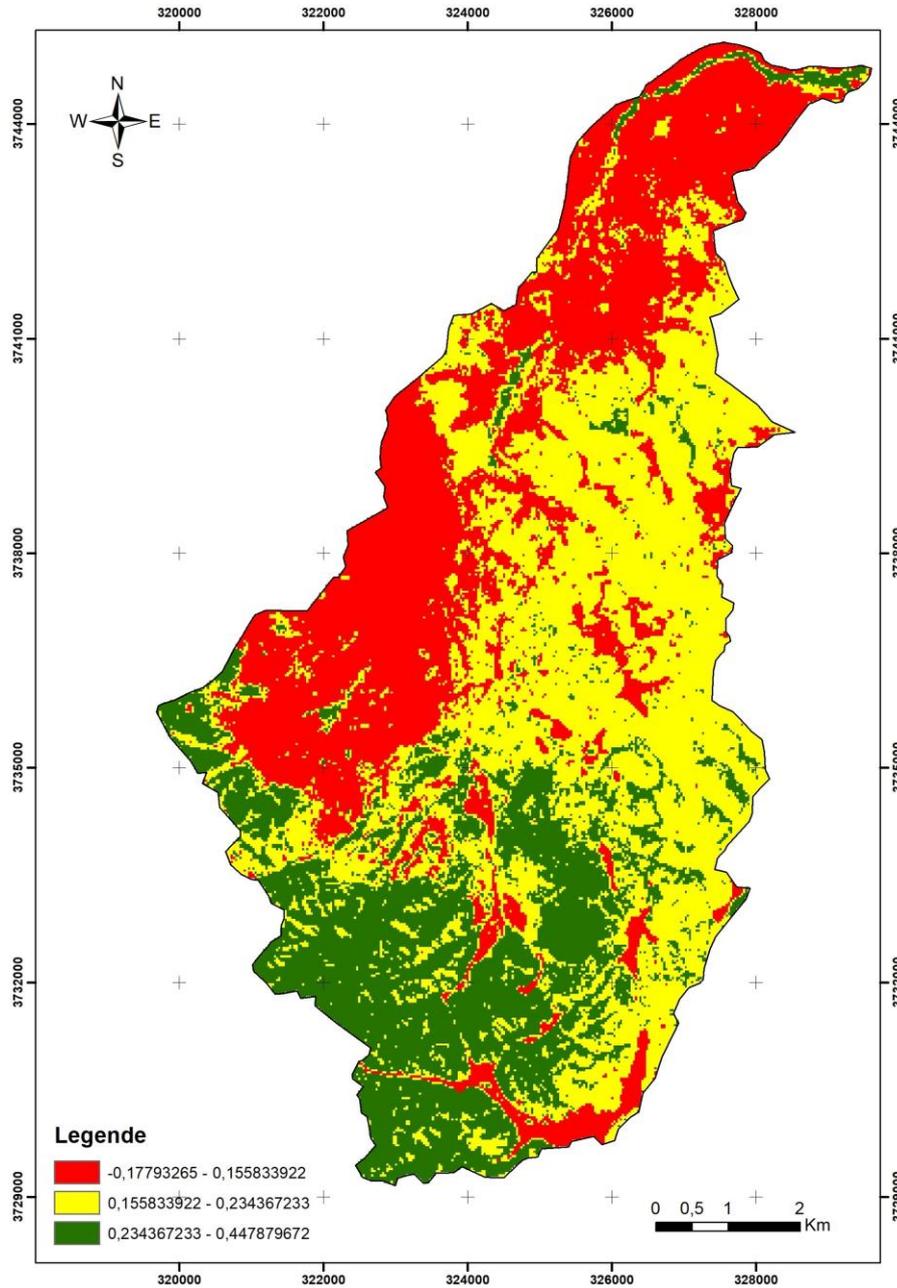


Figure 11 : Carte représentant le couvert végétale 2020

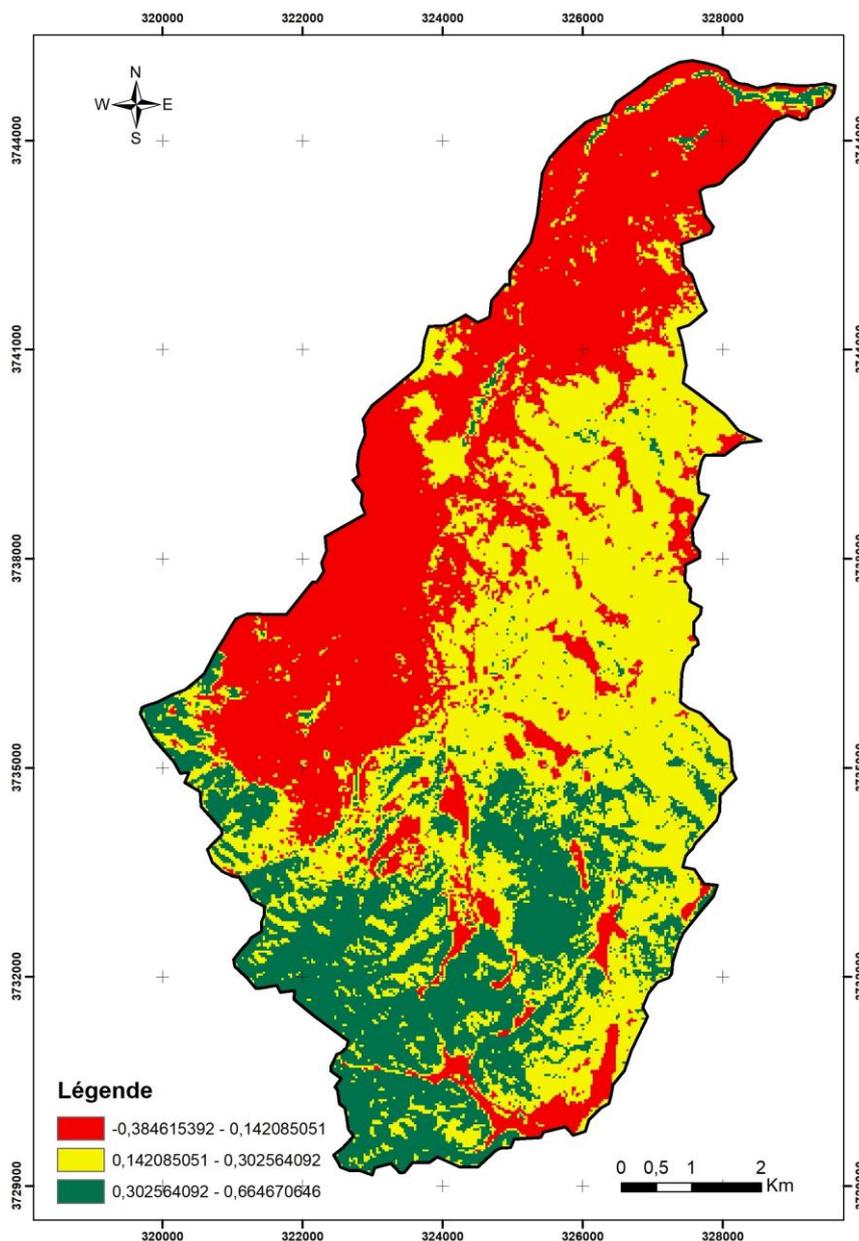
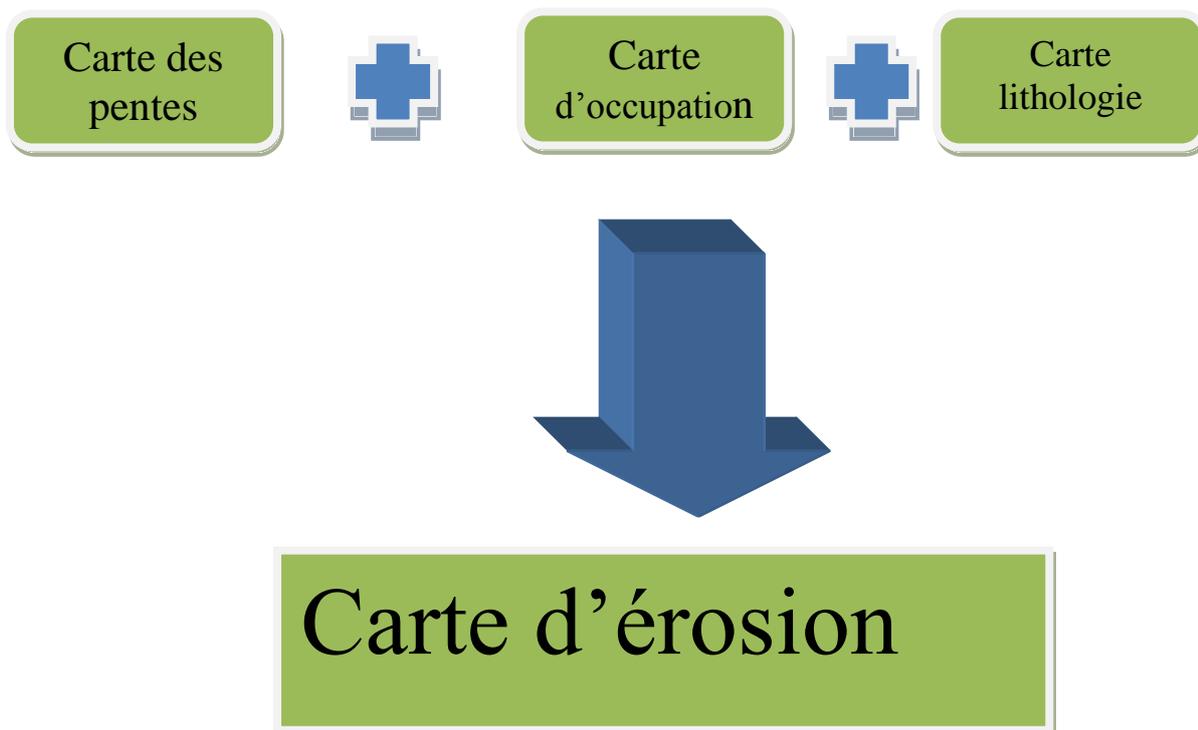


Figure 12 : carte représentant le couvert végétale 2011

En comparant les deux cartes (de 2011 et de 2020), on constate une évolution positive au niveau de la végétation. Cette évolution est due aux actions de lutte contre l'érosion hydrique réalisées par l'administration des eaux et forêts.

## 8. L'érosion

Pour l'étude de cette partie on va utiliser la superposition des cartes thématiques. La carte d'érosion est la résultante issue de la superposition des facteurs naturelle : cartes des pentes, lithologiques, et occupation des sols. Le principe de cette superposition est basé sur l'attribution des codes ou indices pour chaque strate selon son degré de contribution à l'érosion, cette opération est réalisé en trois étapes selon la manière suivante :



### Les étapes à suivre :

- **1ère étape** : élaboration de la carte des pentes à partir de MNT
- **2ème étape** : élaboration de la carte lithologie à partir de la carte géologique puis la superposition des 2 cartes
- **3ème étape** : élaboration de la carte d'occupation des sols à partir d'une image satellite landsat 8 corrigé et complété sur QGS, on superpose la résultante sur la carte d'occupation des sols
- **4ème étape** : élaboration de la carte d'érosion en superposant la résultante issue de la carte des pentes et la carte lithologique avec la carte d'occupation des sols

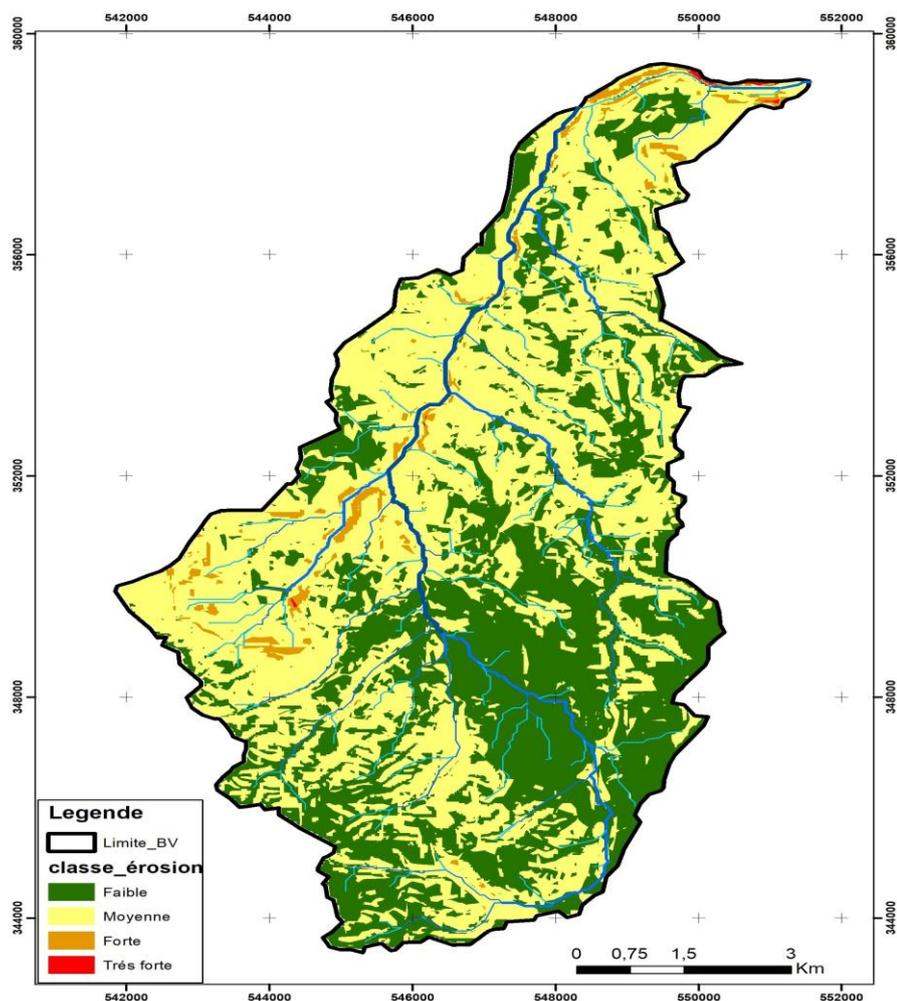
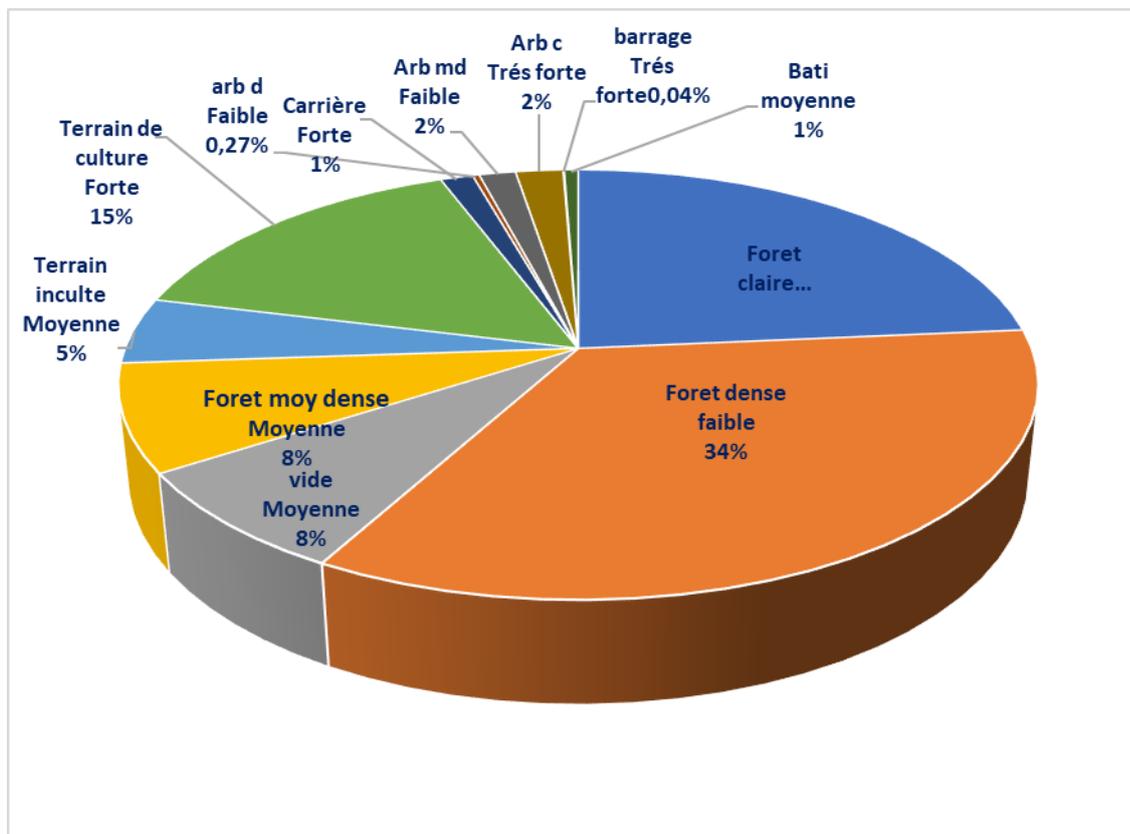


Figure 13 : carte de l'érosion

Forêt claire	1807,2	R<25	Moyenne
Forêt dense	2639,01	R>50	Faible
Vide	600,3174	R<25	Moyenne
Foret moyennement dense	618,46	25<R<50	Moyenne
Terrain inculte	382,404	R<25	Moyenne
terrain culture	1181,01	R<25	Forte
car	103,01	R<25	Forte
arb d	21,27	R>50	Faible
arb md	115,62	25<R<50	Faible
arb c	150,1	R<25	Très forte
barrage	3,3	R<25	Très forte
bati	44,55	R<25	moyenne
	<b>7666,25</b>		

Tableau 7 : Intensité de l'érosion



D'après toutes les études effectuées, on constate que l'érosion hydrique dans le bassin versant d'Oued Aggy est généralement faible. Ce résultat vient après la superposition des 3 cartes (lithologiques, pentes et occupation des sols). Les zones connues une faible érosion ayant des faibles pentes, recouvrement important, et une nature lithologique résistante. Elles sont localisées principalement dans les forêts. Alors, que les zones ayant une forte érosion due à une lithologie tendre (travertins) et un faible recouvrement qui est représenté près de l'exutoire de notre bassin (Figure 13).



---

## Références bibliographiques :

**Charrière, A. (1990).** Héritage hercynien et évolution géodynamique alpine d'une chaîne intracontinentale : le Moyen Atlas au SE de Fès (Maroc). Thèse Doct. Etat, Toulouse, 589.

**Elaloui, A. (2017).** Évaluation de la vulnérabilité à l'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de la Tessaoute amont (Haut Atlas marocain) : Application de la géomatique et des traceurs isotopiques. Thèse Doct. Natio. Univ. Casablanca, 170p

**Hinaje, S. (2004).** Tectonique Cassante et Paleo-champs de Contraintes dans le Moyen Atlas et le Haut Atlas Central (Midelt – Errachidia) depuis Le Trias jusqu'à l'actuel. Thèse Doct. d'Etat. Univ. Mohammed V, Rabat, 393p

**Horton, R.E. (1932).** Caractéristiques du bassin versant. Trad. Amer. Geophys. ONU. p. 350 à 361.

**Roose, É. (1994).** Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bulletin pédologique de la FAO, vol. 70, Rome (Italie), 420 p.



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

**Zineb ZAHER et Kaoutar LAFDILI**

**Année Universitaire : 2021/2022**

**Titre : Modélisation de l'érosion hydrique à l'échelle du bassin versant d'Oued Aggay**

### Résumé

Le bassin versant d'Oued Aggay est situé dans le moyen Atlas tabulaire à 15,43 Km au Sud de la ville Séfrou, cette dernière a été menacée durant les années 80 par des inondations du bassin étudié. L'objectif de cette étude est de cartographier les principaux paramètres explicatifs de l'érosion hydrique afin d'établir une carte du risque d'érosion à l'échelle du bassin versant d'Oued Aggay. La méthodologie s'appuie sur une modélisation basée la superposition des cartes thématiques réalisées, à savoir, carte des pentes, carte lithologique, et carte d'occupation des sols. Les résultats obtenus montrent que 92.8% de la surface du bassin versant est dominée par des pentes qui sont généralement inférieures à 25%. La nature lithologique des formations est dominée par carbonates qui occupent 7018 Ha de la surface totale du bassin étudié. Ces roches sont connues par leur résistance contre l'érosion. La forêt dépasse la moitié (66.05%) de l'occupation du Bassin. La combinaison de ces facteurs nous ont permis de conclure que l'érosion hydrique est faible dans notre bassin étudié.

**Mots clés :** Erosion hydrique, Moyen Atlas, Bassin versant, Oued Aggay, occupation des sols.