



**Année Universitaire : 2021-2022**



**Licence Sciences et Techniques : Géoresources et Environnement**

## **MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

**Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques**

**L'utilisation du SIG pour l'évaluation qualitative de l'érosion. Cas du bassin versant Azaghar.**

**Présenté par :**

**Ayoub FARHI**

**Encadré par:**

**Pr. GHFIR Younes, FST-Fès  
Mr. BENHAMMAALI Zoggar SEAP - Fès  
Mr TALEB Mohamadine, SEAP - Fès**

**Soutenu Le 6 juillet 2022, devant le jury composé de :**

**Pr. GHFIR Younes  
Pr. CHAOUNI Abdelali  
Pr. BOUKIR Mohamed  
Pr. ZAHOUR Rachid**

**Stage effectué à : DRFLCD-FB, Fès**

# Remerciements

Tout d'abord je tiens à remercier les membres de la Direction Régionale des Eaux et Forêts et la Lutte Contre la Désertification. en particulier Monsieur le chef de service (SEAP) MOUFADDAL KAMAL et Mr ZOGGAR BENHAMMAALI pour m'avoir accueilli dans leur équipe et m'avoir aidé pendant ma période du stage. et je veux aussi profiter de cette occasion pour remercier mon encadrant Mr TALEB MOHAMADINE pour son excellent encadrement et aide durant ma période de stage à la DREFLCD-FB.

Aussi je n'oublierai pas de remercier ma faculté FST Fes et en particulier mes professeurs de licence GRE, l'un d'eux est mon encadrant Mr YOUNES GHFIR, je veux le remercier beaucoup pour son grand effort et son aide dans mon PFE.

Enfin, je tiens également à remercier ma chère famille et mes amis, chacun par son nom, pour leur soutien mental et pour m'avoir fait croire en moi, ce qui m'a aidé à me être ici aujourd'hui.

# Sommaire.

INTRODUCTION-----	6
L'utilisation de l'ArcGIS-----	7
I. CADRE GEOGRAPHIQUE-----	9
1.1. Délimitation -----	9
1.1.1. Délimitation du bassin versant-----	10
1.1.2. Délimitation des sous bassins versants. -----	13
1.2. Cadre Géographique. -----	14
1.3. Cadre Administrative. -----	15
1.4. Cadre Forestier. -----	16
II. ETUDE DU MILIEU PHYSIQUE -----	18
2.1. Facteur climatique-----	18
2.1.1. Precipitations-----	18
2.1.2. Temperatures-----	24
2.1.3. Amplitudes thermiques. -----	24
2.1.4. Etages bioclimatiques. -----	27
2.1.5. vent -----	29
2.2. Facteur morphometrique-----	30
2.2.1. Aire et perimeter-----	30
2.2.2. Coefficient de forme -----	30
2.2.3. Rectangle equivalent -----	31
2.2.4. Altitudes -----	32
2.2.5. Altitude Moyenne du bassin. -----	36
2.3. Facteur lithologique et geologique-----	37
2.3.1. Lithologie-----	37
2.3.2. Geologie -----	40
2.4. Facteurs topographiques-----	41
2.4.1. Pentes -----	41
2.4.2. Expositions. -----	43
2.5. Occupation actuelle du sol. -----	46
2.5.1. Occupation du sol -----	46
2.5.2. Indice de vegetation NDVI. -----	50
2.5.3. Evaluation qualitative de l'érosion. -----	54
2.6. Hydrographie et hydrologie -----	56
2.6.1. Réseau hydrographique -----	56
2.6.2. Temps de concentration -----	57
III. RESSOURCES EN EAUX. -----	59
3.1. Apports des precipitations. -----	59
3.1.1. Precipitations annuelles -----	59
3.1.2. Precipitations mensuelles -----	60
Conclusion générale-----	61
Bibliographie -----	62

## Liste des tableaux.

Tableau 1 : Répartition des communes au sein du BV d'Azaghar (Source : DREFLCD-FB).	15
Tableau 2 : données des stations utilisées dans l'étude hydrologique du bassin versant en amont du future barrage Azaghar.	18
Tableau 3 : les précipitations moyennes des stations autours du bassin versant en amont du future barrage Azaghar.	18
Tableau 4 : Table des précipitations moyennes annuels des stations autour du bassin versant.	19
Tableau 5 : Table des précipitations moyennes mensuels des stations autour du bassin versant en amont du future barrage azaghar.	22
Tableau 6 : Tables des précipitations et températures moyennes des stations d'étude.	25
Tableau 7 : Table du quotient pluviothermique d'Emberger dans la zone d'étude.	27
Tableau 8 : les altitudes du bassin versant en amont du future barrage Azaghar.	33
Tableau 9 : Répartition des ères géologique du bassin versant Azaghar.	40
Tableau 10 : Table des surfaces par classes du sol.	46
Tableau 11 : classe de densité slice pour les deux années.	50
Tableau 12 : variations des surfaces des classes NDVI entre 2020 et 2022.	53
Tableau 13 : cours d'eau principales du bassin versant en amont du future barrage azaghar.	56
Tableau 14 : taux de concentrations par sous bassins versants.	57
Tableau 15 : Classe des ouvrages selon les caractéristiques géométriques	61

## LISTE DES ACRONYMES

ABHS : Agence du Bassin Hydraulique de Sebou.

ArcGIS : Le système d'information Géographique.

BV : bassin versant.

FB : Fès Boulomane.

DPEFLCD : Direction Provinciale des Eaux et Forêts et la Lutte Contre la Désertification.

DRFLCD : Direction Régionale des Eaux et Forêts et la Lutte Contre la Désertification.

MNT : Module Numérique du Terrain.

SEAP : service d'aménagement et de la planification.

## Liste des graphes.

Graphe 1 : Organigramme indiquant le cadre forestier du bassin versant d'Azaghar (Source : DREFLCD-FB).	16
Graphe 2 : précipitations moyennes annuels de Imouzzer marmoucha.	22
Graphe 3 : précipitations moyennes annuels de Sefrou.	22
Graphe 4 : précipitations moyennes annuels de Maghrawa.	22
Graphe 5 : précipitations moyennes annuels de Ribat alkhayr	22
Graphe 6 : évolution des précipitations moyennes annuels des 4 stations	22
Graphe 7 : précipitations moyennes mensuels des 4 stations.	22
Graphe 8 : diagrammes ombrothermique de Bagnols et Gaussen.	25
Graphe 9 : les températures moyennes annuelles Minimum des 4 stations autour du bassin versant.	26
Graphe 10 : les températures moyennes annuelles Maximum des 4 stations autour du bassin versant.	26
Graphe 11 : Climatogramme d'Emberger pour les stations retenues.	28
Graphe 12 : Rectangle équivalent avec tranches d'altitudes (m) du bassin versant d'Azaghar	32
Graphe 13 : Graphe des surfaces en fonction des classes d'altitudes.	32
Graphe 14 : courbe hypsométrique du bassin versant en amont du future barrage Azaghar.	33
Graphe 15 : pourcentages des surfaces des classes lithologiques du bassin versant.	38
Graphe 16 : pourcentages de la surface des classes de pente au bassin versant.	43
Graphe 17 : surfaces des classes d'exposition au bassin versant en amont du future barrage Azaghar	43
Graphe 18 : répartition des classes dans le bassin versant Azaghar.	46
Graphe 19 : les superficies des classes NDVI des années 2020 ET 2022 au bassin versant.	53
Graphe 20 : variation des superficies des classes NDVI entre 2020 et 2022.	53
Graphe 21 : graphe des classes d'érosivité du bassin versant Azaghar	54
Graphe 22 variation des précipitations moyennes annuels du bassin versant en amont du future barrage Azaghar entre 2000 et 2021.	59
Graphe 22 : la variation des précipitations moyennes mensuelles de la période entre 2000 et 2021 du bassin.	60

## Liste des cartes.

Carte 1 : MNT délimite du bassin versant en amont du future barrage azaghar « zone d'étude »	10
Carte 2 : Carte d'étude d'aménagement du bassin versant en amont du future barrage Azaghar.	13
Carte 3 : Situation du bassin versant en amont du futur barrage Azaghar au sein du grand bassin versant de Sebou.	14
Carte 4 : situation administrative du bassin versant en amont du future barrage Azaghar. (Source : DREFLCD-FB).	15
Carte 5 : situation forestière du bassin versant en amont du future barrage Azaghar. (Source : DREFLCD-FB).	17
Carte 6 : carte des isohyètes du bassin versant en amont du future barrage Azaghar.	21
Carte 7 : carte d'érosivité du bassin versant en amont du future barrage Azaghar.	24
Carte 8 : Carte d'hypsométrie du bassin versant azaghar.	34
Carte 9 : classification de lithologie du bassin versant en amont du future barrage Azaghar.	37
Carte 10 : lithologie du bassin versant en amont du future barrage Azaghar.	39
Carte 11 : géologie du bassin versant en amont du future barrage azaghar (data source DREFLCD-FB).	41
Carte 12 : Carte de la pente au niveau du bassin versant Azaghar.	42
Carte 13 : exposition du bassin versant en amont du future barrage Azaghar.	44
Carte 14 : Occupation du sol du bassin versant en amont du future barrage Azaghar .	47
Carte 15 : NDVI du bassin versant en amont du future barrage Azaghar en 2020 et 2022.	52
Carte 16 : carte d'érosion du bassin versant Azaghar.	54
Carte 17 : réseau hydrographique du bassin versant en amont du future barrage Azaghar.	56

## Liste des figures.

Figure 1 : Profile au long du cours d'eau principale effectué par global mapper.	58
----------------------------------------------------------------------------------	----

# INTRODUCTION

Le bassin versant en amont du futur barrage Azaghar fait partie du Moyen Atlas. Comme les autres bassins du Moyen Atlas, le bassin versant se caractérise par des facteurs physiques (la topographie, la lithologie) et biotiques (le couvert végétal) qui l'exposent aux phénomènes de l'érosion hydrique. Dans un tel contexte, l'aménagement des bassins versants constitue un rôle majeur dans la mesure où il vise la préservation des eaux, en termes de qualité et quantité, à travers une gestion conservatoire des sols à l'amont. En Amont, l'érosion se manifeste par la dégradation des sols, alors qu'en aval, elle constitue une menace pour la mobilisation de la ressource eau, élément vital pour le développement socioéconomique des populations locales.

L'étude visera à produire une analyse des différentes données pluviométriques, hydrologiques et géologiques etc... Pour obtenir une meilleure connaissance des caractéristiques du milieu physique du bassin versant. Suite à une identification d'hydrologie du bassin, une phase de recherche a été faite pour étudier l'érosion au sein du bassin versant Azaghar.

# L'utilisation de l'ArcGIS :

Sur la base de l'MNT de la zone d'étude et la limite du bassin versant la production des différentes cartes thématiques a été effectuée par le logiciel ArcGIS.

Le système d'information Géographique ArcGIS :

C'est un ensemble d'outils SIG développé par la compagnie américaine ESRI (Environnement System Research Institute), fondée 1969 aux Etats-Unis. Ce logiciel offre de nombreuses potentialités pour la manipulation, la gestion, l'analyse et l'édition des données spatiales.

Différentes couches d'informations spatiales peuvent être manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches (superposition, overlay).

Le seul lien entre ces différentes couches est le lien spatial, c'est-à-dire, l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système de coordonnées.

L'ArcGIS comporte principalement trois composantes :

**ArcCatalog** : est un explorateur de données tabulaires et cartographiques. Il est vivement conseillé d'utiliser ArcCatalog pour effacer les fichiers car ces fichiers sont accompagnés d'autres fichiers que l'explorateur de Windows, s'il est utilisé, ne permet pas de les effacer automatiquement. ArcCatalog permet aussi de visualiser les données tabulaires et les couches géographiques ainsi qu'une exploration des différents thèmes qui les constituent.

**ArcMap** : ArcMap est l'application fondamentale du logiciel ArcGIS. Elle contient une boîte à outils, organisée sous forme de modules indépendants (extensions), permettant de gérer, manipuler, analyser et éditer les différentes couches d'informations de la base de données. ArcMap est l'équivalent de l'ancienne version d'ArcView.

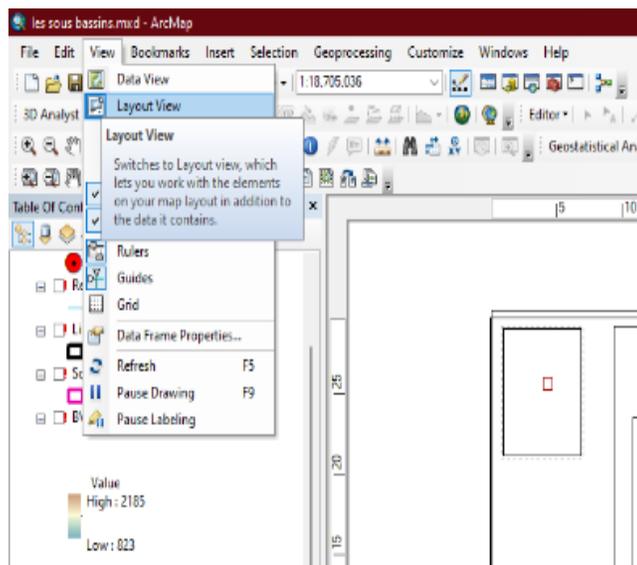
**ArcToolbox** : est une boîte à outils permettant d'effectuer des conversions et de transferts de format et aussi de projection. Bien que la délimitation des sous-bassins et l'obtention des réseaux hydrographique.

Le parcours suivi dans la création des cartes dans ce rapport :

Pour produire un cadre d'une carte en ArcGIS comme celui là on doit suivre les étapes suivantes :

1. Aller sur layout view

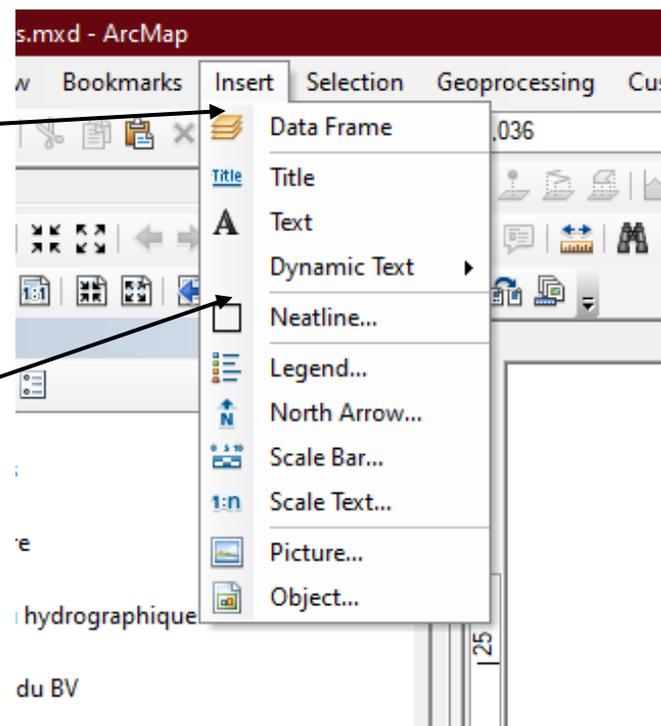
pour avoir votre espace de travail dans laquelle vous pouvez travailler sur la carte et son contenu vous pouvez changer les paramètres de la feuille on allant sur : file/page and print setup.



2. Insérer le contenu de votre carte (le titre la légende le nord ...)

**Insert new data frame** : elle nous donne la possibilité d'insérer une ou plusieurs cartes dans la même feuille .je l'ai utilisé dans se rapport généralement pour insérer la petite carte de la localisation du bassin versant étudié

**Neatline** : c'est le cadre qui entour les elements dans la carte ou bien tout la carte.



# I. CADRE GEOGRAPHIQUE.

## I.1. Délimitation-

La délimitation du bassin versant se fait par définition des surfaces qui contribuent à l'alimentation du réseau hydrographique du bassin. Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) est l'une des données de base les plus importantes en aménagement des bassins versants, en ce sens qu'il permet non seulement la délimitation du bassin versant, mais aussi l'étude des facteurs topographiques et hydrologiques. En effet, une étude approfondie de l'importance des facteurs topographique et hydrologique nécessite l'utilisation d'un MNT de bonne résolution. Le MNT de meilleure résolution spatiale qui existe actuellement gratuit est celui de 12,5 m ALOS PALSAR. Mais malheureusement, les données ne sont pas disponibles pour ce bassin versant. Pour ne pas utiliser un MNT de résolution plus grossière, c'est-à-dire celui de 30 m disponible, et pour atteindre l'objectif de disposer d'un MNT ayant la meilleure résolution possible pour l'étude. On a téléchargé un MNT de 30m et on l'a développé à l'aide des points cotés d'altitudes prises par google earth.

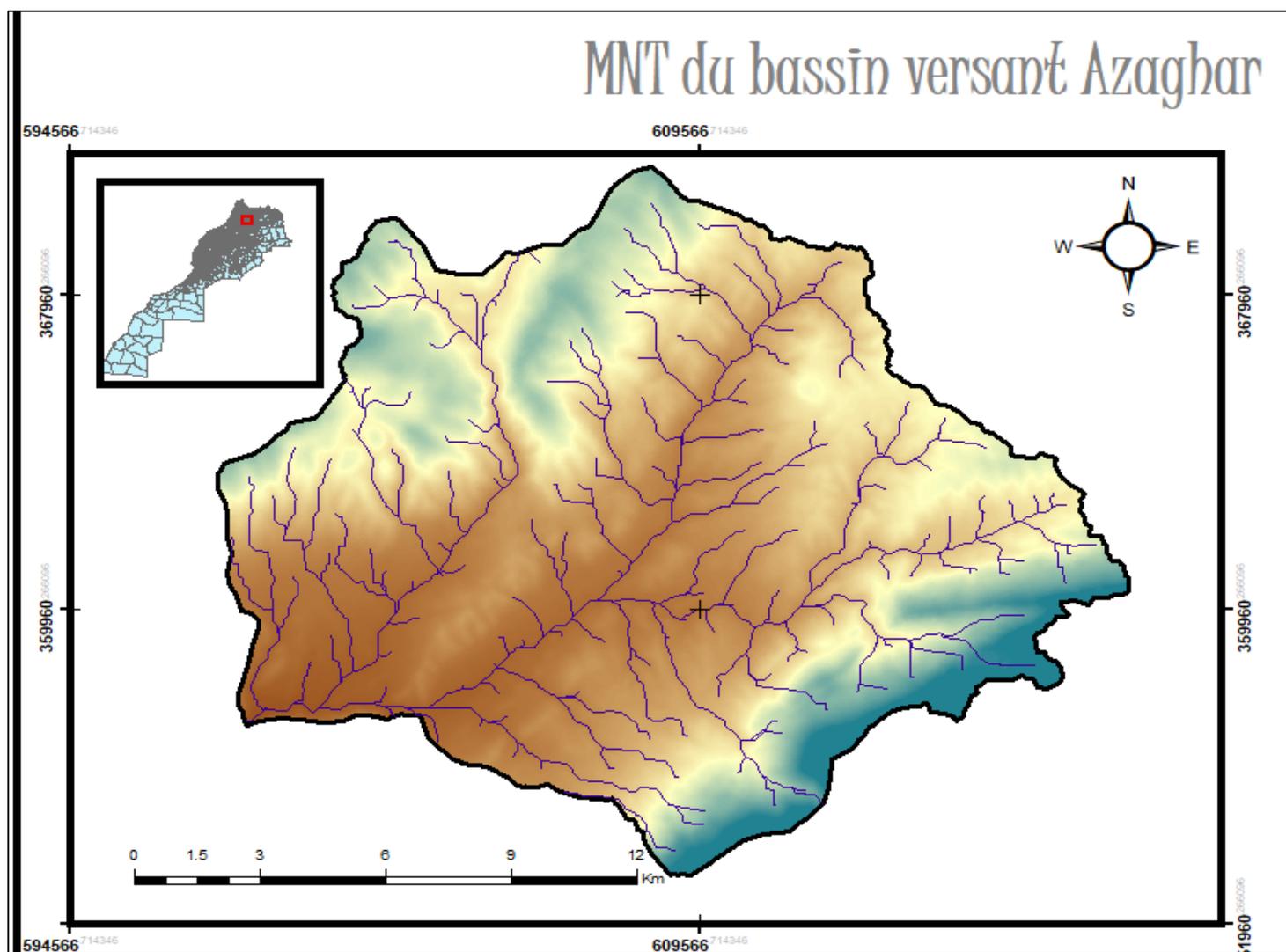
The screenshot displays the NASA EarthData ASF Data Search web interface. The browser address bar shows a search URL for Sentinel-1 data. The search filters are set to 'Geographic' and 'Sentinel-1', with 250 results out of 7,934 files. The map view shows a satellite image of Morocco with a red polygon highlighting a watershed area. The interface includes a search bar, navigation controls, and a list of search results.

Scene ID	Date	Search	Files	Details
S1A_IW_GRDH_1S... 9B8D	May 14 2022 06:19:59Z	SEARCH: Baseline SBAS More Like This	1/6	
S1A_IW_GRDH_1S... 9525	May 13 2022 18:17:57Z		0/6	L1 Single Look Complex (SLC) 4.40 GB
S1A_IW_GRDH_1S... C96D	May 09 2022 06:11:47Z		0/4	L0 Raw Data (RAW) 1.49 GB
S1A_IW_GRDH_1S... 5142	May 02 2022 06:10:58Z		0/6	L1 Detected High-Res Dual-Pol (GRD-HD) 234.00 MB

*Telechargement du MNT depuis le site web NASA earth data.*

### 1.1.1. Délimitation du bassin versant.

La délimitation du bassin versant a été effectuée, en premier lieu, automatiquement, en utilisant les outils hydrologiques du logiciel ArcGIS (la limitation du bassin par l'outil bassin en arctoolbox nécessite les coordonnées de l'exutoire prises par le site web [power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/](http://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/) et projetée dans Arcmap par l'outil go to XY). La validation de la délimitation du bassin versant a été effectuée par confrontation de la limite délimitée automatiquement avec les cartes topographiques qui couvrent la zone du bassin versant.



*Carte 1 : MNT délimité du bassin versant on amont du future barrage azaghar « zone d'étude »*

La limite automatique a été corrigée et ajustée de manière à ce qu'elle inclut tous les effluents qui contribuent à l'alimentation du réseau hydrographique du bassin et tenant compte des lignes de partage des eaux comme le montre la carte 1.

## Méthodologie :

ArcToolbox :

1. Cliquer sur Spatial Analyse Tools

= Hydrologie

= Fill (=remplissage) en ajoute l'MNT de la zone d'étude en entre;

= Flow direction (=direction de flux) en ajoute le remplissage en entre;

= Flow accumulation (=accumulation de flux) en met la direction de flux en entre;

= On a obtenue le réseau hydrographique

= Conditional

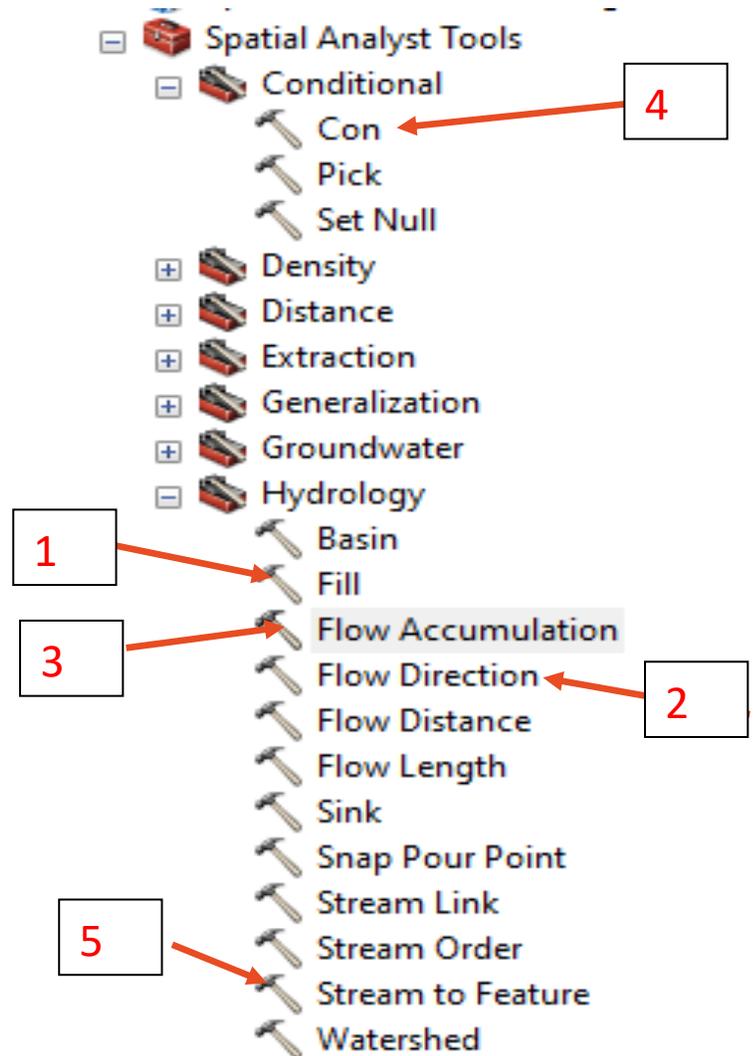
= Con «Flow accumulation» «value ...»

Remarque : plus la valeur est élevée (exp : 2000) plus le réseau hydrographique est moins dense,

et vis-versa.

= Hydrologie

-Stream to feature (=écoulement vers l'entité) « 1-con-flowacc, 2-Flow direction



## Définitions des outils majeurs

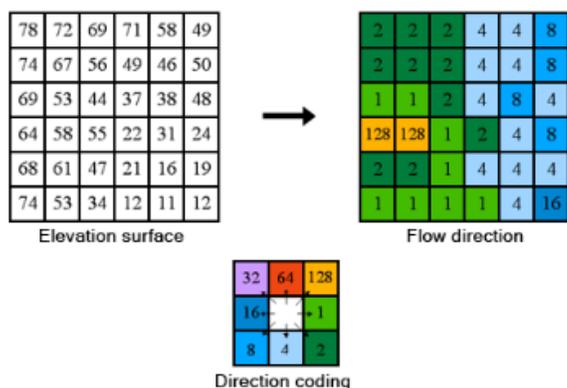
### Remplissage (fill) :

L'outil remplissage permet d'employer les fonctionnalités de plusieurs outils, notamment Flux focal, Direction de flux, Cuvette, Bassins versants et Remplissage zonal pour identifier les cuvettes et les remplir. L'opération se répète jusqu'à ce que toutes les cuvettes dans la limite Z soient remplies. Lorsque les cuvettes sont remplies, vous pouvez en créer d'autres aux limites des surfaces remplies



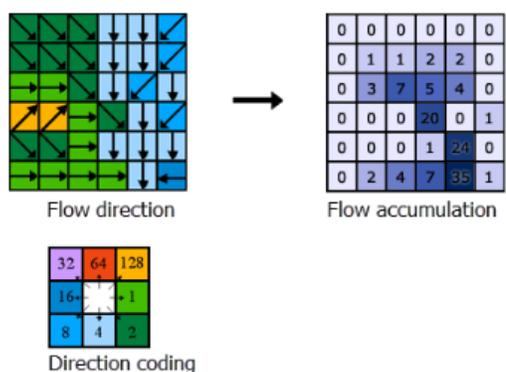
### Direction de flux (flow direction) :

Cet outil se sert d'une surface comme entrée et génère un raster représentant la direction du flux sortant de chaque cellule. Si l'option Raster de suppression en sortie est sélectionnée, un raster en sortie est créé représentant le rapport de la variation maximale d'altitude à partir de chaque cellule dans la direction du flux sur la distance du trajet entre le centre des cellules, exprimé en pourcentage. Si l'option Forcer l'écoulement vers l'extérieur sur les quatre tronçons est sélectionnée, toutes les cellules situées au bord du raster de surface s'écouleront vers l'extérieur.



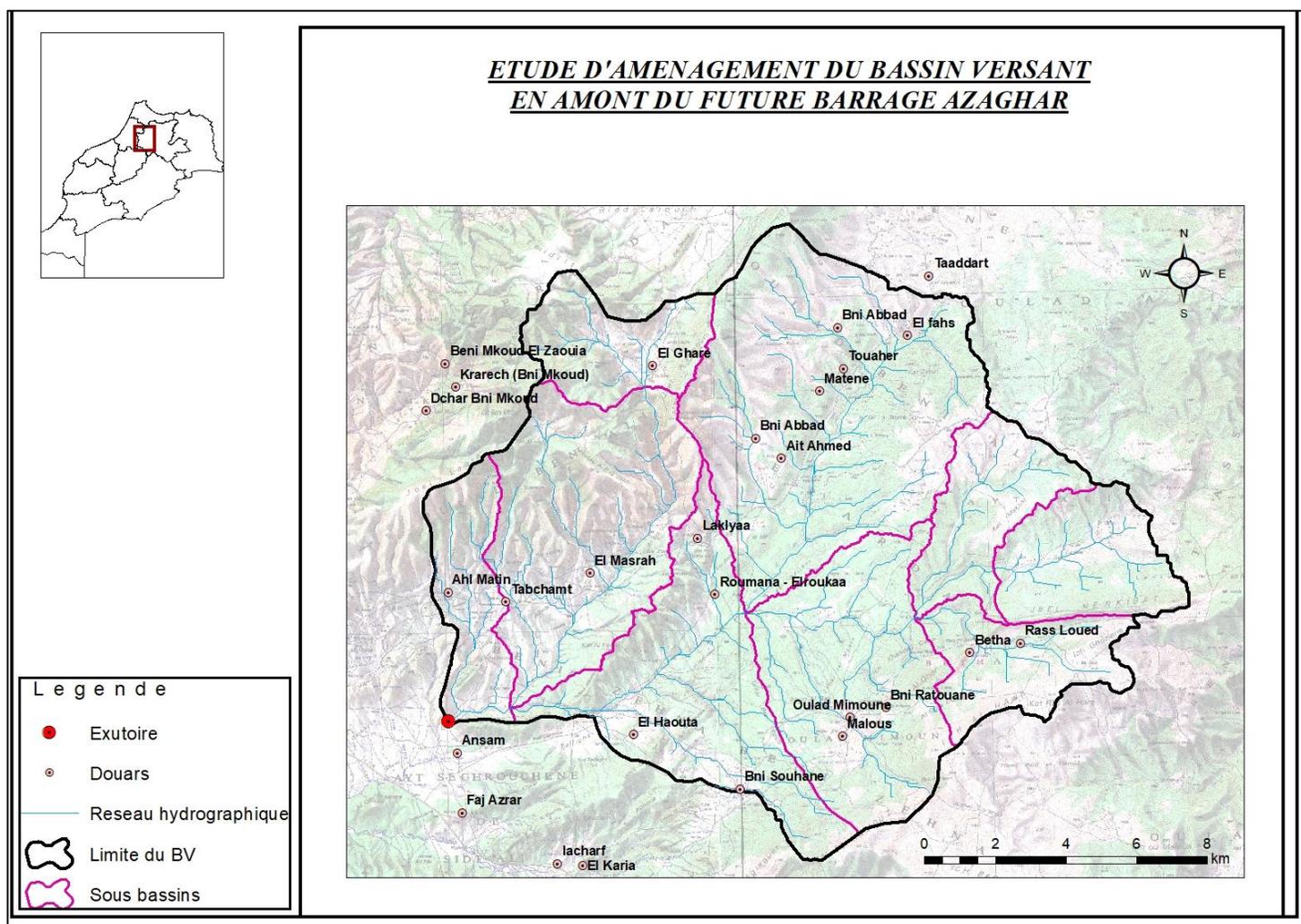
### Accumulation de flux (flow accumulation) :

L'outil accumulation de flux permet de calculer le flux accumulé sous la forme d'une pondération cumulée de toutes les cellules s'écoulant dans chaque cellule en pente descendante du raster en sortie. Si aucun raster de pondération n'est fourni, on attribue la pondération 1 à chacune des cellules, et la valeur des cellules du raster en sortie correspond au nombre de cellules qui s'écoulent vers chaque cellule.



## 1.1.2. Délimitation des sous bassins versants.

Un bassin versant est constitué d'un ensemble d'affluents qui contribuent à la production de ruissellement et de sédiments drainés à l'exutoire. Etant donné que les affluents ne contribuent pas de la même manière à la production de ruissellement et de sédiments, il est nécessaire, pour un but d'orientation des interventions, d'étudier la contribution des différents affluents aux processus érosifs à l'échelle du bassin versant considéré. Il s'avère donc indispensable d'étudier les processus érosifs à l'échelle des sous bassins afin d'identifier les sous bassins qui contribuent le plus aux processus érosifs afin d'en tenir compte dans la priorisation des interventions. La carte ci-dessous présente les différents sous bassins considérés dans le bassin versant en amont du futur barrage Azaghar. la délimitation des sous bassins versant est fait par ArcGIS (arctoolbox/spatial analyst tools/hydrology/bassin).



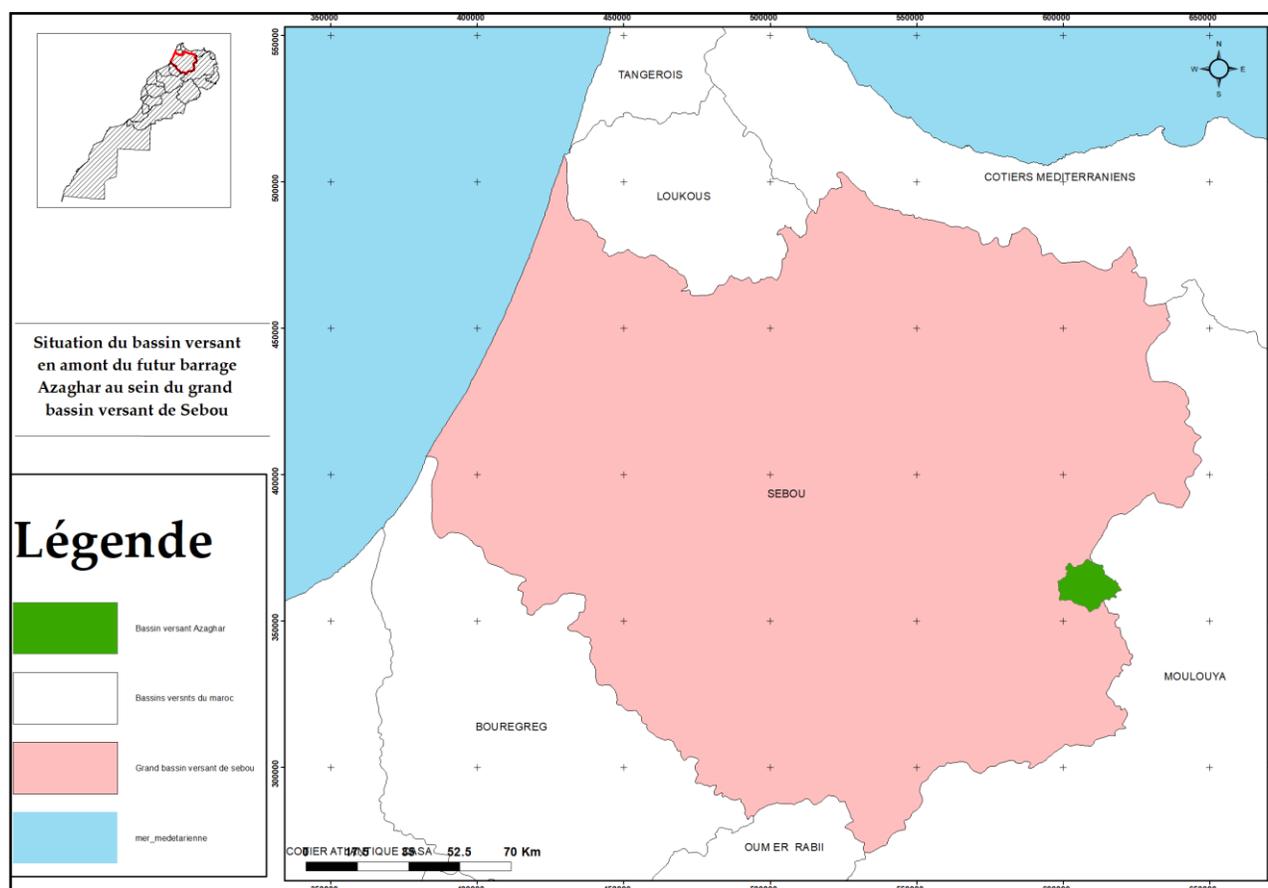
Carte 2 : Carte d'étude d'aménagement du bassin versant en amont du future barrage Azaghar. (data source DREFLCD-

## 1.2. Situation géographique.

Le bassin versant en amont du futur barrage Azaghar est drainé par l'oued Bouflou qui est un affluent de la rive droite de l'oued Zloul. C'est un affluent de la rive droite de Sebou. L'exutoire du bassin versant en amont du futur barrage Azaghar est situé dans la commune territoriale d'Ighzrane à l'est de la ville Sefrou. Le bassin en amont du future barrage Azaghar fait partie du grand bassin hydraulique de l'Oued Sebou qui est d'une superficie de 40000 km<sup>2</sup> et qui draine environ 1/3 des écoulements superficiels du Maroc. Le bassin de Sebou, attribué au Moyen-Atlas, est souvent qualifié de « château d'eau » du Maroc du fait de ses précipitations importantes et de son nombre important de sources. (Source agence du bassin hydraulique Sebou fes)

Le bassin versant en amont du futur barrage Azaghar se situe dans le Moyen Atlas septentrional entre 33° et 34° de longitude ouest, au contact du Moyen Atlas tabulaire et du Moyen Atlas plissé. Il correspond aux coordonnées Lambert X= 598 748 ; Y=357 046 à une altitude Z= 831m. Sa position est exposée au flux humide d'ouest caractérisée par une diversité paysagère et des richesses en ressources naturelles.

La carte ci-dessous présente la situation géographique du bassin versant en amont du futur barrage Azaghar



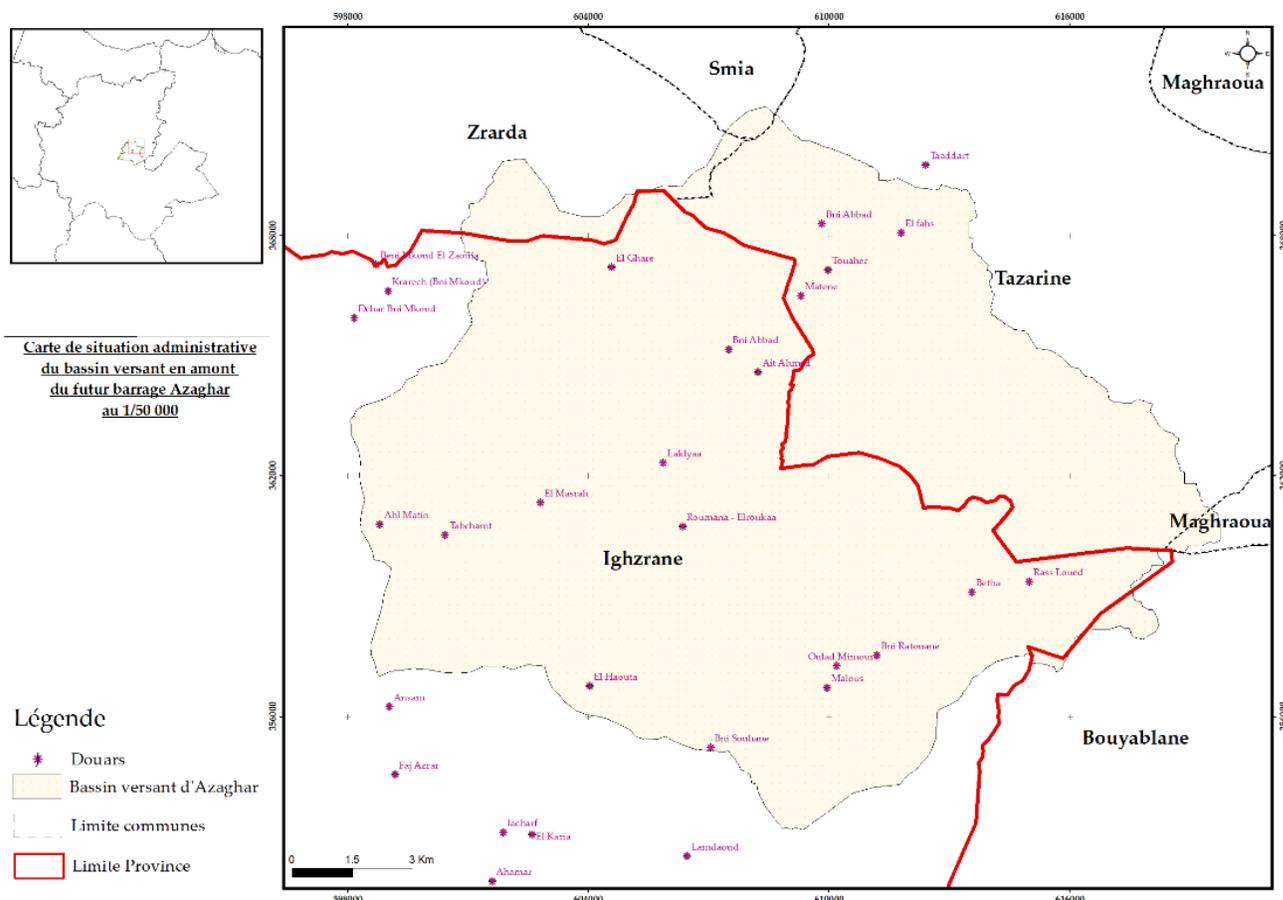
Carte 3 : Situation du bassin versant en amont du futur barrage Azaghar au sein du grand bassin versant de Sebou.

### 1.3. Situation administrative

Sur le plan administratif, le bassin versant en amont du future barrage Azaghar faisant partie de la région Fès Meknès, est reparti sur deux Provinces ; Sefrou qui occupe environ 70% de la surface totale du bassin versant et Taza (30%). La zone d'étude est partagée par trois cercles : El Menzel, Tahla et Taza, avec six communes concernées : Ighzrane, Tazarine, Zrarda, Bouyablane, Smia et Maghraoua. La commune Ighzrane occupe la plus grande partie du bassin versant avec une superficie de 161,67km<sup>2</sup>, soit un pourcentage de 69,2% suivi de la commune de Tazarine qui s'étale sur une surface de 63,77 km<sup>2</sup> équivalente à un pourcentage de 27,3%. Le reste des communes partage un pourcentage de 3,5 %. Le tableau suivant présente la répartition des communes dans le bassin versant.

Région	Province	Commune	Cercle	Superficie en Km <sup>2</sup> (dans BV)	% commune dans le BV
Fès - Meknès	Séfrou	Ighzrane	El Menzel	161,67	69,19%
		Tazarine	Tahla	63,77	27,29%
	Smia	0,60		0,26%	
	Zrarda	5,55		2,38%	
	Taza	Bouyablane	1,32	0,56%	
		Maghraoua	Taza	0,75	0,32%

Tableau 1 : Répartition des communes au sein du BV d'Azaghar (Source : DREFLCD-FB).



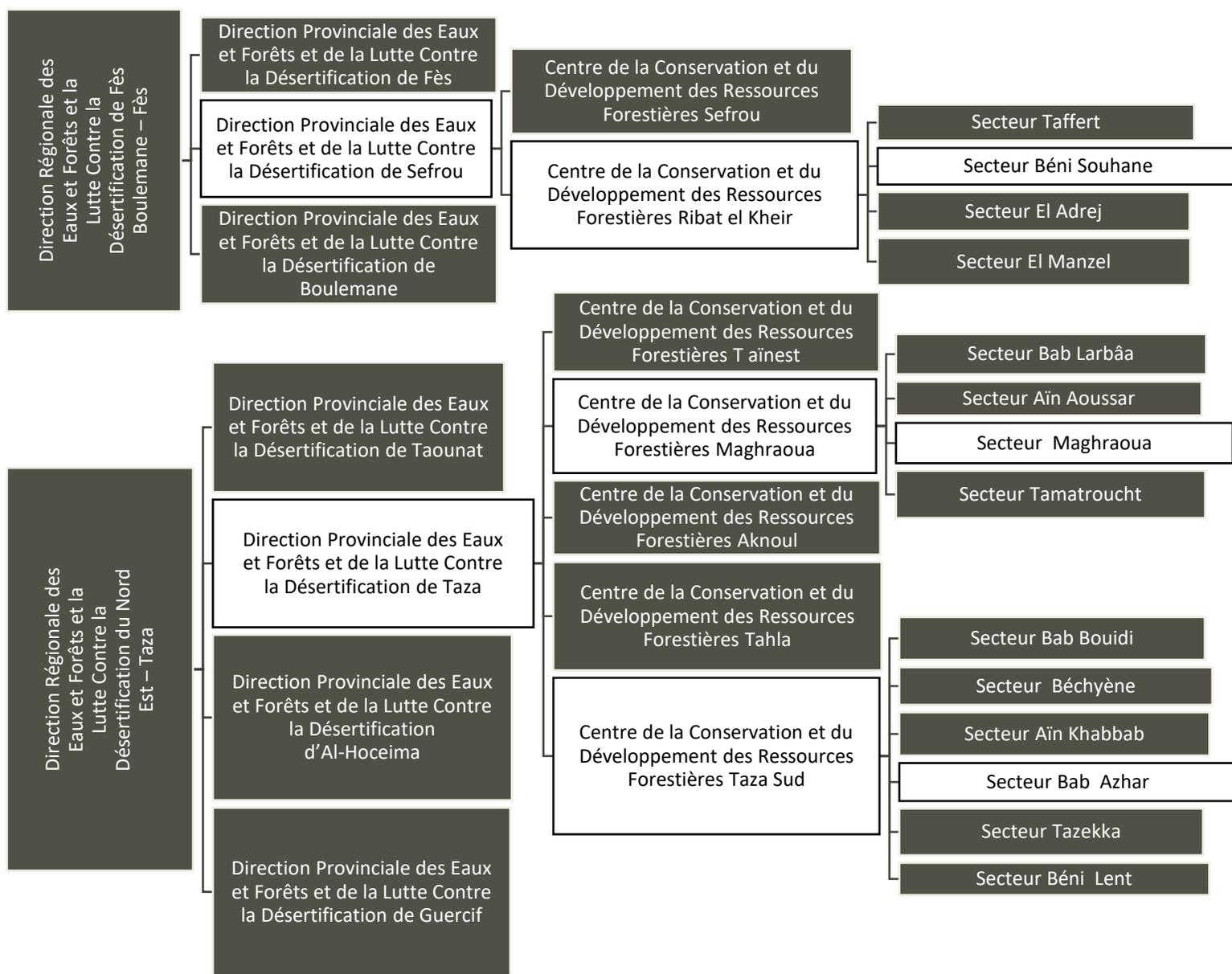
Carte 4 : situation administrative du bassin versant en amont du future barrage Azaghar. (Source : DREFLCD-FB)

## 1.4. Situation forestière

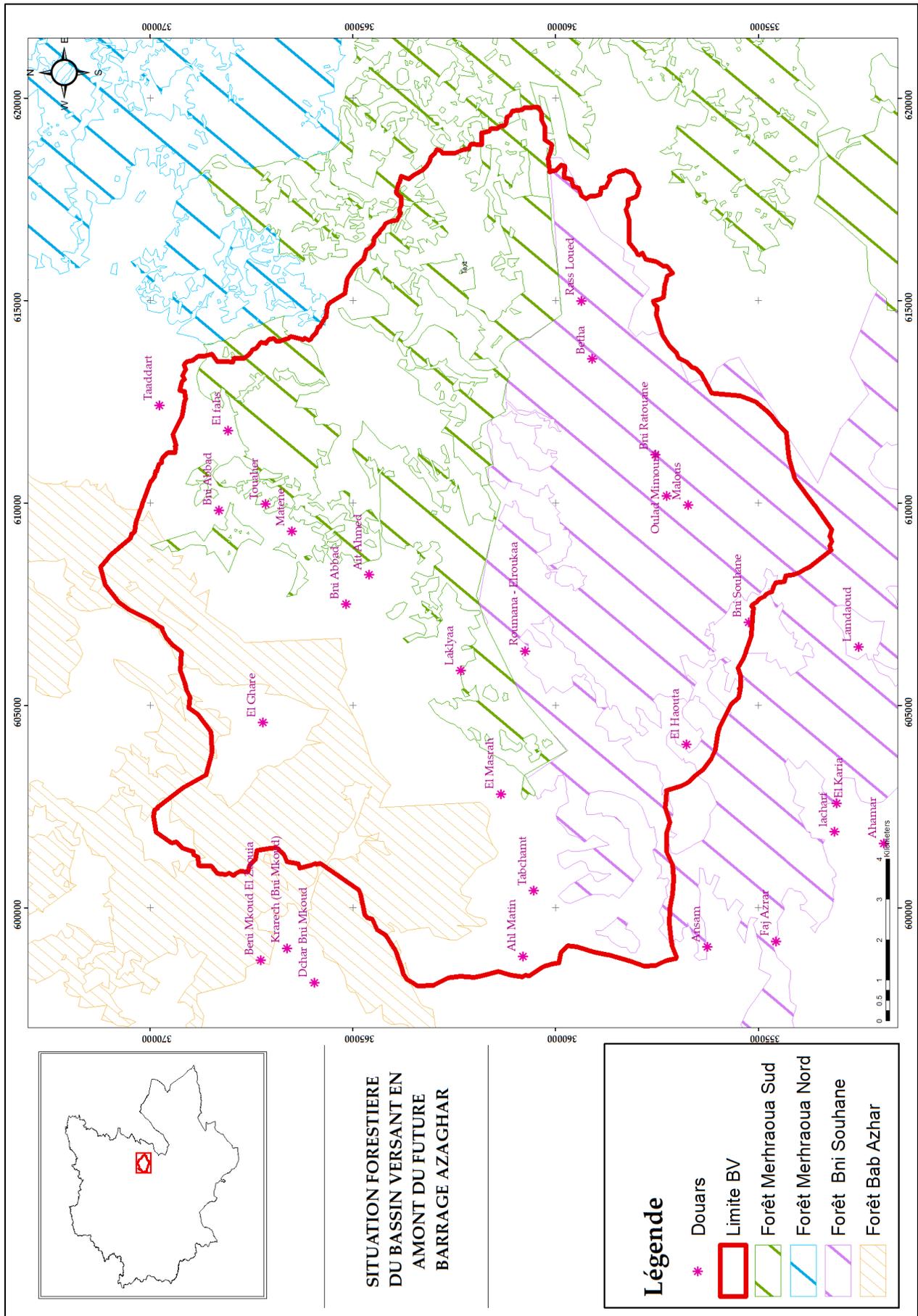
Sur le plan forestier, le bassin versant d'Azaghar se trouve dans la zone d'action de :

- ✓ DREFLCD de Nord-est et Fès Boulemane ;
- ✓ DPEFLCD de Taza et Sefrou ;
- ✓ CCDRF de Maghraoua et Ribat El Kheir et Taza Sud ;
- ✓ SF de Béni Souhane, Maghraoua, et Bab Azhar.

L'organigramme suivant présente la situation forestière du bassin versant en amont du futur barrage d'Azaghar. (Source : DREFLCD-FB)



Graph 1 : Organigramme indiquant le cadre forestier du bassin versant d'Azaghar (Source : DREFLCD-FB).



Carte 5 : situation forestiere du bassin versant en amont du future barrage Azaghar. (Source : DREFLCD-FB)

## II. ETUDE DU MILIEU PHYSIQUE.

### 2.1. Facteur Climatique.

Le climat est un facteur majeur de l'érosion. La pluie détache des particules du sol, notamment à cause du ruissellement. Cette érosivité dépend principalement de la durée et de l'intensité des précipitations. Il y a ruissellement quand la quantité de pluie arrivant au sol dépasse celle infiltrée.

Nous disposons de mesures pluviométriques sur le site POWER Data Access Viewer v2.0.0 (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>)

Créé en 2019 et Il contient des paramètres météorologiques et solaires activés géospaialement formulés pour évaluer et concevoir des systèmes d'énergie renouvelable.

Pour avoir une bonne vision sur les caractéristiques climatiques du bassin on doit avoir des données pluviométriques des points proches le maximum possible de notre bassin versant .mais le problème trouvé lors de la collecte des données provisoires est au niveau de la précision c'est-à-dire que les donnees des précipitations et températures sont les mêmes sur une grande partie au tours du bassin , pour cela on a pris des station plus ou moins loin du bassin pour avoir des résultats fiables et comparables.

#### 2.1.1. Précipitations

Les données de précipitations mensuelles disponibles utilisées couvrent la période 2010-2021, pour les stations virtuels les plus proches du bassin versant, présentées dans le tableau suivant :

NOM	LATITUDE	LONGITUDE	PERIODE COUVRTE	DISTANCE DU BV
Meghrawa	33.9412	-4.0239	2010/2021	10.05 Km
sefrou	33.8281	-4.8358	2010/2021	46.26 Km
Imouzzer marmoucha	33.4769	-4.288	2010/2021	33.52 km
Ribat alkhayr	34.0181	-4.5239	2010/2021	6.27 Km

Table 2 : données des stations utilisées dans l'étude hydrologique du bassin versant en amont du future barrage Azaghar.

les données des précipitations de la NASA ont été utilisées pour la période 2010 -2021 depuis ces données on a tiré cette carte des isohyetes on utilisant 7 points proches du bassin. le tableau si dessous présente les points utilisés.

Nom	Long	Lat	P moy du point en mm
Meghrawa	-4.046	33.9326	506.1658333
Sefrou	-4.8358	33.8281	706.5617
Imouzzer marmoucha	-4.288	33.4769	603.8967
Ribat alkhayr	-4.4009	33.8232	728.6616
Oued amlil	-4.2675	34.1905	728.66
Ait seghrouchen	-4.5239	34.0181	728.6617
taza	-3.958	34.2431	506.1658

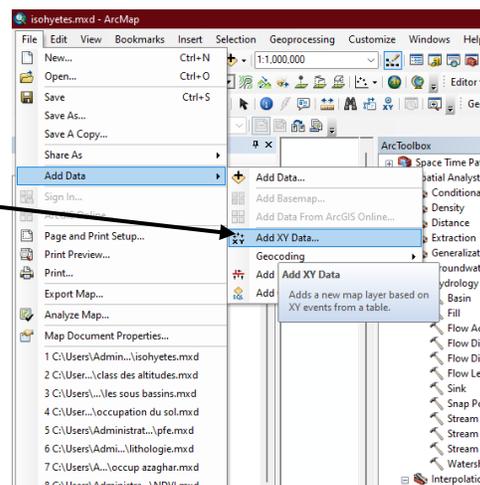
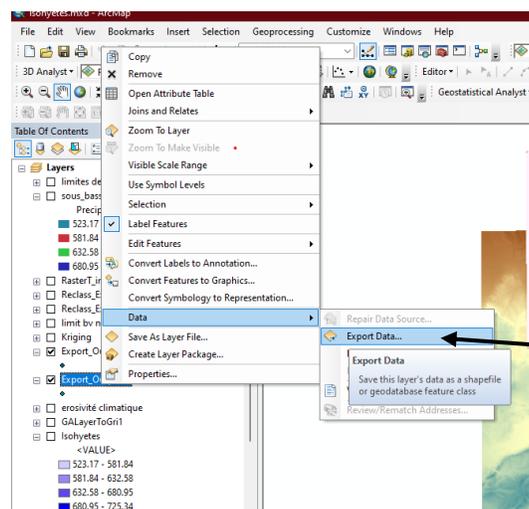
table 3 : les presipitations moyennes des stations autour du bassin versant en amont du future barrage Azaghar.

STATIONS	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Meghrawa	1059.96	690.82	553.71	558.98	453.52	406.05	442.97	226.76	706.64	295.31	337.5	341.77
Ribat alkhayr	1386.91	912.3	711.91	870.12	643.36	553.71	706.64	342.77	1128.52	474.61	527.34	485.75
sefrou	1276.17	849.02	653.91	822.66	664.45	432.42	701.37	353.32	1197.07	437.7	564.26	526.39
Imouzer marmoucha	938.67	648.63	585.35	553.71	511.52	585.35	574.8	337.5	991.41	474.61	569.53	475.68

Table 4 : Table des précipitations moyennes annuels des stations autour du bassin versant .

## Méthodologie

Afin de préparer une table Excel contenant les coordonnées des points des stations étudiées et les précipitations moyennes (table 4) on insère la table dans ArcGIS pour présenter les points dans la carte.



On export les données ajoutées dans cette étape et puis on les ajoute de nouveau pour avoir une table attributaire qui est montée dans l'image ci-après.

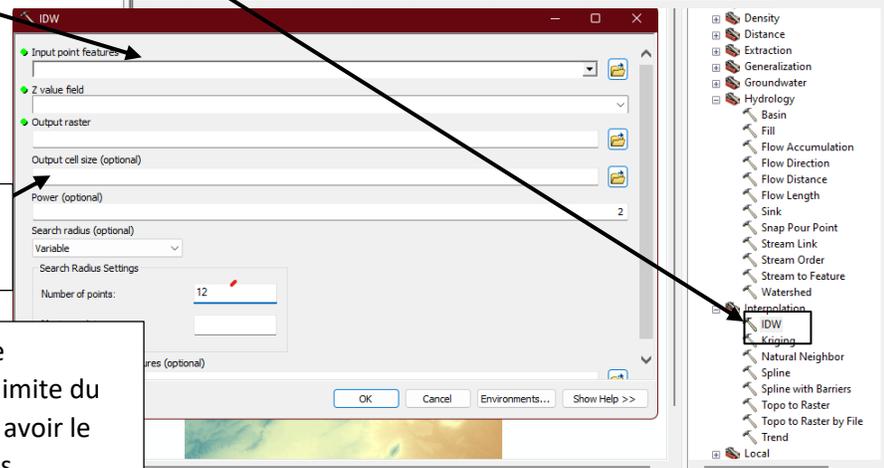
L'outil IDW pour établir la carte des isohyètes en rapport avec les pointes des stations.

On insert le fichier des points extrait de l'étape précédent et dans Z value Field on insère la ligne p (précipitations moyenne annuels des stations) .

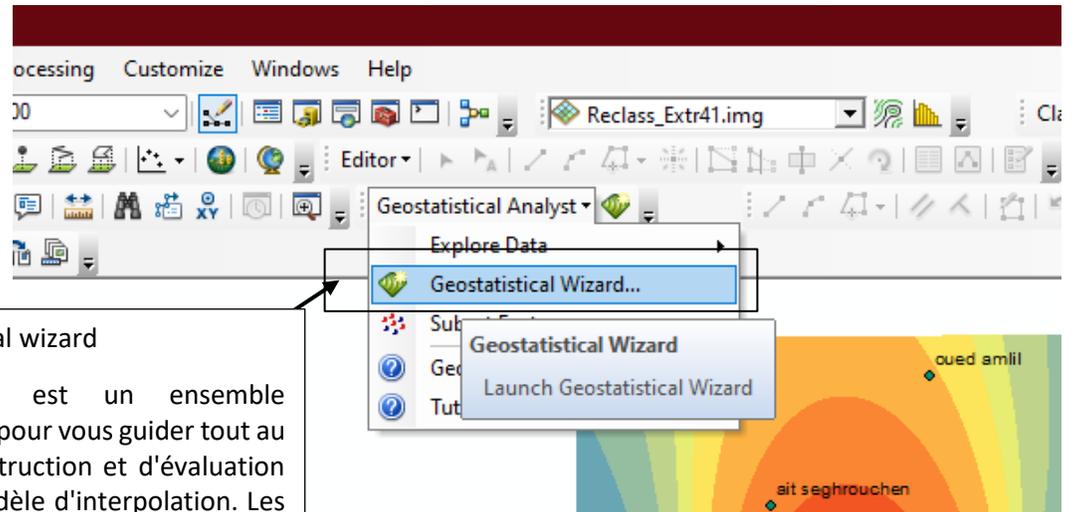
**Output cell size** : pour ajuster les paramètres du pixel pour but d'avoir une bonne qualité.

Le résultat obtenu de cette opération doit être reclassifié par l'outil **reclassify** et coupé par la limite du bassin versant par l'outil **extract by mask** pour avoir le résultat final affiché dans la carte des isohyètes.

FID	Shape *	nom	long	latitude	distance	p	erosivite *
0	Point	Meghrawa	-4.046	33.9328	10.305974 Km	506.165833	68.5936
1	Point	sefrou	-4.8358	33.8281	46.143959 Km	706.5817	64.41
2	Point	Imouzer	-4.288	33.4769	33.840697 Km	603.8967	70.17
3	Point	Ribat alkhayr	-4.4009	33.8232	6.416505 Km	728.6616	80.9231
4	Point	taza	-3.958	34.2431		0	68.5936



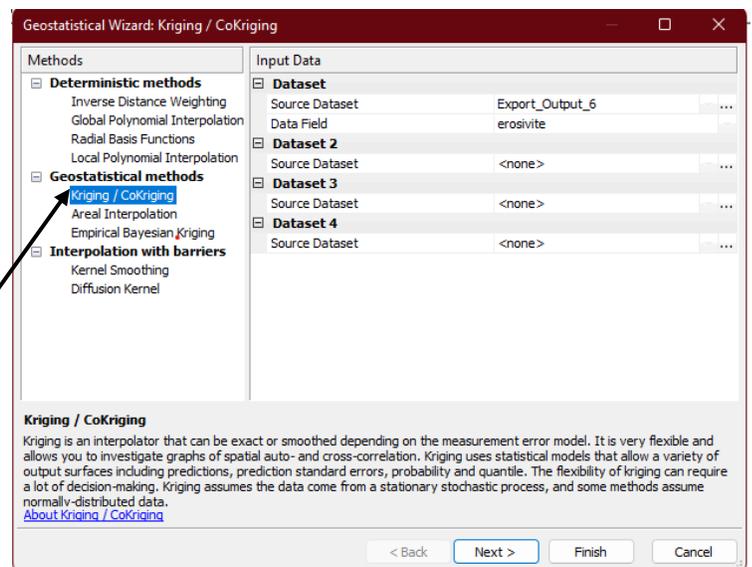
En utilisant la table attributaire on peut fixer la carte d'érosivité suivant les étapes si-après.



En utilisant l'outil geostatistical wizard

L'assistant géostatistique est un ensemble dynamique de pages conçu pour vous guider tout au long du processus de construction et d'évaluation des performances d'un modèle d'interpolation. Les choix effectués sur une page déterminent les options qui seront disponibles sur les pages suivantes et comment vous interagissez avec les données pour développer un modèle adapté. L'assistant vous guide depuis le moment où vous choisissez une méthode d'interpolation jusqu'à l'affichage des mesures récapitulatives des performances attendues du modèle.

source (ArcGIS desktop/ArcMap/extensions)

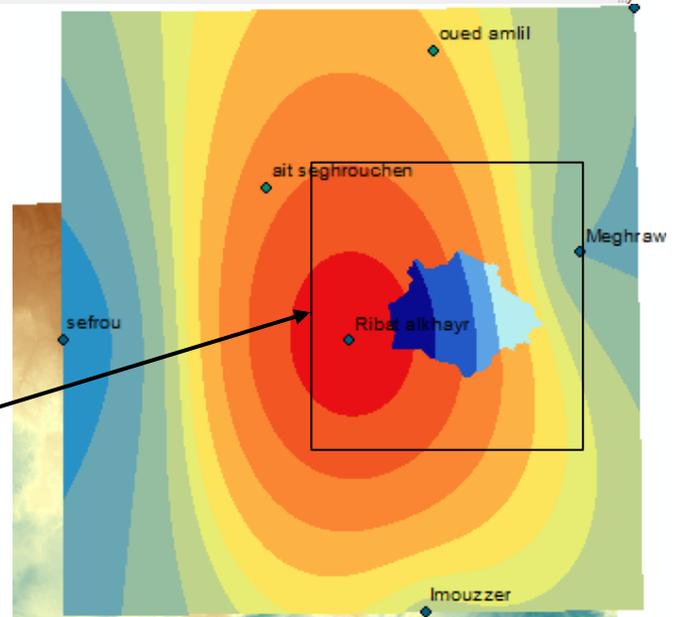


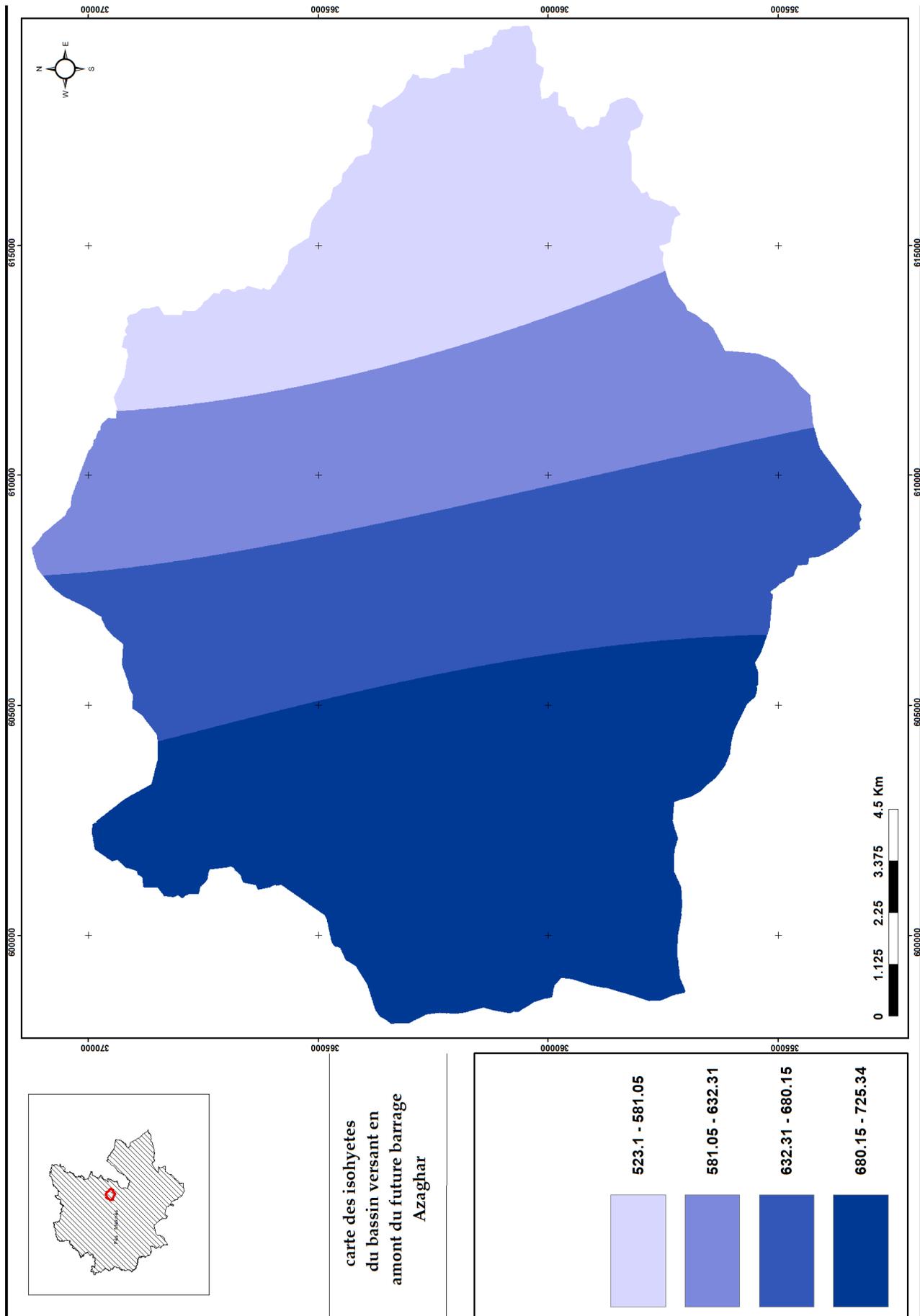
Le krigeage suppose qu'au moins une partie de la variation spatiale observée dans les phénomènes naturels peut être modélisée par des processus aléatoires avec autocorrélation spatiale, et nécessite que l'autocorrélation spatiale soit explicitement modélisée. Les techniques de krigeage peuvent être utilisées pour décrire et modéliser des modèles spatiaux, prédire des valeurs à des emplacements non mesurés et évaluer l'incertitude associée à une valeur prédite aux emplacements non mesurés.

Source (ArcGIS desktop/ArcMap/extensions)

Voilà le résultat obtenu des étapes précédentes

Après la classification par l'outil [reclassify](#) et le coupage par la limite du bassin par l'outil [extract by mask](#).

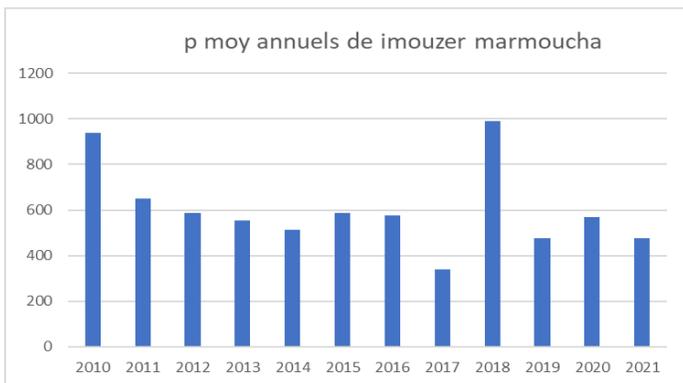




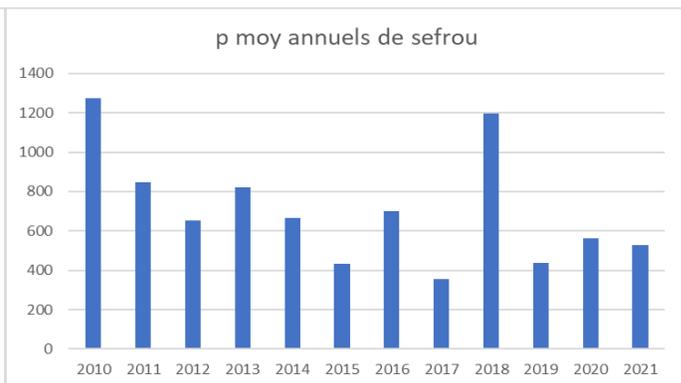
Carte 6 : carte des isohyetes du bassin versant en amont du future barrage Azaghar.

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
SEFROU	84.37	114.69	69.16	36.41	5.19	1.85	8.41	19.29	19.29	68.18	119.36	71.04
MAGHRAWA	71.63	54.93	69.67	56.24	38.07	7.62	1.91	10.19	20.77	47.99	82.76	82.76
ait seghrouchen	108.54	90.08	109.42	73.68	41.01	7.68	2.72	11.92	22.68	69.93	121.35	69.89
<b>imouzer</b>	<b>86.13083</b>	<b>63.72083</b>	<b>87.44917</b>	<b>68.6875</b>	<b>44.01083</b>	<b>8.188333</b>	<b>4.249167</b>	<b>22.9225</b>	<b>28.40917</b>	<b>52.42083</b>	<b>88.4117</b>	<b>49.29083</b>

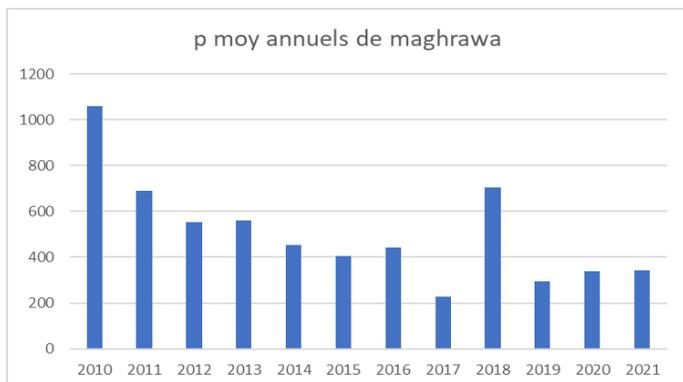
Tableau 5 : Table des présipitations moyennes mensuelles des stations autour du bassin versant en amont du future barrage azaghar.



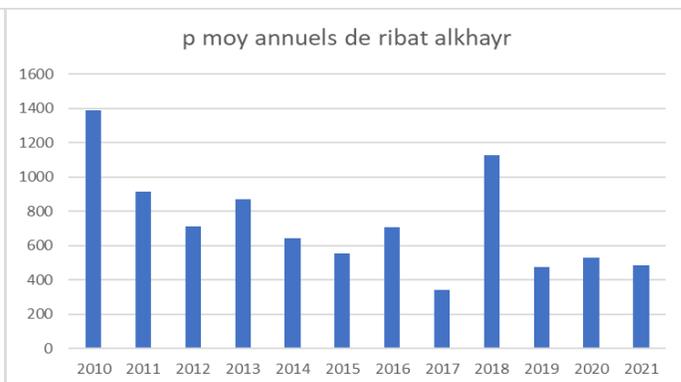
graphe 2 : présipitation moyennes annuels de Imouzer marmoucha .



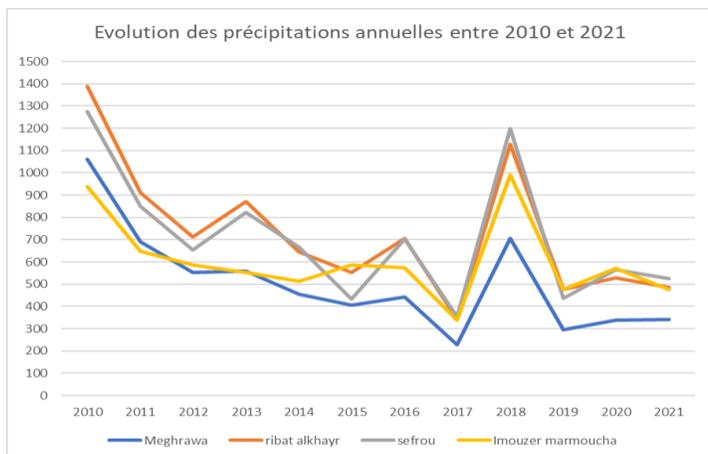
graphe 3 : présipitation moyennes annuels de Sefrou .



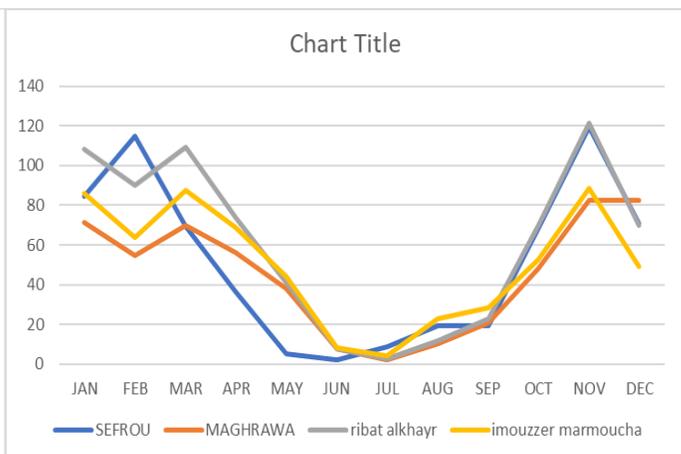
graphe 4 : présipitation moyennes annuels de Maghrawa .



graphe 5 : péesipitation moyennes annuels de Ribat alkhayr .



graphe 6 : évolution des présipitations moyennes annuelles des 4 stations .



graphe 7 : précipitatiois moyennes mensuelles des 4 stations .

d'après l'analyse du graphe 6 des précipitations moyennes annuelles on remarque que les deux années les plus pluvieuses sont 2010 et 2018, mais généralement le graphe nous montre qu'il y'a une diminution très remarquable dans le volume des précipitations au cours des années derniers.

L'analyse des données pluviométriques mensuelles permet de mieux approcher la distribution des précipitations enregistrées durant l'année et de caractériser la période sèche et la période pluvieuse ou le risque d'inondation est plus élevée. généralement un régime pluviométrique est caractérisé par un hiver et un printemps tempéré et pluvieux et un été sec. Dans le cas étudié on remarque une irrégularité dans la répartition des précipitations moyennes mensuelles. ces dernières sont plus importantes au mois de mars et novembre dans toutes les stations. seule la station de Sefrou qui a les deux mois février et novembre, les mois les plus secs sont juin juillet et août pour et aussi le mois mai pour la station de Sefrou avec des précipitations généralement inférieures à 20mm. (graphe 7).

### Agressivité climatique

L'agressivité climatique permet de mesurer la capacité érosive des précipitations d'une région sur une période donnée, il est évalué en calculant le facteur d'érosivité des pluies R du modèle RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation). Il est donné comme le produit de l'énergie totale de la pluie et l'intensité maximale pendant 30 minutes (Wischmeier et Smith 1978). Ce facteur est une mesure de la force érosive de la pluie. Il dépend essentiellement des données climatiques. Les précipitations jouent un rôle important dans la génération des risques et des formes d'érosion. Le facteur R a été calculé en utilisant les précipitations mensuelles et annuelles au niveau des 4 stations considérées. La formule de Rango et Arnoldus (Rango et Arnoldus 1987) a été appliquée.

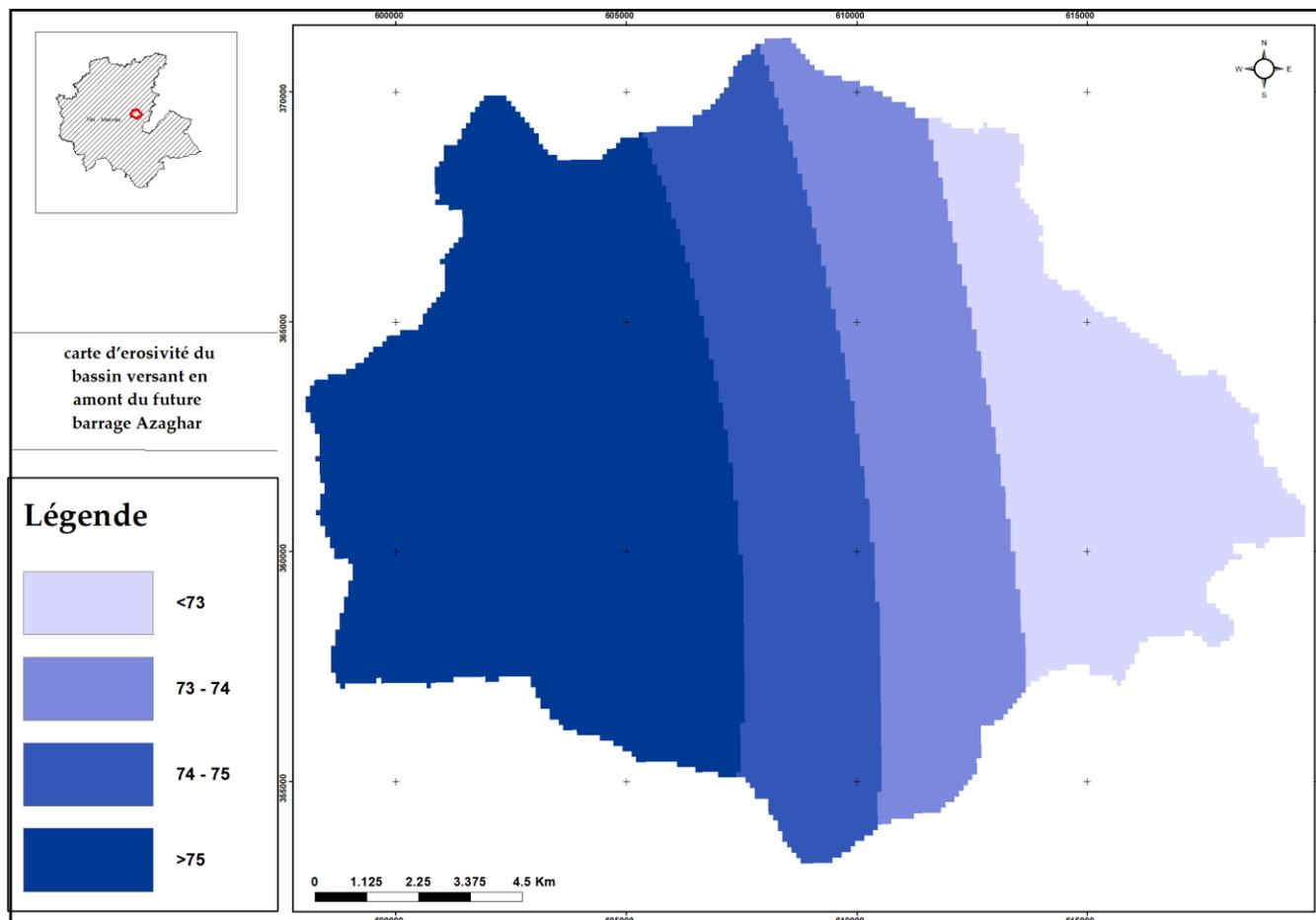
$$\text{Log } R = 1,74 \cdot \log \sum (P_i / P) + 1,29$$

où

- R est le facteur d'érosivité des précipitations en MJ mm/ha/h/an,
- $P_i$  est la pluviométrie mensuelle en mm ;
- P est la pluviométrie annuelle en mm.

Les valeurs de R calculées ont été interpolées à l'échelle du bassin versant et une valeur moyenne a été extraite par sous-bassin.

Le graphe et la carte ci-après illustrent la distribution spatiale de l'agressivité climatique par sous bassin versant



Carte 7 : carte d'érosivité du bassin versant en amont du futur barrage Azaghar .

### 2.1.2. Températures

#### Température moyenne

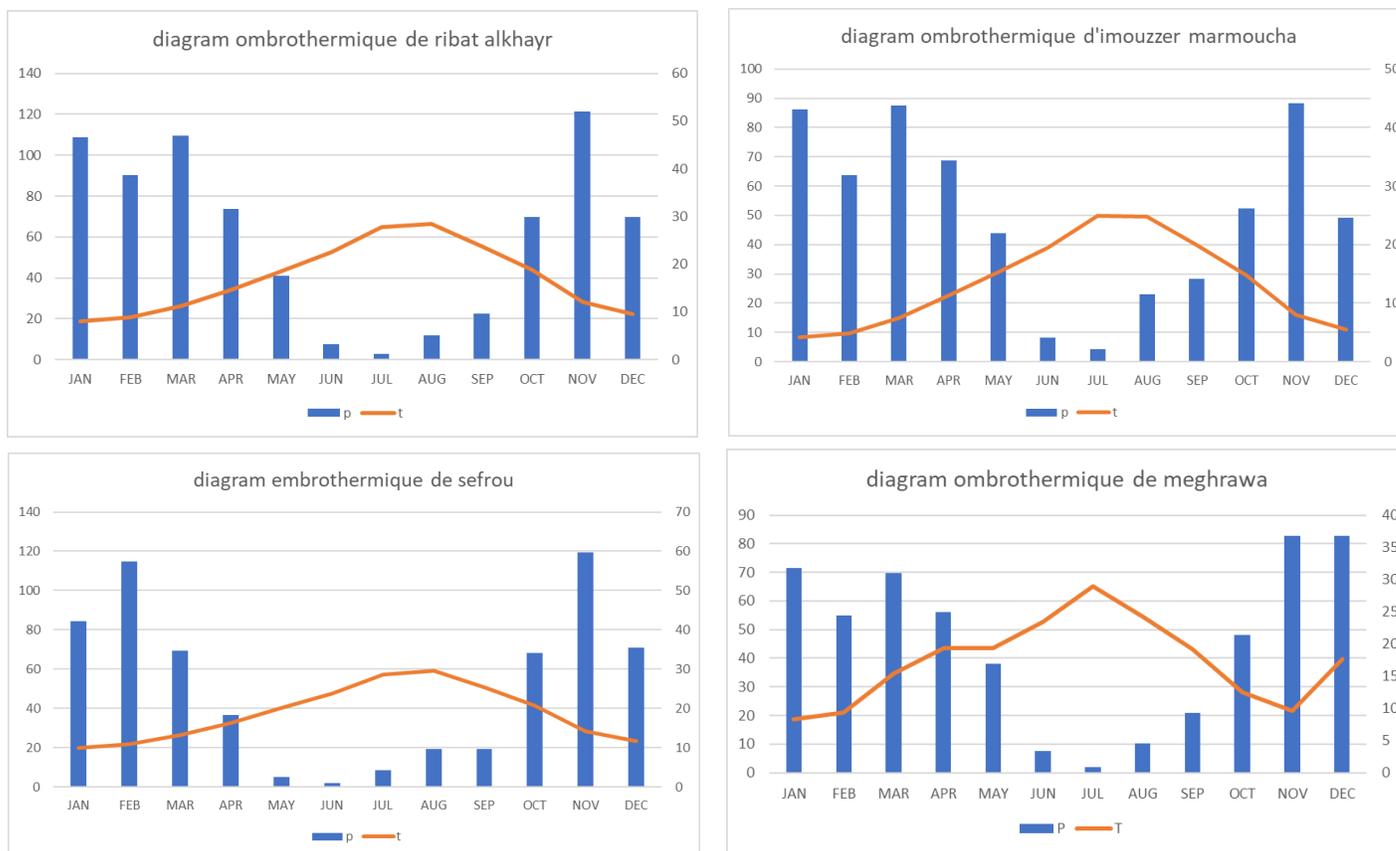
Les données de température n'étant pas disponibles au niveau du bassin, les données de la NASA ont été utilisées. Les mois de l'hiver (décembre, janvier, février) enregistrent les températures moyennes les plus basses, alors que les valeurs les plus hautes sont enregistrées en juillet et août. Les températures mensuelles varient de 4.1 à 29.58°C avec une moyenne annuelle de 16,71°C.

### 2.1.3. Amplitudes thermiques

Les températures minimales (m) et maximales (M) subissent un rôle important dans la répartition de la végétation. Ces deux paramètres permettent de contrôler indirectement le niveau d'évapotranspiration des espèces végétales. La température minimale extrême au niveau du bassin versant d'Azaghar est de -2.90 °C, dans le mois de janvier, et la température maximale extrême est dans le mois juillet avec une valeur de 39.55°C. L'amplitude thermique pour le bassin versant en amont du futur barrage Azaghar est alors de 25.73°C

## Classification bioclimatique de Bagnouls et Gaussen

Selon Bagnouls et Gaussen (1953) : « sera considéré comme sec, un mois où le total des précipitations P exprimé en mm est égal ou inférieur au double de la température moyenne T du mois exprimé en degré centigrades ». Ces 2 paramètres permettent d'établir un diagramme ombrothermique en tenant compte à la fois des températures et des précipitations moyennes mensuelles»



Graphes 8 : diagrammes ombrothermique de Bagnouls et Gaussen.

Ribat alkhayr	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
p	108.54	90.08	109.42	73.68	41.01	7.68	2.72	11.92	22.68	69.93	121.35	69.89
t	<b>8.044167</b>	<b>8.879167</b>	<b>11.235</b>	<b>14.65333</b>	<b>18.535</b>	<b>22.47667</b>	<b>27.81083</b>	<b>28.53</b>	<b>23.77417</b>	<b>18.8875</b>	<b>12.11</b>	<b>9.5475</b>

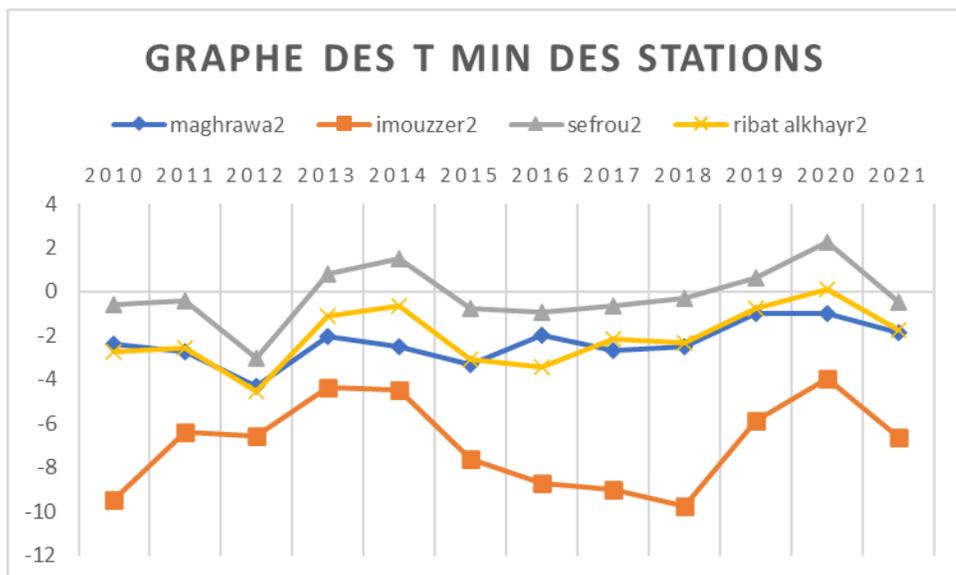
Sefrou	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
p	84.37	114.69	69.16	36.41	5.19	1.85	8.41	19.29	19.29	68.18	119.36	71.04
t	<b>9.959167</b>	<b>10.80583</b>	<b>13.13083</b>	<b>16.34583</b>	<b>20.20417</b>	<b>23.7475</b>	<b>28.52833</b>	<b>29.58</b>	<b>25.25417</b>	<b>20.79083</b>	<b>14.16333</b>	<b>11.60167</b>

Imouzzer	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
p	86.13	63.72	87.44	68.68	44.01	8.18	4.24	22.92	28.4	52.42	88.41	49.29
t	<b>4.103333</b>	<b>4.87</b>	<b>7.4975</b>	<b>11.33583</b>	<b>15.28833</b>	<b>19.49833</b>	<b>24.85083</b>	<b>24.77</b>	<b>19.84917</b>	<b>14.75833</b>	<b>8.015833</b>	<b>5.515833</b>

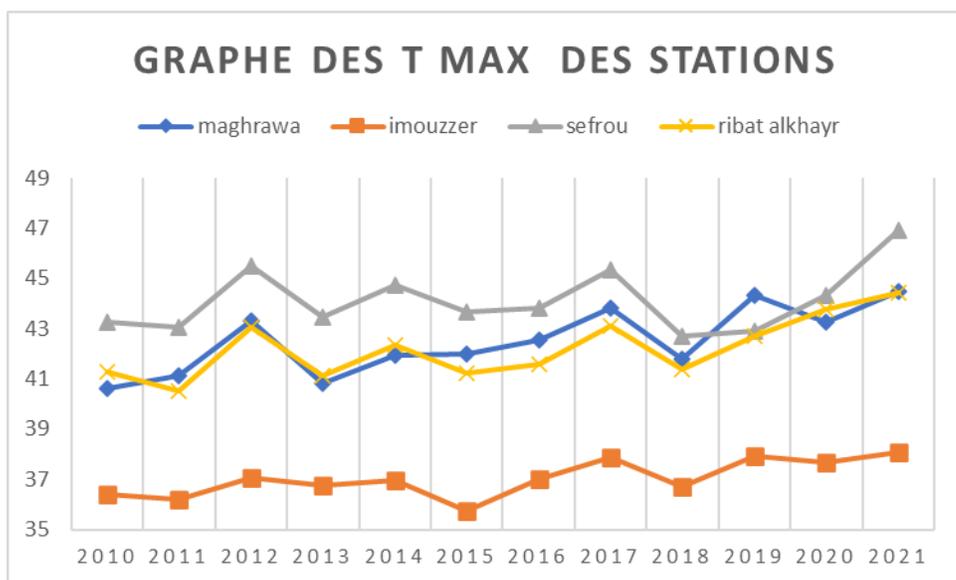
Meghrawa	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
P	71.63	54.93	69.67	56.24	38.07	7.62	1.91	10.19	20.77	47.99	82.76	82.76
T	8.355	9.3225	15.40417	19.38083	19.38083	23.41583	28.93	24.25	19.25	12.45	9.62	17.61

Tableaux 6 : Tables des précipitations et températures moyennes des stations d'étude

Les diagrammes ombrothermiques des 4 stations nous montrent que la période sèche s'étend du mois mai au mois septembre pour les stations sefrou, meghrawa et ribat alkhayr .mais pour la station de imouzzer marmoucha elle s'étend du mois juin jusqu'à septembre, cette station montre la période sèche la plus courte.(graphes 8).



Graphe 9 : les températures moyennes annuelles Minimum des 4 stations autour du bassin versant.



Graphe 10 : les températures moyennes annuelles Maximum des 4 stations autour du bassin versant.

L'analyse des graphes des températures moyennes annuelles max et min des 4 stations nous montre que la station ayant les températures T max les plus chaudes est la station de sefrou dans l'année 2021 avec une valeur de 47°C.

la station ayant la température T min la plus froide est la station de imouzzet marmoucha dans les deux années 2010 et 2018 avec une température qui dépasse -9°C, on peut dire alors que cette station est la plus froide.

### 2.1.4. Les étages bioclimatiques

Le bassin versant en amont du futur barrage Azaghar se développe sous une ambiance bioclimatique subhumide à hiver chaude. Cette ambiance se caractérise par la présence des peuplements mésophiles purs, denses à moyennement denses de cèdre, de pin d'Alep, de chêne liège, de thuya et de chêne vert assistés par le genévrier oxycèdre, le genévrier rouge

Le climagramme d'Emberger permet de déterminer l'étage bio-climatique d'une station donnée. Il est déterminé à partir de la formule modifiée:

$$Q2 = 2000 P / M^2 - m^2$$

avec

- Q2 : quotient pluviométrique
- P : précipitations moyennes annuelles exprimées en mm
- M : températures moyennes des maximales du mois le plus chaud
- m : températures moyennes des minimales du mois le plus froid

Il permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une station donnée. Emberger a précisé cinq étages bioclimatiques : humide, sub-humide, aride, semi-aride, et saharien, et quatre variantes thermiques :

Hiver froid :  $m < 0^{\circ}\text{C}$

Hiver frais :  $0 < m < 3^{\circ}\text{C}$

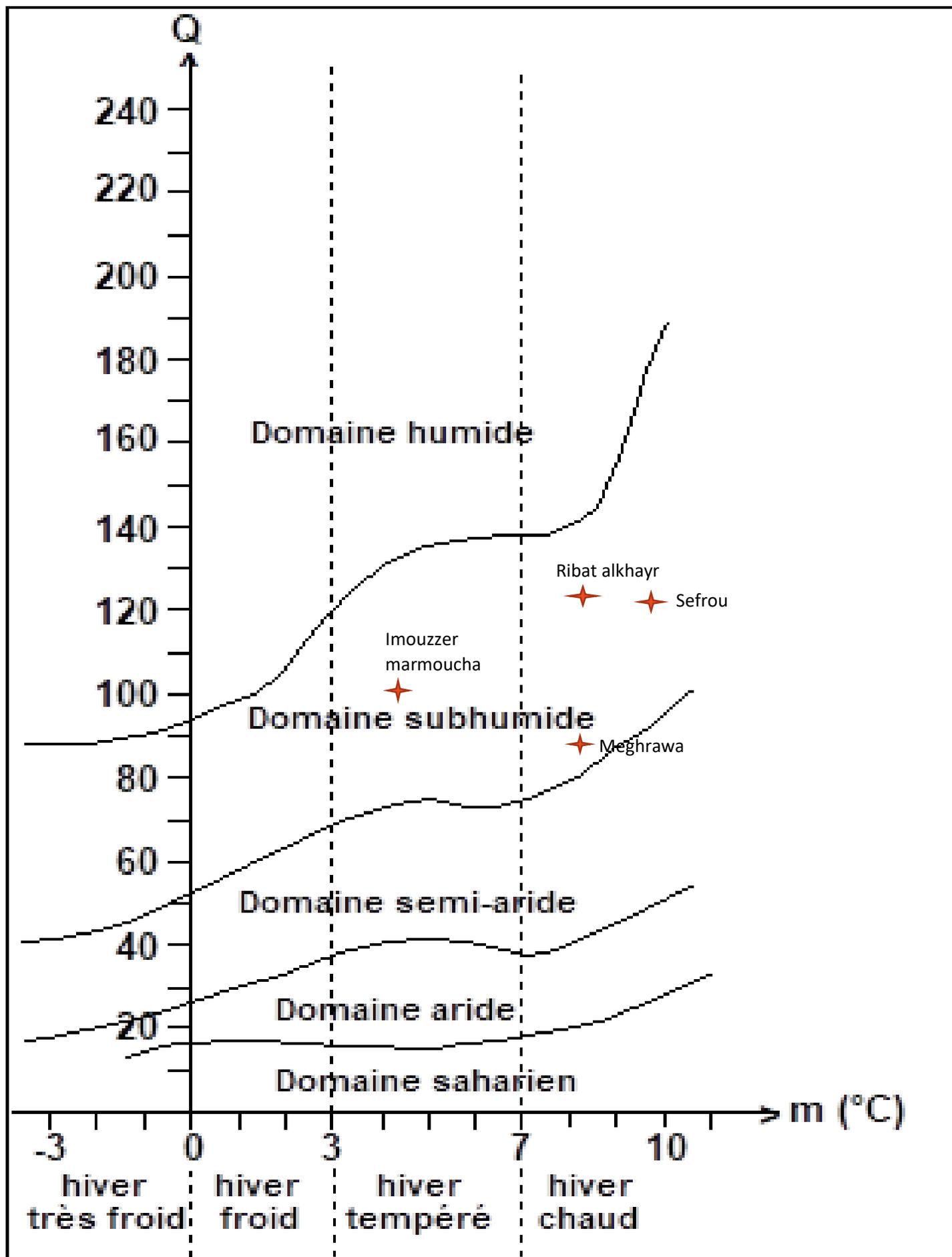
Hiver doux ou tempéré :  $3 < m < 7^{\circ}\text{C}$

Hiver chaud :  $m > 7^{\circ}\text{C}$

Meghrawa	84.26	Hiver chaud
Sefrou	122.86	Hiver chaud
Imouzzer marmoucha	101.16	Hiver doux ou tempéré
Ribat alkhayr	123.002	Hiver chaud

*Tableau 7 :Table du quotient pluviothermique d'Emberger-Sauvage das la zone d'étude..*

Contrairement aux autres stations la station Imouzzer marmoucha présente un climat d'hiver doux ou tempéré mais d'après le climatogramme d'emberger (graphe 6) tout les stations se situent dans le domaine subhumide alors on peut dire que notre bassin versant est aussi dans un domaine subhumide avec un hiver chaud à tempéré.(la station de imouzzer marmoucha se trouve dans une altitude importante cela explique la différence au niveau d'étage bioclimatique).

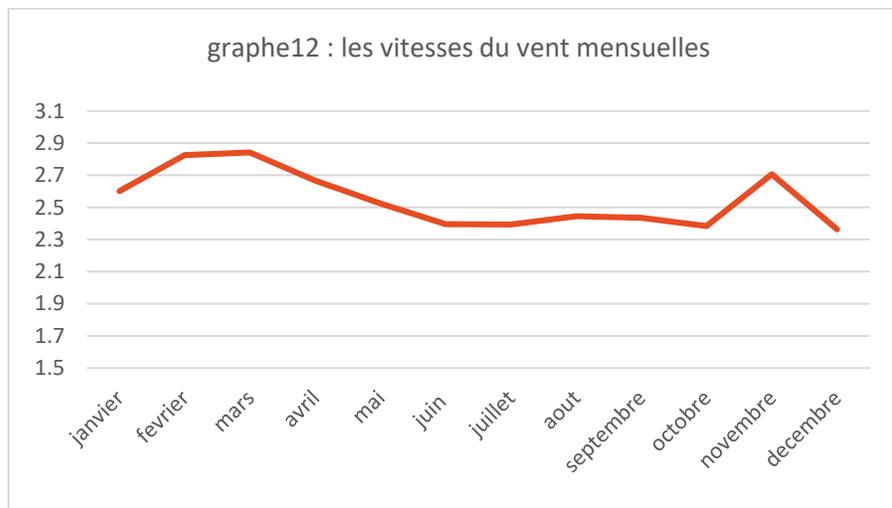


Graphie 11 : Climatogramme d'Emberger pour les stations retenues

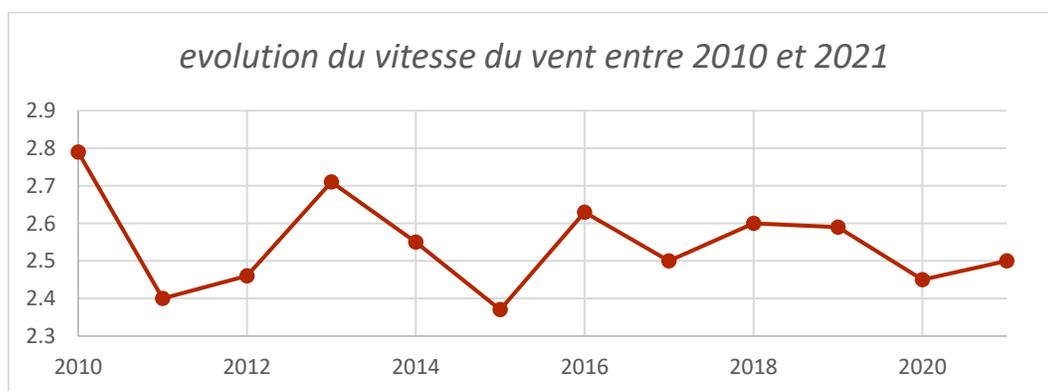
### 2.1.6. Vent

Selon les données climatiques de la NASA, les vents les plus fréquents sont généralement de faible vitesse (de 2 à 3 m/s).

Le graphe ci-dessus représente la vitesse mensuelle du vent en m/s du période entre 2010 et 2021 dans le bassin versant Azaghar.



La vitesse moyenne du vent au niveau du bassin versant connaît une variation saisonnière modérée au cours de l'année. La période la plus venteuse de l'année dure va de Novembre à mars, avec des vitesses de vent moyennes supérieures à 2.5 mètres par seconde. Le mois le plus venteux de l'année est Mars, avec une vitesse moyenne de 2.84 m/s. La période la plus calme de l'année va de Mai à Octobre. Le mois le plus calme de l'année est octobre, avec une vitesse moyenne de 2.38 m/s. Les vents violents provoquent l'érosion éolienne. Cependant le bassin versant en amont du futur barrage Azaghar n'est pas vulnérable à l'érosion éolienne, mais plutôt à l'érosion hydrique des sols.



Graphe 13 : evolution du vitesse du vent entre 2010 et 2021 au bassin versant d'Azaghar.

## Conclusion.

D'après les études climatiques du bassin versant en amont du futur barrage Azaghar on a constaté que la zone se caractérise par un volume des précipitation qui se varie entre 300 et 1400mm/an (un écart de précipitations peut être expliqué par la variation des altitudes des stations) avec une température moyenne de 19.29°C (température moyenne maximum de 41.47°C et minimum de -2.87°C) avec un période sèche d'environ 5 mois et un hiver humide qui s'étend sur 7 mois alors que le climat généralement subhumide. Les vents dans notre bassin versant sont de faible vitesse généralement (entre 2 et 3 m/s avec une moyenne de 2.38 m/s).

## 2.2. Facteur morphométrique.

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<sup>2</sup>), 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, etc sont les paramètres utilisés pour la caractérisation du bassin versant du point de vu morphométrique pour une compréhension approfondie des processus hydrologiques auxquels le bassin est soumis.

### 2.2.1. 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. Alors Ces deux paramètres ont un rôle important dans l'étude et l'aménagement du bassin versant. A l'aide des outilles d'ArcGIS on a trouvé que Le bassin versant en amont du futur barrage Azaghar s'étend sur une superficie de 233.82 km<sup>2</sup>, avec un périmètre de 73.86 km.

### 2.2.2. Coefficient de forme

#### **Indice de compacité de Gravelius**

La forme du bassin versant a une grande influence sur l'écoulement global et surtout sur l'allure de l'hydrogramme résultant d'une pluie donnée. Cette caractéristique est donnée 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 :

$$KG = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

S : surface du bassin versant en km<sup>2</sup>.

P : périmètre du bassin versant en km.

Plus l'indice de compacité est élevé plus la forme du bassin est allongée et plus le temps de rassemblement des eaux vers l'exutoire sera important. Dans le cas du bassin versant d'Azaghar, K G est égal à 1,3524. Ce qui indique un bassin de forme légèrement allongée.

### L'indice de compacité de Horton

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

$$KH = A/L^2$$

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

L : longueur du cours d'eau principal en km.

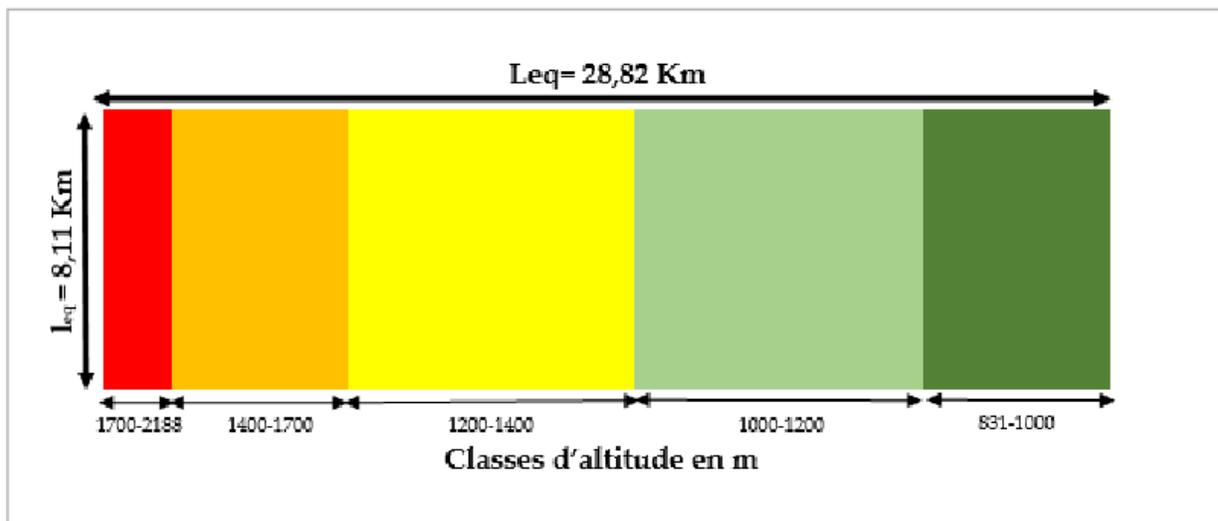
L'indice est inférieur à 1 si la forme du bassin est allongée et supérieur à 1 si sa forme est ramassée. Dans le cas du bassin versant d'Azaghar KH= 0,39, ce qui confirme que le bassin est de forme allongée.

### 2.2.3. Rectangle équivalent

Rectangle équivalent, est un rectangle qui a la même surface et le même périmètre, le même indice de compacité que le bassin versant. Il permet de comparer facilement des bassins entre eux. Les paramètres du rectangle équivalent sont déterminées en utilisant un système de 2 équations et 2 inconnues .

$$\begin{cases} S = l * L \\ P = 2l + 2L \end{cases}$$

La longueur et la largeur du rectangle équivalent au bassin versant en amont du futur barrage Azaghar sont L=28,82 km et l=8,11 km. Elles permettent de dessiner le rectangle équivalent de la zone d'étude en se basant sur la courbe hypsométrique.

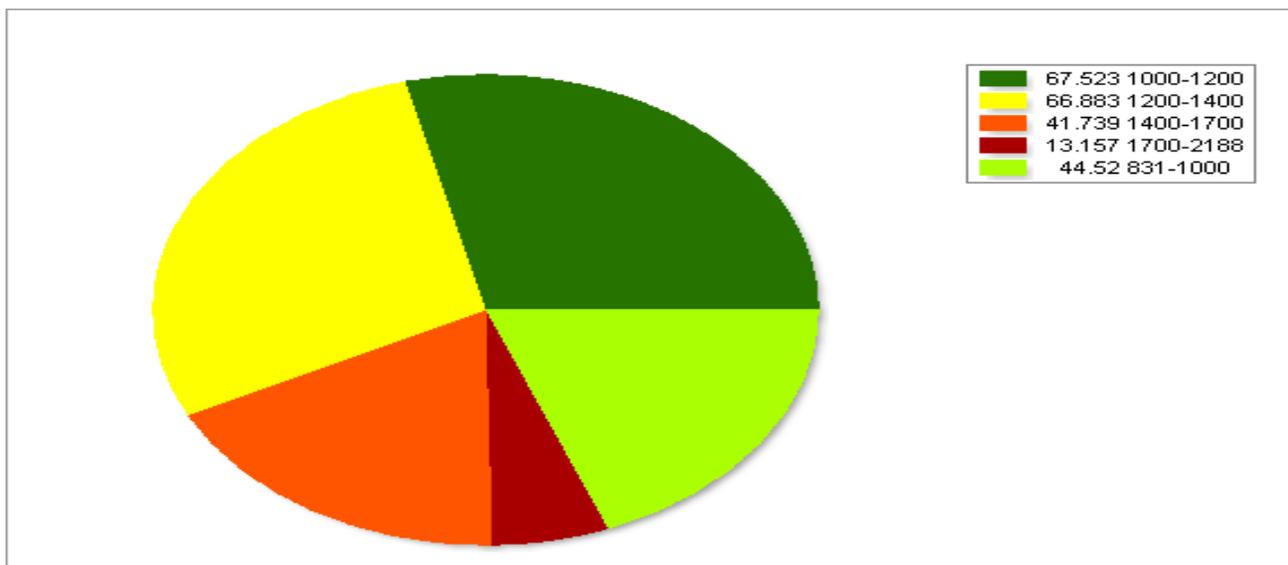


Graphes 12 : Rectangle équivalent avec tranches d'altitudes (m) du bassin versant d'Azaghar

### 2.2.4. Altitudes

L'altitude est une fonction importante de La plupart des facteurs climatiques et hydrologiques, donc il est très important d'étudier l'hypsométrie du bassin versant par tranche d'altitude. Les caractéristiques hypsométriques du bassin versant en amont du futur barrage Azaghar sont présentées dans le graphe ci-après.

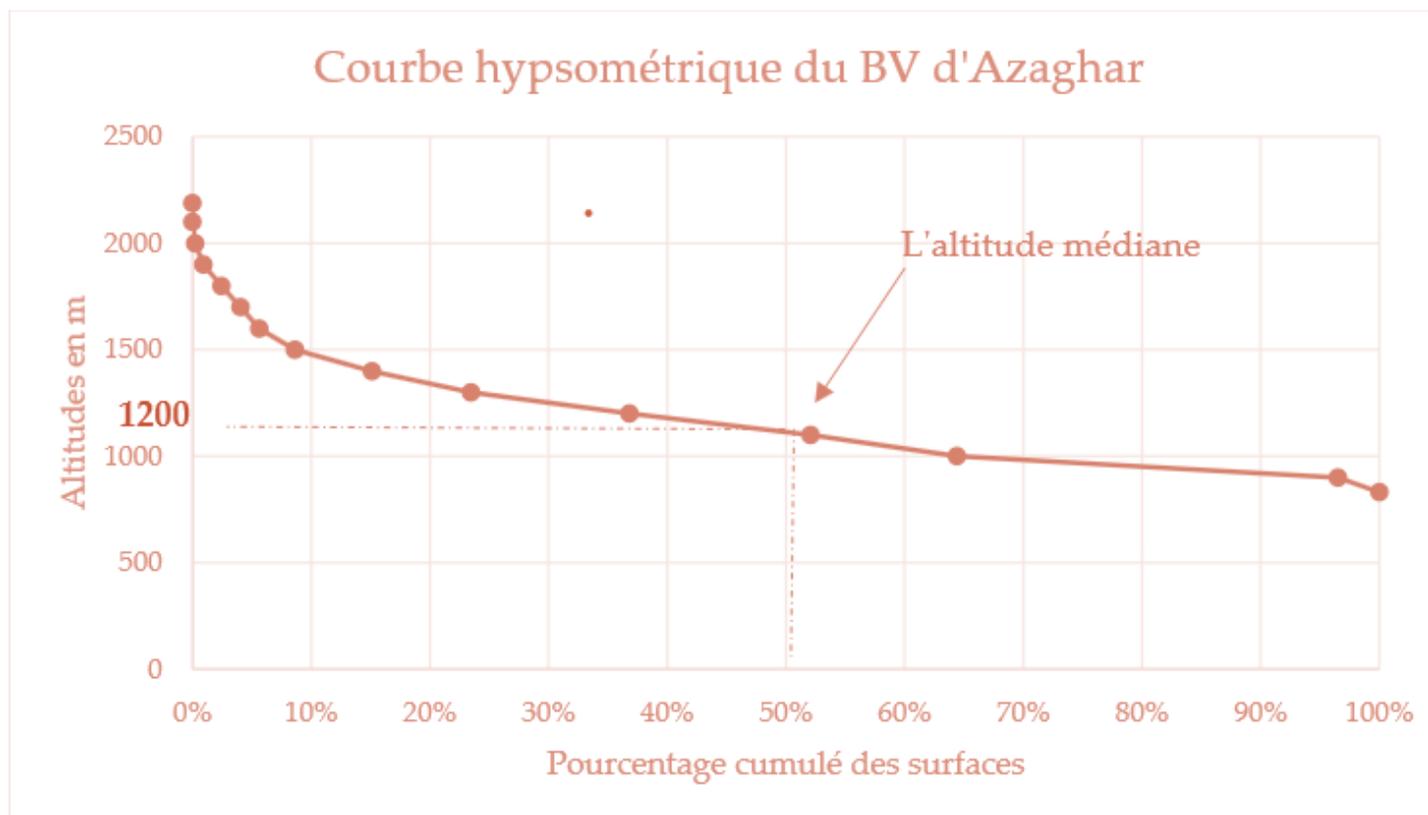
Le graphe représente le pourcentage des superficies en fonction des classes d'altitudes.



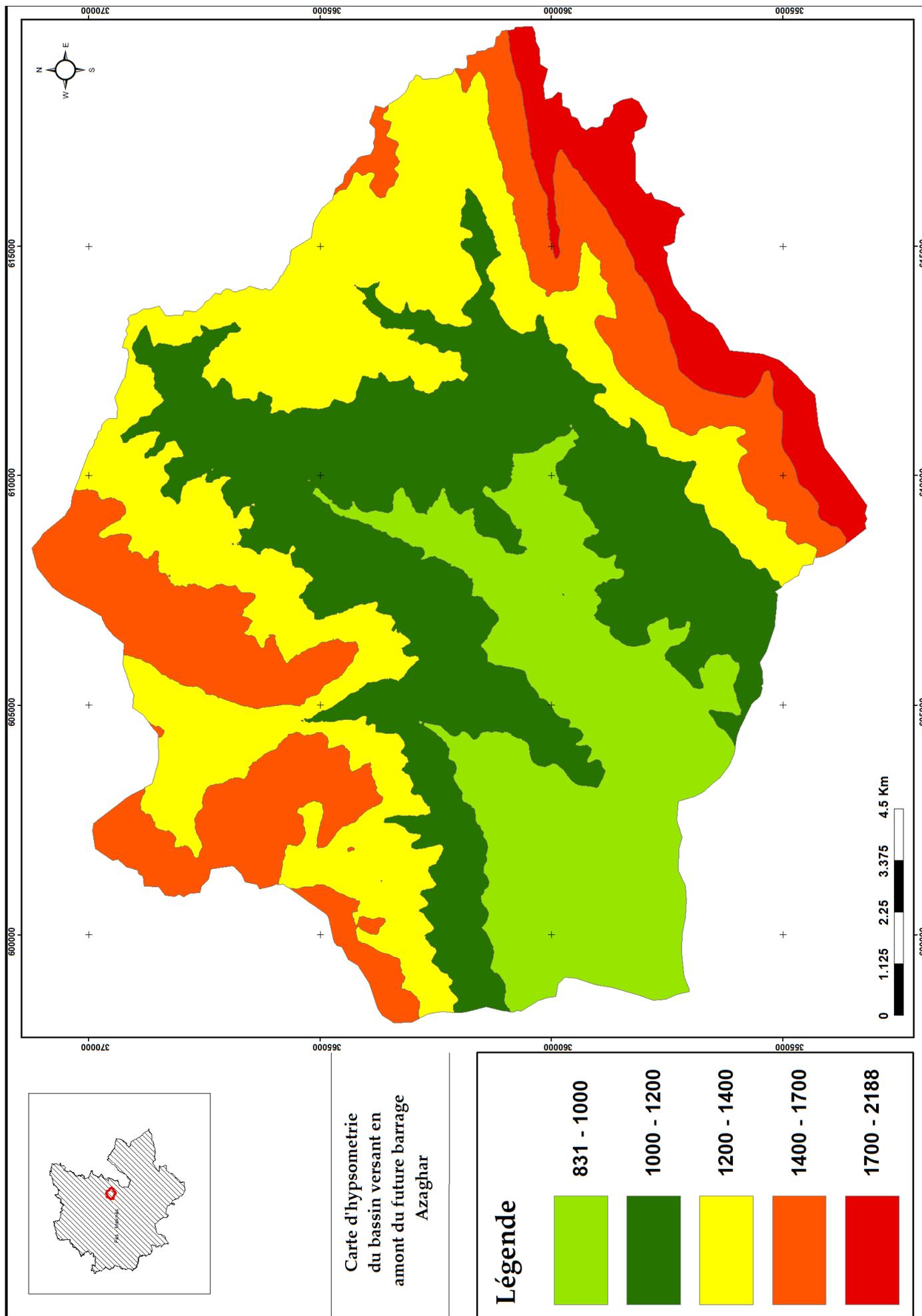
*Grappe 13 : Grappe des surfaces en fonction des classes d'altitudes*

Les deux classes d'altitude les plus fréquentes (1000-1200 et 1200-1400) représentent environ 58% du bassin. La classe des altitudes inférieures à 1000 m représente un pourcentage de 19%, focalisée dans les régions de plaines avoisinantes du futur barrage Azaghar. Les zones montagneuses dont l'altitude atteint 2188 m, se situent au S-E du bassin versant occupent une classe minimum avec un pourcentage de 5,6%. Les surfaces comprises entre les courbes de niveau de la carte hypsométrique sont représentées sous formes de classes colorées, en allant de la classe de haute altitude dont le point le plus haut se tient à 2188 m jusqu'à celle de basse altitude dont le point le plus bas avec une altitude égale à 831 m. La carte hypsométrique présente cinq tranches d'altitudes. Ces tranches, généralement orientées vers le SW (des zones montagneuses vers l'exutoire).

Le relief d'un bassin est souvent caractérisé par la courbe de sa répartition hypsométrique. La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin versant et représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Cette courbe, qui porte en abscisse le pourcentage de surface (surface cumulée) du bassin qui se trouve au-dessus de l'altitude représentée en ordonnée, reflète aussi son état d'équilibre dynamique potentiel.



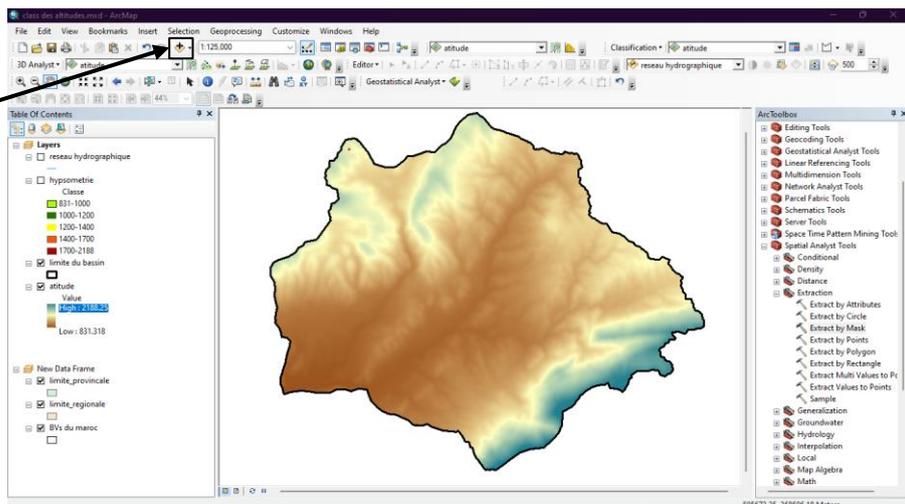
Graph 1 : courbe hypsométrique du bassin versant en amont du future barrage Azaghar



Carte 8 : Carte d'hypsometrie du bassin versant azaghar

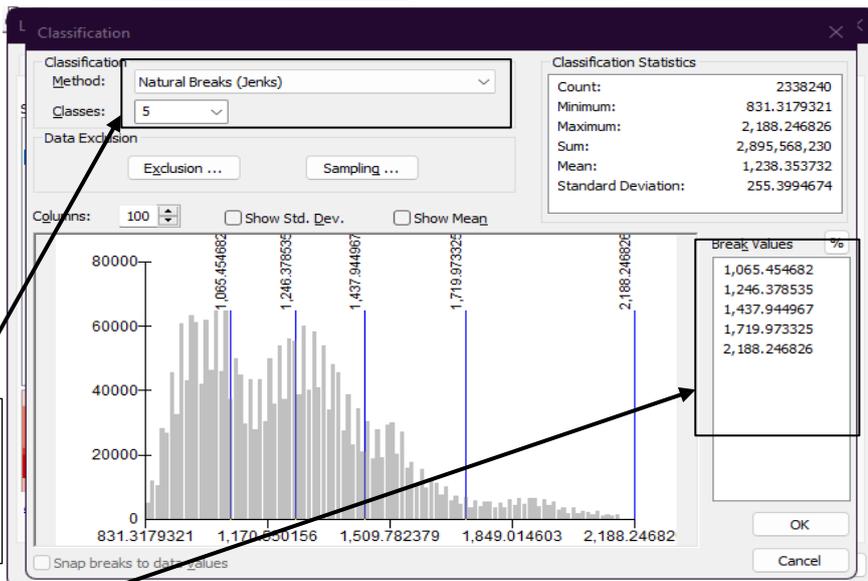
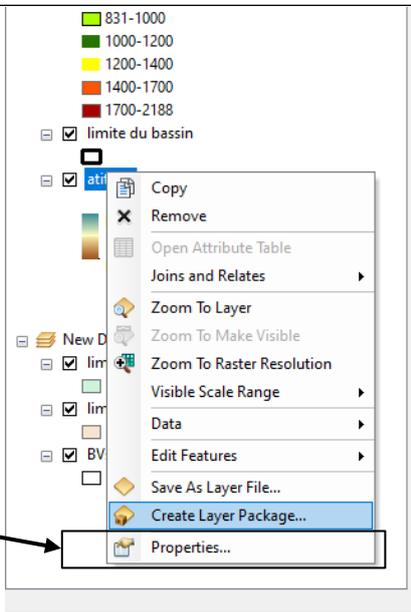
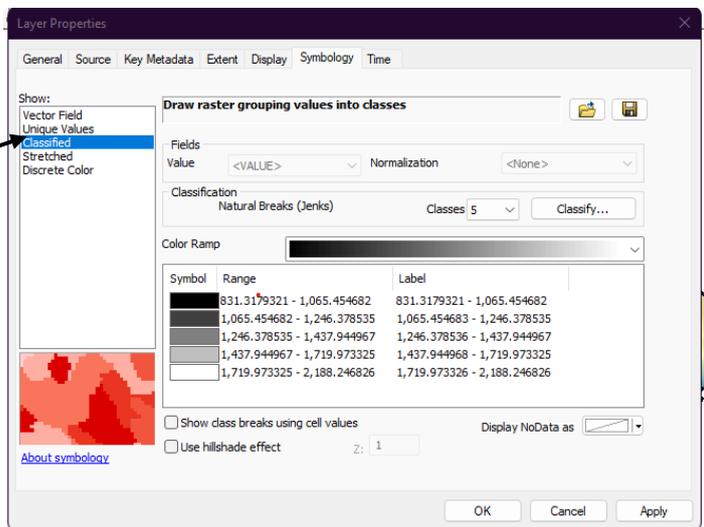
# Méthodologie

1<sup>er</sup> étape : lancer arcgis et ajouter l'MNT du one étudiée.



2<sup>eme</sup> étape : aller aux propriétés du MNT :

symbology pour changer les paramètres de classification du MNT de stretched vers classified pour pouvoir modifier les classes en fonction d'altitudes manuellement



Cert à modifier le nombre des classes et le type de classification on modifiant ces paramètres.

En modifiant les classes vers manuel breaks on peut modifier manuellement les valeurs des classes pour avoir un résultat plus efficace pour notre étude.

### 2.2.5 L'altitude médiane du bassin :

L'altitude médiane (ou altitude de fréquence  $\frac{1}{2}$ ) : Il s'agit de la valeur de l'altitude qui divise l'aire du bassin de façon à ce que 50% de la superficie du bassin se caractérise par des côtes supérieures et l'autre moitié par des côtes inférieures. Sur une courbe hypsométrique, l'altitude médiane est donnée par la valeur de la côte correspondant à une fréquence de 50%.

L'altitude la plus fréquente : Elle correspond au maximum de la surface. On parlera alors de classe modale ou classe d'altitude la plus répandue sur le bassin. Pour le bassin versant en amont du futur barrage d'Azaghar, l'altitude la classe d'altitude la plus fréquente est 1100-1200.

La dénivelée : est estimée, à partir de la courbe hypsométrique, par la différence des altitudes correspondant à 5 et 95% de la superficie totale du bassin étudié, altitudes dénotées, respectivement, par Z (5%) et Z (95%).

Altitude maximale	Altitude médiane (Z 50%)	Altitude minimale	Z (5%)	Z(95%)	Dénivelée
2188	1200	831	1800	1100	1357

*Tableau 8 : les altitudes du bassin versant en amont du future barrage Azaghar.*

### **CONCLUSION.**

Les analyses des données hypsométriques ont une grande importance dans ce parcours, les résultats obtenus ont nous a donné une idée générale sur la forme du bassin versant (forme légèrement allongée).

Notre bassin versant a des altitudes maximales situant dans les extrémités SE et NW qui favorisent le ruissellement des eaux grâce à la différence importante des altitudes. (L'altitude minimum se situe à l'exutoire et l'altitude maximum se trouve vers la partie extrême SSE du bassin.)

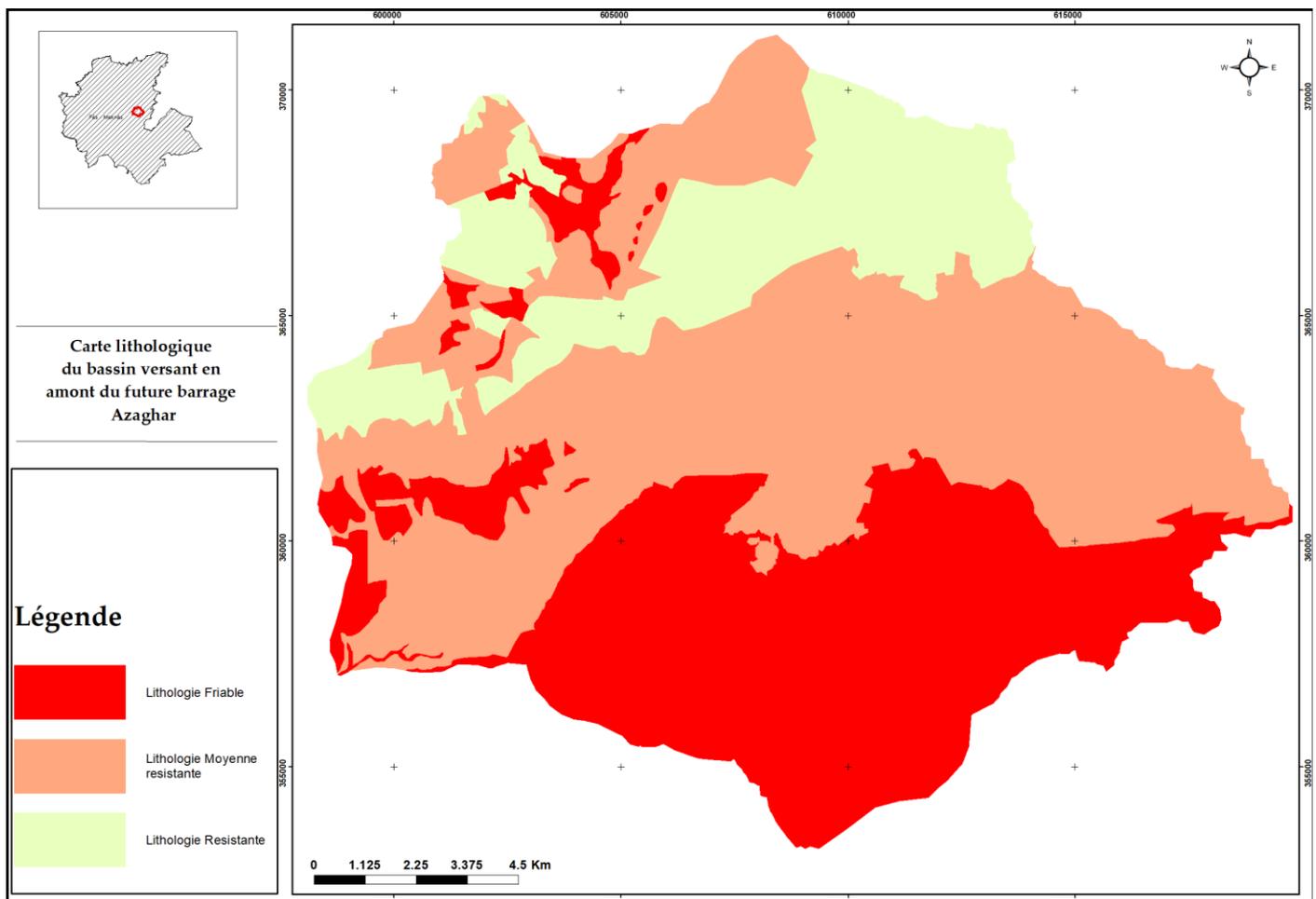
## 2.3. Facteur Lithologique, géologique et géomorphologique

### 2.3.1. Lithologie

L'ampleur des phénomènes d'érosion dépend de la résistance ou de la friabilité du substrat. Ainsi, les roches compactes non altérées, conglomérats fortement cimentés, croûte, affleurements de grès ferrugineux (calcaires massifs, sols fortement rocheux, roches ignées ou éruptives, 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. Les roches peu résistantes ou fortement/profondément altérés (marne, gypse, ardoise argileuse, etc.), sédiment meuble, non cohésif et matériel détritique, sont les plus sensibles à l'érosion du sol.

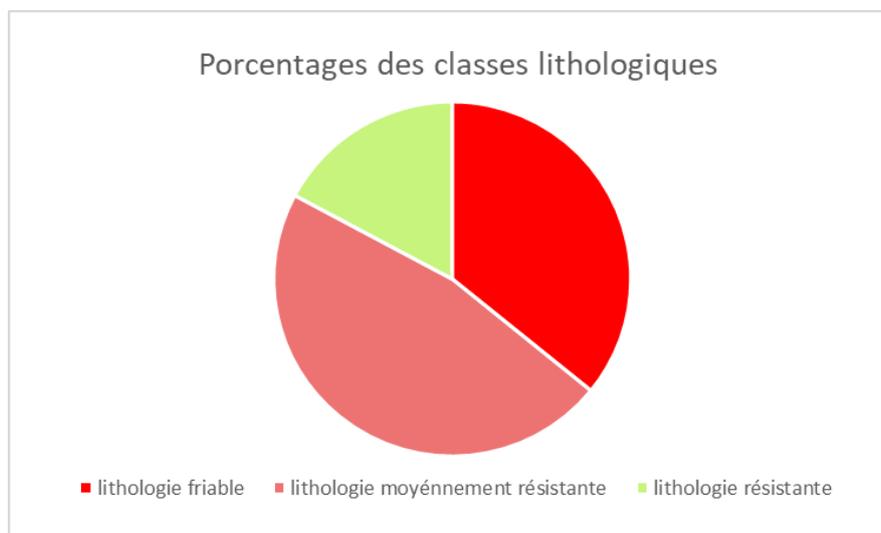
Dans cette carte on a classé les sediments en 3 classes :

- 1- Lithologie résistante : Sont les Calcaires oolitiques et calcaires micritiques et Conglomérats et grès grossiers.
- 2- Lithologie de résistante moyenne : sont les alternances calcaires argileux et marnes, l'alternance calcaires dolomitiques et marnes, les basaltes doléritiques, les marnes et calcaires minces et les schistes et grès.
- 3- Lithologie friable : l'alternance marnes et calcaires riches en céphalopodes, les argiles de décalcification: argiles rouges et rosées, les argiles silteuses et gypses, les cônes de déjections: blocs, galets et lutites, des dépôts alluviaux: graviers, galets, blocs, argiles et sables, les eboulis récents: galets et graviers dans une matrice argilo-sableuse, les galets et graviers dans une matrice argilo-sableuse, les glissements: blocs, galets et sédiments fins et les marnes et calcaires argileux.



Carte 9 : classification de lithologie du bassin versant en amont du futur barrage Azaghar.

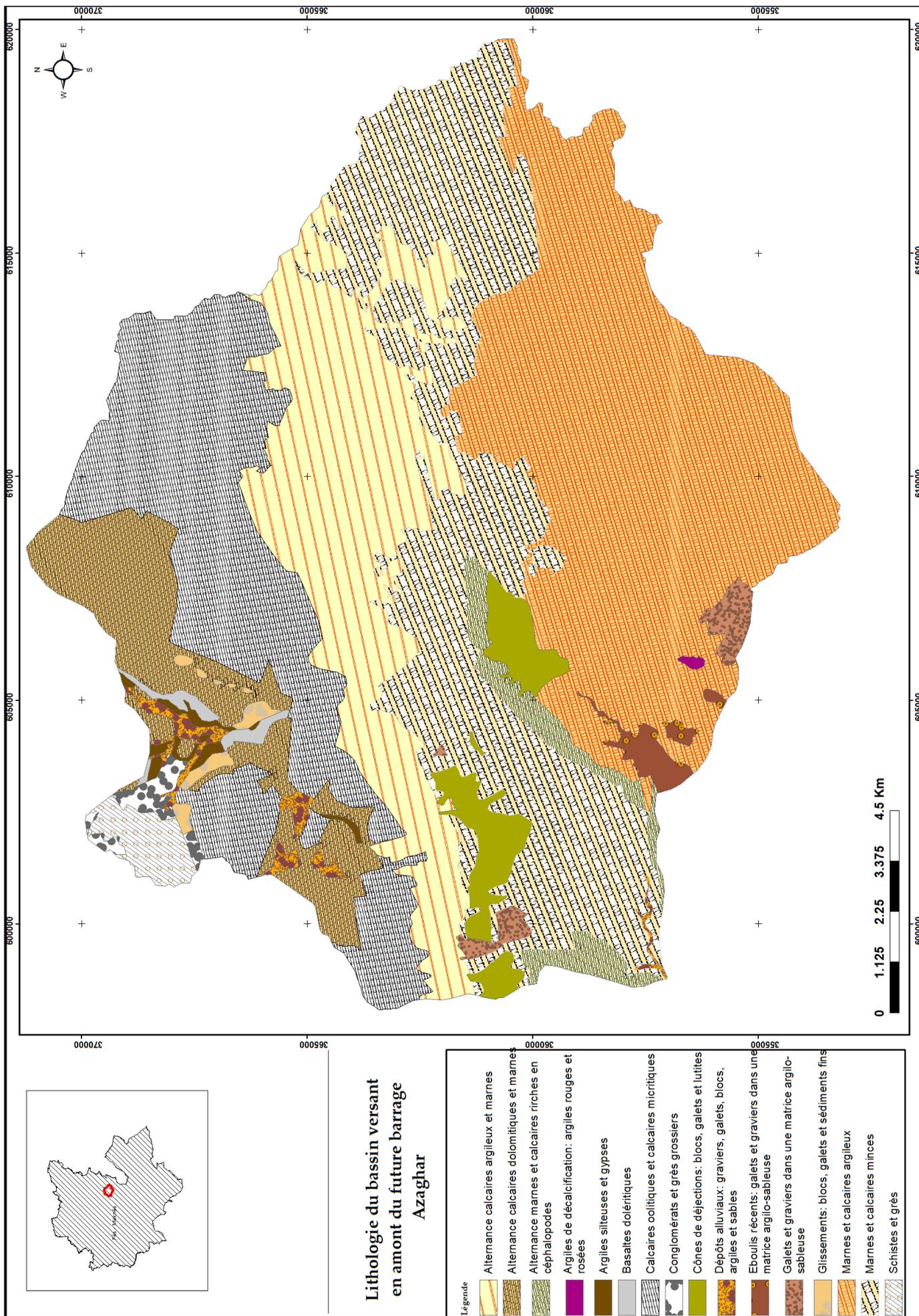
Depuis cette carte on remarque que Les roches peu résistantes ou fortement/profondément altérés sont généralement dans la zone Sud du bassin dans les zones d'hautes altitudes sur une surface de 83.69km<sup>2</sup>, ainsi Les roches ou sols cohésifs fracturés sont les dominants d'une surface de 109.90km<sup>2</sup> dans la partie N à NW et au milieu du bassin dans des zones à basse altitudes, on trouve aussi des Roches compactes non altérées sur une surface faible de 40.21km<sup>2</sup> vers la partie NE au NE du bassin. Le graphe suivant représente les pourcentages des surfaces des classes dans le bassin versant.



Graphique 15 : pourcentages des surfaces des classes lithologiques du bassin versant.

Le bassin versant en amont du futur barrage Azaghar est en grande majorité recouvert par des formations carbonatées. La lithologie est présentée ci-dessous en respectant l'ordre classique (du plus ancien au plus récent) :

- Schistes et grès, conglomérats et grès grossiers : sont les formations les plus anciennes et elles sont localisées dans la partie NW du bassin versant. Elles occupent respectivement 1,12% et 0,63 % de la surface globale du bassin versant.
- Glissement des galets et sédiments fins : n'occupent que 0,45 % de la superficie totale, et se localise dans la partie NW du bassin versant.
- Calcaires dolomitiques avec marnes, calcaires riches en céphalopodes et marnes, calcaires oolitiques et calcaires micritiques : ces formations occupent une partie importante du bassin versant. Au total, elles composent 26 % de la surface globale du bassin versant.
- Basaltes détritiques : bruns à verdâtres très altérés en surface, observée dans le NW du bassin et témoignant d'importants épanchements de laves basiques. Cette formation n'occupe que 0.42% de la superficie.
- Dépôts alluviaux : composé généralement des graviers, galets, blocs, argiles et sables. Ces formations sont très friables et poreuses témoignant du milieu lacustre.
- Marnes et calcaires argileux : ces formations se présentent au SE du bassin versant, ou en alternance dans sa partie centrale. Ils occupent la plus grande partie avec une superficie de 102 Km<sup>2</sup>, soit un pourcentage global de 43,62%.
- Formations argileuses (argiles de décalcification, matrice argilo-sableuse contenant des galets et graviers) : sont des formations récentes qui témoignent une sédimentation fine évoluée vers une sédimentation détritique plus grossière (sables et graviers) liée à des apports fluviaux. Elles présentent 1,69% de la surface du bassin versant d'Azaghar.



Carte 10 : lithologie du bassin versant en amont du future barrage Azaghar. (Data source DREFLCD-FB)

### 2.3.2. Géologie

Le bassin versant qui fait l'objet de cette étude fait partie du Moyen-Atlas qui constitue l'une Des quatre chaînes montagneuses du Maroc (avec le Rif, le Haut-Atlas et l'Anti-Atlas). Au sein du domaine atlasique marocain, le Moyen-Atlas correspond à un important bassin jurassique qui s'est individualisé dès le Lias à la frontière des mesetas marocaine et oranaise dans le contexte de la Pangée au commencement de l'ouverture de l'Atlantique central, dans la partie nord de la plaque Africaine (Fedan et al. 1989). Les ères géologiques dominants au niveau du bassin versant en amont du futur barrage Azaghar sont classés du plus anciens au plus récents.

- Paléozoïque non subdivisé

Le socle paléozoïque affleure dans la partie NW du bassin versant. Les dépôts les plus anciens sont datés de l'Ordovicien inférieur (par l'étude d'associations palynologiques, Charrière, 1990). La lithologie du paléozoïque est globalement composée de grès, calcaires, quartzites et schistes déformés (Karrat, 1992). Les dépôts sus-jacents au socle sont d'âges liasiques.

- Le Lias

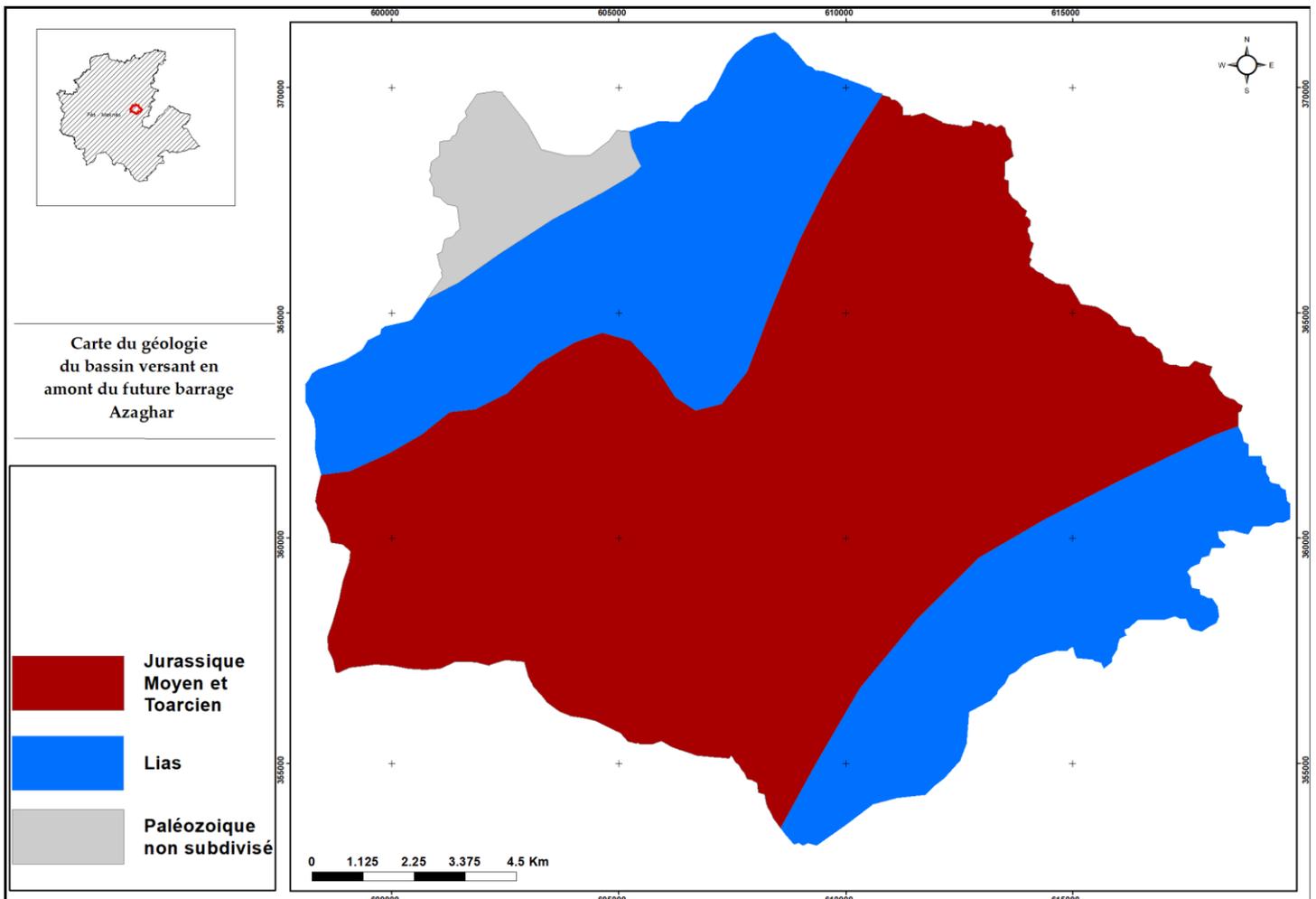
Les formations du Lias inférieur et moyen constituent l'essentiel des affleurements du bassin versant en amont du barrage Azaghar, particulièrement aux parties SE et NO centrales. Elles se manifestent en dolomies, calcaires dolomitiques et calcaires (Martin, 1981). Le Lias inférieur repose en concordance probable sur le socle paléozoïque (Colo, 1961). Il présente des formations de dolomies, de stratification parfois difficilement visible et peu fossilifères, avec des faciès très différenciés (dolomies bréchoïdes, massives, litées...). Le Lias moyen est à dominante calcaire et calcaire-dolomitique, on y retrouve cependant des dolomies. Ces formations occupent une surface moins importante que celles du jurassique moyen. Leur répartition suit les différentes ondulations structurales. Jurassique moyen et Toarcien Le Jurassique moyen débute par des calcaires minces, des marnes ou schistes du Toarcien surmontés par des calcaires Aalénien de 10 à 30 m d'épaisseur. Les formations du jurassiquemoyen et toarcien occupent une surface importante, soit 62,51% du bassin versant d'Azaghar. Elles sont recouvertes par des cônes de déjection (blocs, galets et lutites). La série correspond à des alternances de couches marneuses et bancs calcaires coiffés par des couches de marnes rouges et vertes et de calcaires noirs (Martin, 1981).

- Jurassique moyen et Toarcien

Le Jurassique moyen débute par des calcaires minces, des marnes ou schistes du Toarcien surmontés par des calcaires Aalénien de 10 à 30 m d'épaisseur. Les formations du jurassique moyen et toarcien occupent une surface importante, soit 62,51% du bassin versant d'Azaghar. Elles sont recouvertes par des cônes de déjection (blocs, galets et lutites). La série correspond à des alternances de couches marneuses et bancs calcaires coiffés par des couches de marnes rouges et vertes et de calcaires noirs (Martin, 1981)

<i>Ère géologique</i>	<i>Surface en ha</i>	<i>Pourcentage</i>
<i>Jurassique Moyen et Toarcien</i>	<b>14470</b>	<b>61,9%</b>
<i>Paléozoïque non subdivisé</i>	<b>956</b>	<b>4,1%</b>
<i>Lias</i>	<b>7956</b>	<b>34,03%</b>

*Tableau 9 : Répartition des ères géologique du bassin versant Azaghar.*



Carte 11 : géologie du bassin versant en amont du future barrage azaghar (data source DREFLCD-FB)

## 2.4. Facteurs topographiques

### 2.4.1. Pente

La pente joue un rôle important dans les processus érosifs. Elle conditionne le drainage (Abbassi, 2004). En effet, elle affecte d'une façon directe par son intensité les phénomènes d'infiltration, de ruissellement et d'érosion. La pente intervient dans les phénomènes d'érosion du fait de sa forme, de son inclinaison et de sa longueur.

**La pente moyenne** est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle est considérée comme une variable indépendante. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct donc sur le temps de concentration  $t_c$  et influence directement le débit de pointe lors d'une averse.

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

$$im = \frac{D \times L}{A}$$

Où :

$im$  : pente moyenne[m/m],

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

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

A : surface du bassin versant [m<sup>2</sup>].

Pour le bassin versant d'Azaghar la pente moyenne est égale à 0.09357 m/m.

**Indice de pente global  $I_g$  (m/km)** présente l'avantage d'être très simple et facile à calculer. Il est exprimé en m/km, par le rapport de la dénivelée (D, en m) estimée à partir de la courbe hypsométrique et la longueur du rectangle équivalent en km (Leq). L'indice de pente globale du bassin versant en amont du futur barrage Azaghar a pour valeur 2,43%.

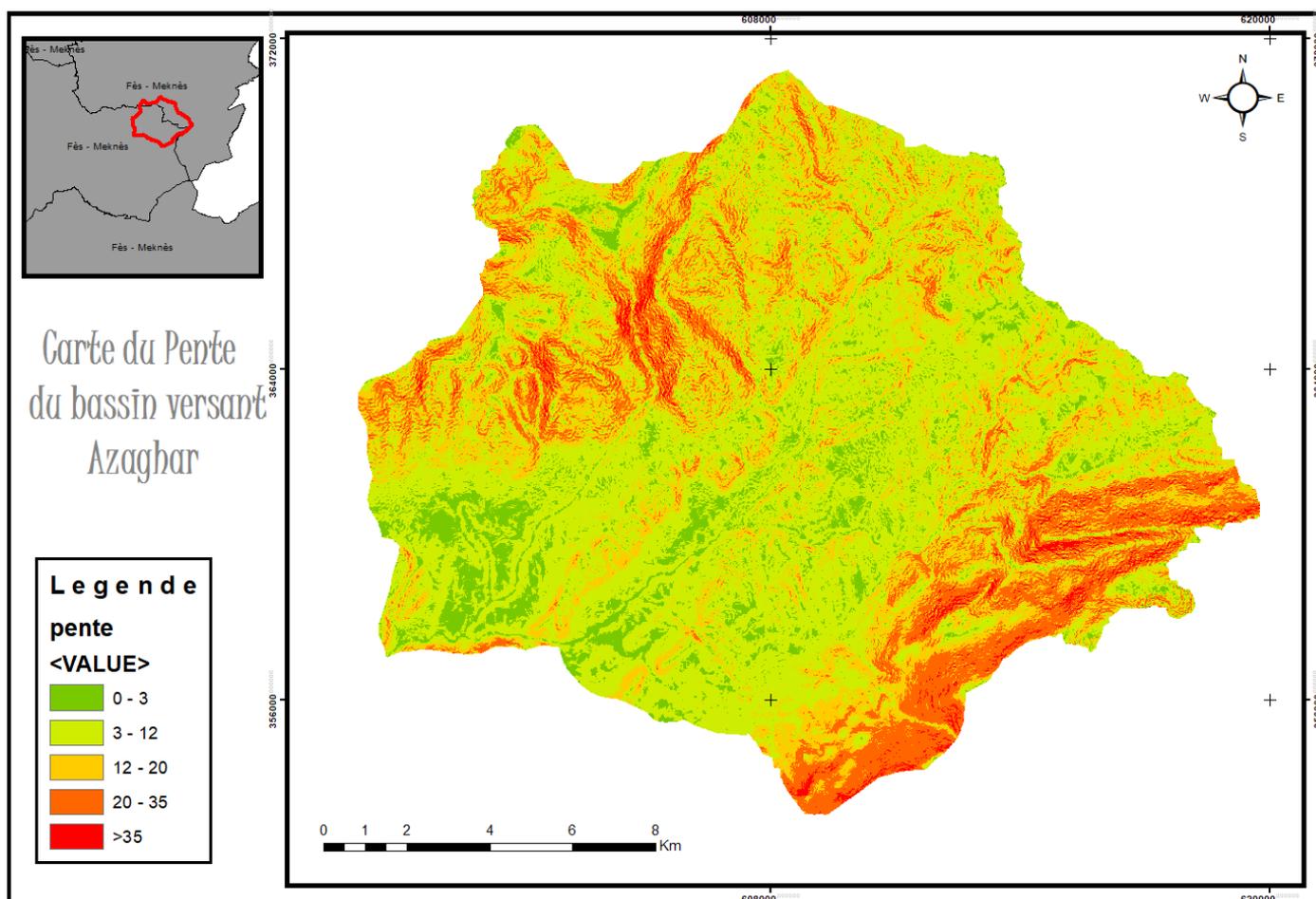
**Dénivelée spécifique (Densité)  $D_s$**  permet d'utiliser la classification de L.O.R.S.T.O.M qui permet de définir les différents types de relief du bassin versant quel que soit la superficie Il s'exprime par la formule suivante :

$$DS = I_g \times \sqrt{s}$$

Avec :  $I_g$  : indice de pente global

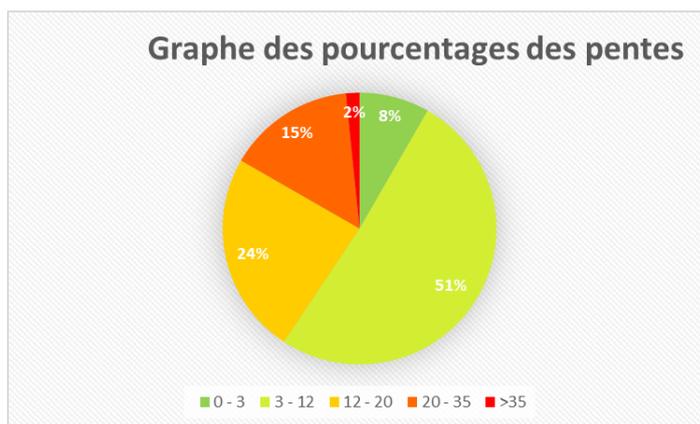
S : la surface du B.V

Le bassin versant d'Azaghar possède une dénivelée spécifique de valeur 371,46 m. D'après la classification des reliefs par l'ORSTOM, indiquée ci-après, le bassin versant en amont du futur barrage Azaghar a un relief Fort.



Carte 12 : Carte de la pente au niveau du bassin versant Azaghar.

La carte de pente permet de mettre en évidence cinq (05) grandes catégories de pentes au niveau du bassin versant d'Azaghar :



Graphie 16 : pourcentages du surfaces des classes de pente au bassin versant.

La classe de pentes inférieures à 3% occupe le pourcentage minimal de la région (2.3%). Ces zones correspondent essentiellement aux zones de plaines ;

La classe de pentes allant de 3 à 12 % représente environ 8% de la superficie totale de la région ;

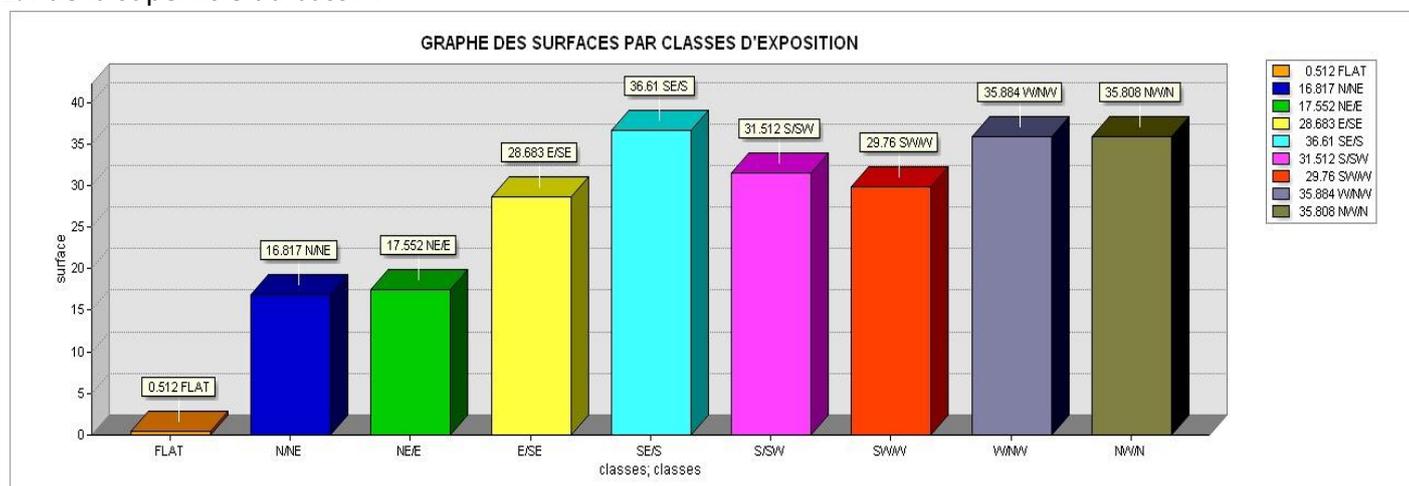
La classe de pentes allant de 12 à 20 % représente 51% de la zone d'étude ;

La classe de pentes allant de 20 à 35 %, couvre environ 15 % de la zone d'étude ;

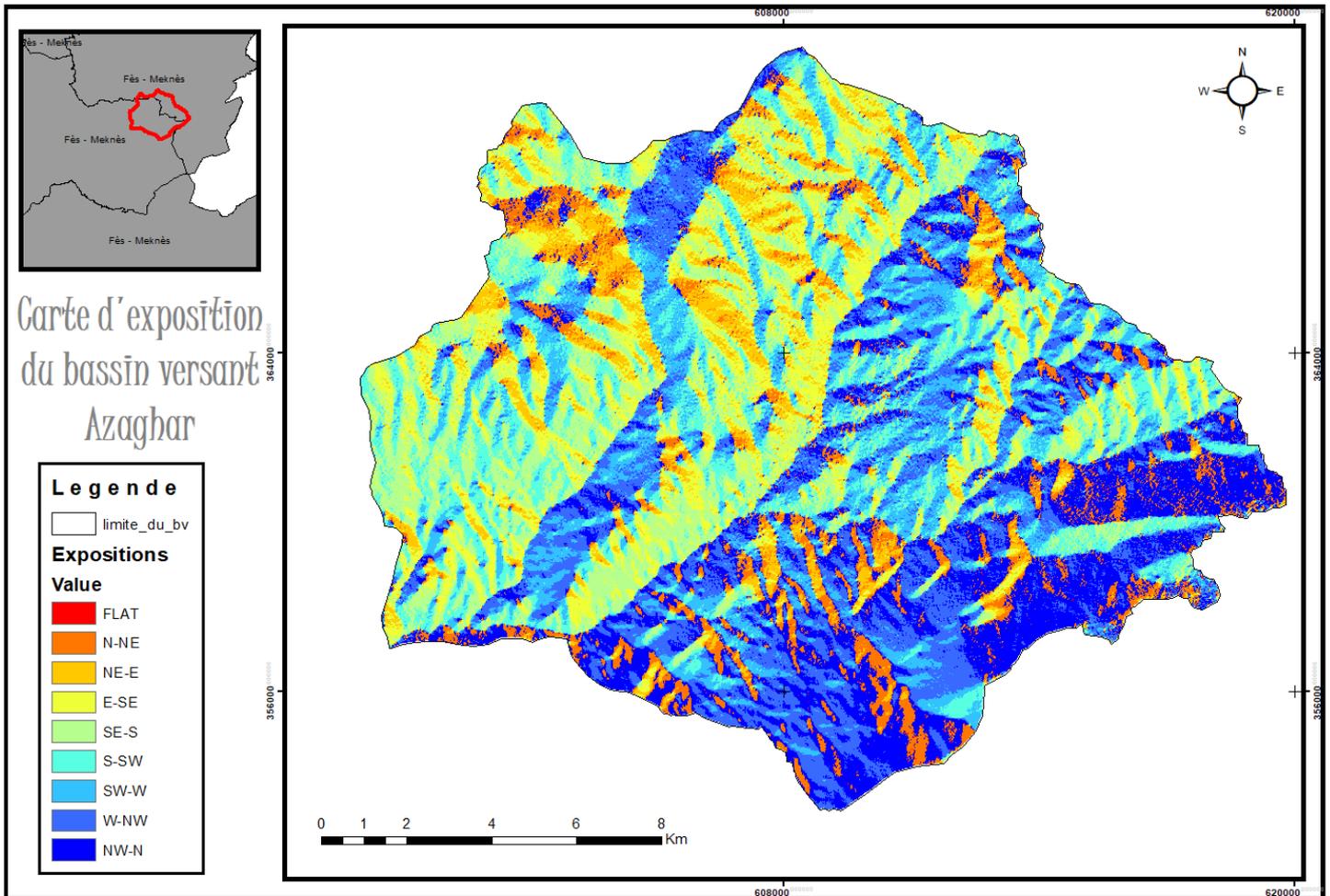
La classe de pentes supérieure à 35 %, couvre 2 % de la zone d'étude.

#### 2.4.2. Expositions.

L'exposition du terrain peut s'exprimer par la direction du gradient dans le plan. Il s'agit de la direction de la ligne descendante perpendiculaire aux courbes de niveau. En d'autres termes, c'est l'angle formé par la direction de la ligne de plus grande pente et celle du nord géographique (Certu, 2000). Elle est exprimée sous la forme d'un azimut, en degrés codés avec 0 au nord et dans le sens horaire : ainsi un angle azimutal de 0° correspond au nord, 90° à l'est et ainsi de suite, 180° au sud et 270° à l'ouest pour enfin en arriver à 360° qui est à nouveau le nord. Les expositions des versants donnent une idée sur les formes de manifestation du relief et influencent considérablement la répartition des formations végétales. La carte et le graph ci-après présentent les classes d'exposition pour le bassin versant en amont du futur barrage Azaghar. Les expositions favorables à la végétation (N – W - NW) représentent le grand pourcentage de la superficie du bassin, alors que celles défavorables (S – E – SE), représentent un pourcentage moyen. Les expositions intermédiaires représentent un pourcentage faible alors les zones plates représentent moins de 1% de la superficie du bassin.



Graphie 17 : surfaces des classes d'exposition au bassin versant en amont du future barrage Azaghar



carte13 : exposition du bassin versant en amont du future barrage Azaghar.

## Conclusion :

D'après les études lithologiques on a généralement constaté que la lithologie moyennement résistante ou friable constitue la plus grande partie du bassin versant (marnes et calcaires minces des alternances des marnes et calcaires riches en céphalopodes et des dépôts alluviaux etc...).

La carte des pentes nous a permis de constater que le bassin représente des pentes fortes dans les zones à haut altitudes qui favorisent le ruissellement des eaux vers l'exutoire, les pentes sont moyennes au milieu du bassin avec es valeurs entre 3 et 12, alors C'est possible d'avoir une érosion hydrique au niveau des zones à hautes altitudes.

L'analyse de la carte des expositions a une autre valeur ajoutée dans la classification des zones favorables pour la végétation et les zones non favorables. Les expositions favorables à la végétation (N – W – NW) représentent le grand pourcentage de la superficie du bassin le contrôle de végétations au niveau des bassins versant est une étape nécessaire dans l'aménagement du bassin versant,

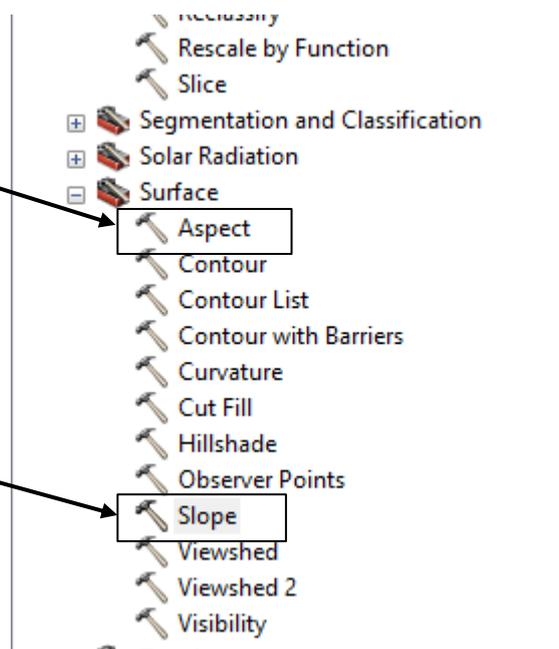
## Méthodologie :

L'aspect identifie la direction de la pente descendante du taux maximal de changement de valeur de chaque pixel à ses voisins. L'aspect peut être considéré comme la direction de la pente. Les valeurs du raster en sortie seront la direction de la boussole de l'aspect, représentée par une teinte (couleur). (Source : ArcGIS desktop/ArcMap/manage data/aspect slope function)

La pente représente le taux de changement d'élévation pour chaque pixel du modèle numérique d'élévation (DEM). La pente représente la pente de la surface et est symbolisée en trois classes qui sont affichées à l'aide de la saturation des couleurs (luminosité).(source : ArcGIS desktop/ArcMap/manage data/aspect slope fonction)

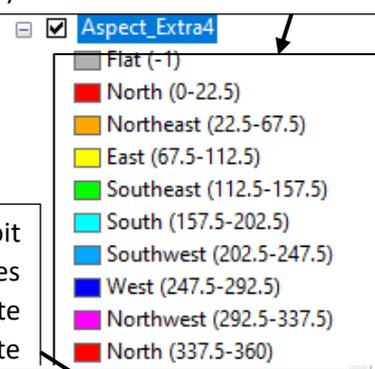
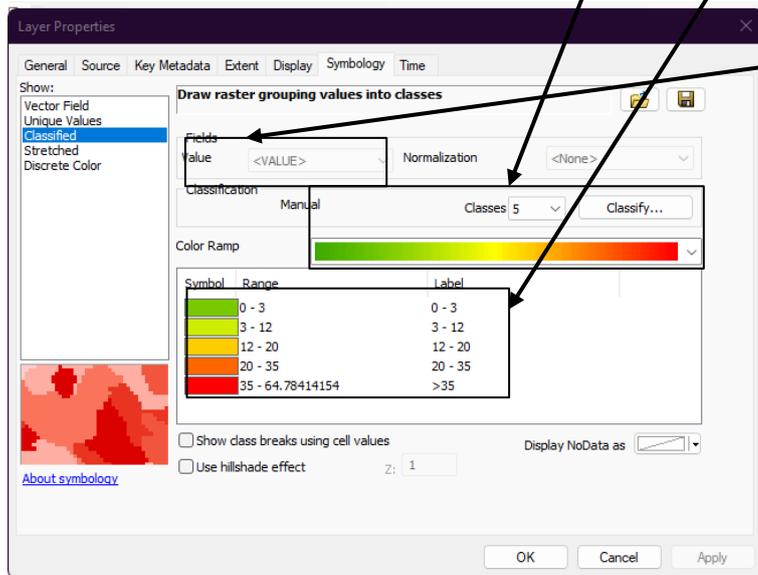
Label : la légende de la carte on peut la modifier pour donner à chaque classe son symbole qu'on veut voir dans notre carte.

La modification du nombre des classes des pentes et de couleur ramp depuis paramètres/symbologie/classified.



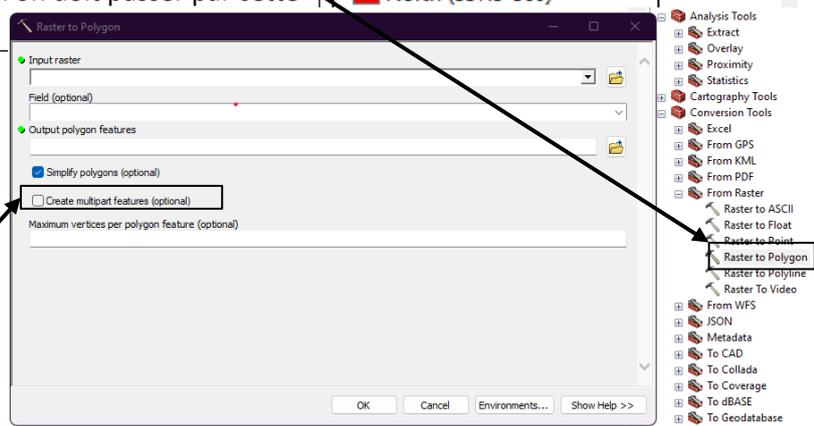
Pour donner le choix de la valeur avec laquelle on veut classifier notre carte par exemple si on a une table des routes classifiées par types et par zones on peut modifier la valeur pour avoir une carte des types de routes ou une carte des routes classifiée par zones géographiques.

Le résultat obtenu d'outil aspect est sous cette forme. On peut modifier le nombre et la symbologie des classes pour avoir une vision plus lisse de la carte (exemple N,E,S,W 4 par modification du nbr des classes en 4 et des intervalles des classes en 0,90,180,270).



Après reclasser les cartes d'aspect et de la pente par l'outil reclassify en doit les convertir depuis raster vers polygone pour pouvoir modifier les tables attributaire et extraire les surfaces des classes pour but d'analyse. (La carte reclassée ne peut pas être modifié c'pour cette raison on doit passer par cette étape)

Par cocher cette case on donne à l'outil la permission donner à chaque classe un seul polygone pour avoir une table attributaire contenant le même nombre de polygones que les classes de la carte.



## 2.5. Occupation actuelle du sol.

### 2.5.1. Occupation du sol.

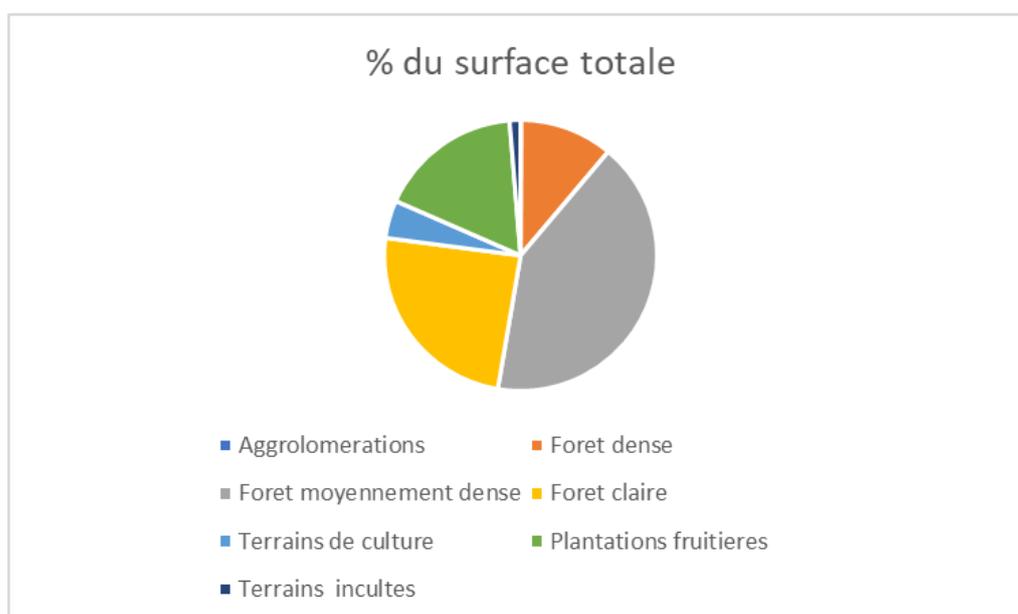
La cartographie des occupations actuelles des sols a été réalisée en se basant sur les traitements des images satellitaires prises du satellite LANDSAT et traitées en ArcGIS par traitement d'images et classification supervisée.

Après le prétraitement d'image satellitaire on a entamé la partie de la classification en a classé les sols au niveau du bassin en 6 classes et c'est le maximum du détail qu'on a pu tirer.

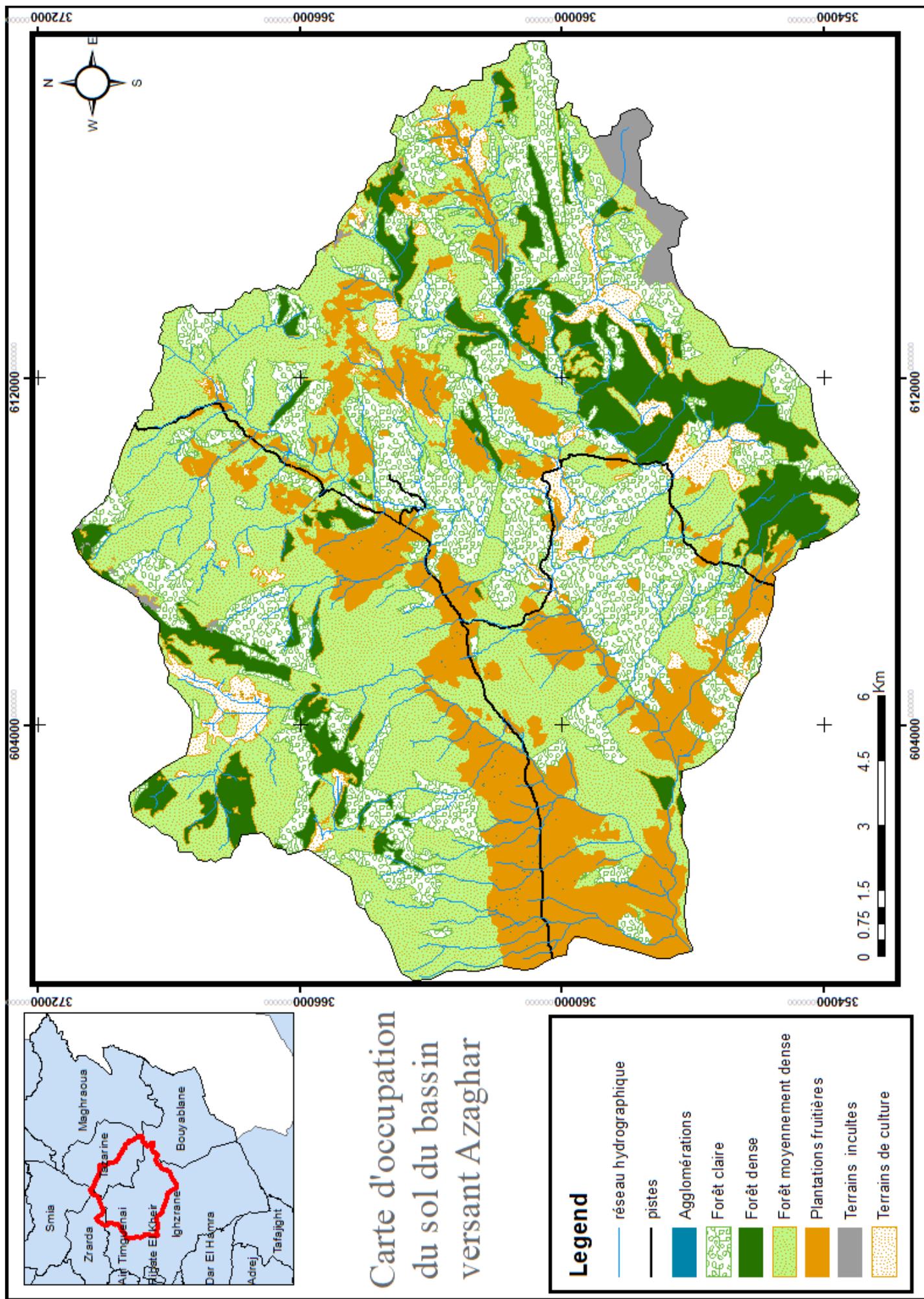
Les résultats obtenus de cet analyse sont dans le tableau suivant.

Nom	Surfaces en ha	surface en km	% du surface totale en km
Aggrolomerations	20.06303296	0.20063	0.096425287
Foret dense	2577.642413	25.7763996	12.38845146
Foret moyennement dense	9721.592097	97.2158966	46.7231107
Foret claire	5704.391828	57.0438995	27.41597551
Terrains de culture	1053.865467	10.5387001	5.065000914
Plantations fruitieres	4002.598692	40.026001	19.2369583
Terrains incultes	304.3057922	3.0430601	1.462529293

Tableau 10 : Table des surfaces par classes du sol.



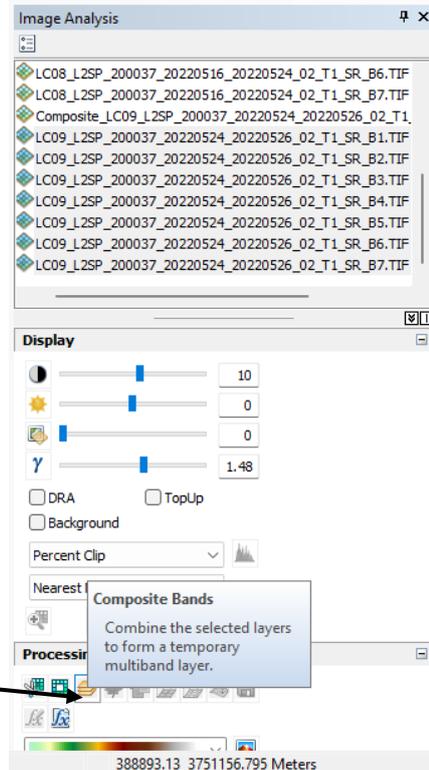
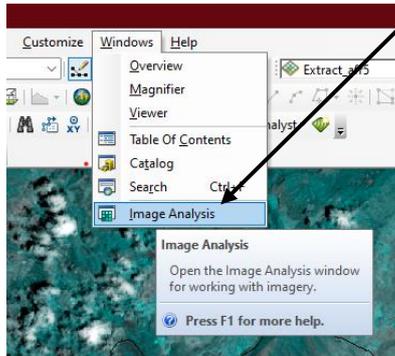
Graphe 18 : repartition des classes dans le bassin versant Azaghar.



Carte 14 : Occupation du sol du bassin versant en amont du future barrage Azaghar

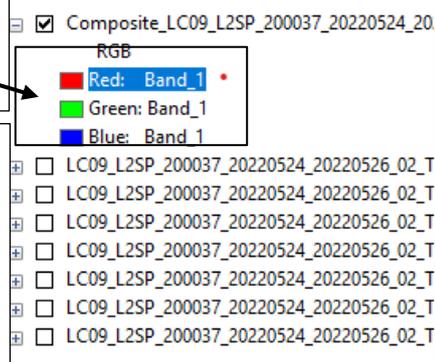
methodologies:

**Image analysis** simplifie l'expérience d'application de techniques de traitement et d'analyse complexes aux couches d'images et de données raster dans ArcMap. Les outils fournissent des options en un clic pour appliquer des processus, tels que le découpage, la création d'un indice de végétation par différence normalisée (NDVI), le mosaïquage et l'exportation. Les outils réagissent aux couches sélectionnées dans la fenêtre et ne sont activés que lorsque les entrées appropriées pour les processus sont sélectionnées. Plusieurs couches peuvent être choisies et l'utilisation de l'outil applique le traitement ou l'analyse à chaque couche en créant des couches temporaires dans la table des matières.

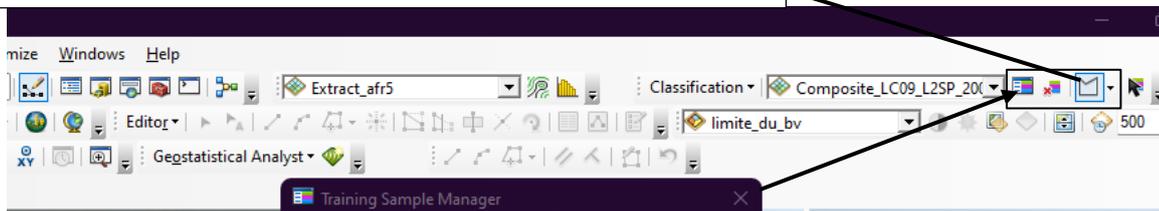


L'**outil composite** nous permet de combiner des couches raster pour créer une seule couche raster. Cela nous permet de regrouper facilement des ensembles de données raster afin de pouvoir créer diverses combinaisons de bandes RVB à partir des bandes. Dans notre cas on a combiné les bandes Landsat de 1 à 6 pour obtenir une image RGB

L'image RGB obtenu du composite possède 3 couleurs en donne à chaque couleur la bande précise dépend du type de traitement qu'on va faire, dans notre cas (red - bande 3/green - bande 2/blue - bande 1) on change les bandes pour avoir différents résultats facilitant l'étape de classification supervisée.



La classification supervisée se fait d'une manière manuelle par ces outils on peut dessiner des polygones pour indiquer les pixels avec la même couleur signifiant chaque classe, les classes dessinées dans la carte apparaissent dans le tableau indiqué. Ce dernier est le mécanisme de gestion des échantillons d'apprentissage. Il nous permet de modifier le nom et la valeur de classe, de combiner et de fractionner des classes, de supprimer des classes, de modifier la couleur d'affichage, de charger et d'enregistrer des échantillons d'apprentissage, d'évaluer les échantillons d'apprentissage et de créer un fichier de signature.



**Enregistrer** : Enregistrer le jeu d'échantillons d'apprentissage dans une classe d'entités.

**Combiner** : Combiner les échantillons d'apprentissage sélectionnés dans un seul échantillon d'apprentissage multi-parties.

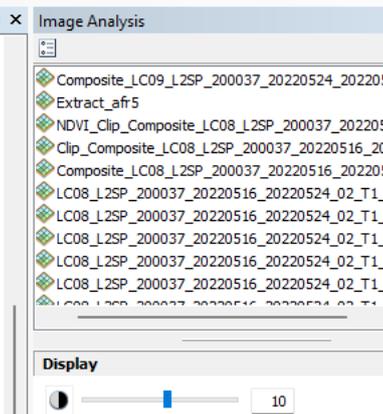
**Fractionner** : Fractionner un échantillon d'apprentissage multi-parties dans ses entités individuelles. Chaque échantillon d'apprentissage sera maintenant son propre polygone.

**Supprimer** : Supprimer les échantillons d'apprentissage sélectionnés.

**Haut** : Déplacer l'échantillon d'apprentissage sélectionné d'une ligne vers le haut.

**Bas** : Déplacer l'échantillon d'apprentissage sélectionné d'une ligne vers le bas.

ID	Class Name	Value	Color	Count
1	Class 1	1		3692



**Les Agglomérations :**

Constituent un pourcentage de 0.09% du bassin versant et s'étend sur une superficie de 20.06 Ha dans tout le bassin versant ils se condensent dans les zones des plantations fruitières du SW au NE et dans les terrains de cultures qui se situent en SSE et NNW et se repartient de façon séparée dans des zones des pentes faibles.

**Forêt dense :**

Constitue 12.38% du bassin versant sur une superficie de 2577.64 Ha vers le NW et le SE les zones des forêts denses sont situées dans la classe d'altitudes 1000 à 1700m, il est à signaler la présence de la forêt dense d'une faible superficie vers le SW et le NE occupant les zones de faible altitudes.

**Forêt moyennement dense :**

Elle constitue la plus grande partie du bassin versant avec un taux de recouvrement de 46.72% de la superficie totale du bassin et repartis dans tout le bassin mais surtout dans la partie NW sur des altitudes entre 831 et 1700m.

**Forêt claire :**

Elle constitue un recouvrement de 27.41% de la superficie totale du bassin versant avec une surface de 5704.39 Ha on les trouve surtout dans la partie orientée SE du bassin dans des pentes moyennement faibles.

**Les plantations fruitières :**

Constituent un pourcentage de 19.23% de la superficie du bassin sur une surface de 4002.59 Ha la plus grande partie se trouve vers le SW dans les zones des altitudes inférieures entre 831 et 1400m ces zones sont caractérisées des pentes faibles.

**Les terrains de culture :**

Constituent un pourcentage de 5.06% de la superficie totale du bassin versant sur une surface de 1053.86 Ha vers le SE du bassin et un peu vers la partie nord et NW dans des zones des pentes inférieures.

**Les terrains incultes :**

Constituent un pourcentage de 1.46% de la superficie totale du bassin versant sur une surface de 304.30 Ha se trouvent dans les altitudes les plus hautes entre 2188 et 1200m vers la partie extrême du sud SE et nord

***Conclusion :***

L'occupation des sols régit le comportement hydrologique du sol et a un effet sur les indicateurs des risques de ruissellement et d'érosion (propriétés physiques, hydrologiques, état de surface et la matière organique du sol).

La carte d'occupation du sol est un élément important pour l'étude de l'érosion. Elle nous donne des informations sur l'occupation du sol du bassin versant. Et aussi elle nous a permis aussi d'établir la carte d'érosion.

Les forêts constituent un pourcentage de 86.5% de la superficie totale du bassin versant azaghar. alors une étude de la couverture végétale est importante à faire.

## 2.5.2 l'indice de végétation NDVI

L'utilisation de l'indice de végétation de différence normalisée (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) comme indice de végétation va nous permettre de générer une image illustrant une couverture végétale favorisant surveillance de la densité et la vigueur relative de la croissance végétale. Cet indice tend à réduire les effets d'éclairement ou de pente, c'est-à-dire d'atténuer les effets d'ombrage occasionnés par la topographie, permettant ainsi d'analyser les recouvrements végétaux de manière quasi indépendante du relief. Il tire du contraste des caractéristiques de deux canaux d'un jeu de données raster multispectral : l'absorption de pigments chlorophylliens dans le canal rouge et la réflectivité élevée des matières végétales dans le canal proche infrarouge (NIR). La normalisation par la somme des deux bandes permet de réduire les effets d'éclairement. Le NDVI conserve une valeur constante quel que soit l'éclairement global, contrairement à la simple différence qui est très sensible aux variations d'éclairement. Les valeurs du NDVI sont comprises en théorie entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les nuages, pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge. Pour les sols nus, les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de 0. Les formations végétales quant à elles, ont des valeurs de NDVI positives, généralement comprises entre 0,1 et 0,7 et les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses.

$$NDVI = \frac{\text{float}(PIR - R)}{(PIR + R)}$$

Où PIR représente les valeurs de réflectance spectrale de la bande du proche infrarouge et R celles de la bande du rouge. Les différentes valeurs sont obtenues sur la base des analyses statistiques des images satellitaires de l'année 2020 et 2022.

Tableau 11 : classe de densité slise pour les deux années

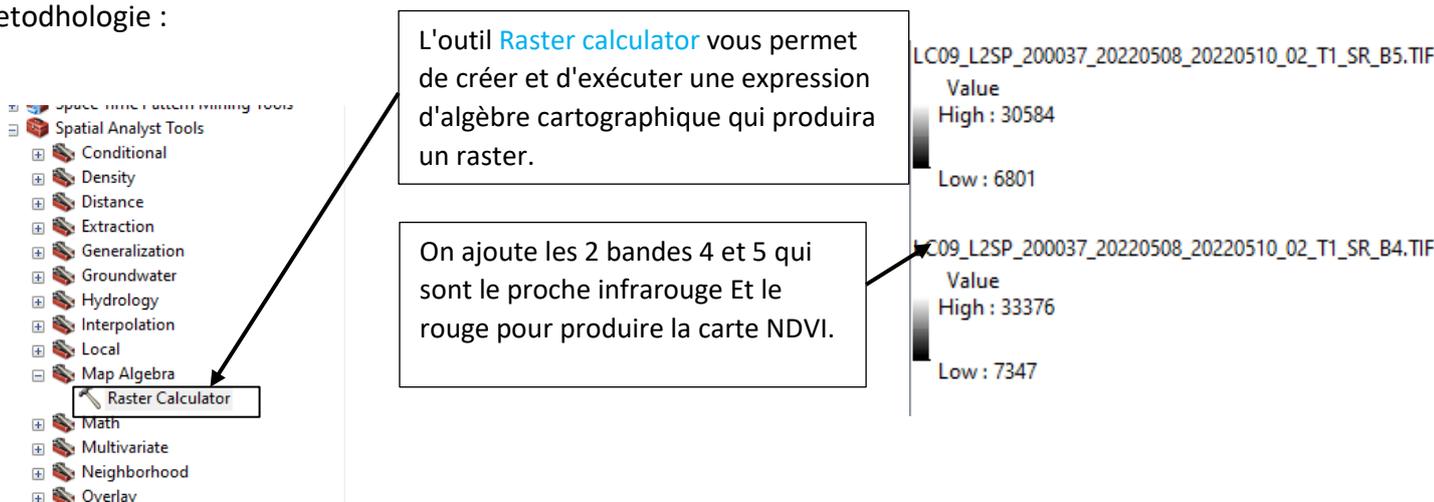
classes	intervalles 2020	intervalles 2022
classe 1	0.047242 to 0.098003	0.0998 to 0.0271
classe 2	0.098003 to 0.148764	0.1246 to 0.0998
classe 3	0.148764 to 0.199525	0.1494 to 0.12461
classe 4	0.199525 to 0.250286	0.17423 to 0.1494
classe 5	0.250286 to 0.301048	0.2008 to 0.1742
classe 6	0.301048 to 0.351809	0.2256 to 0.2008
classe 7	0.351809 to 0.40257	-0.2504 to 0.2256
classe 8	0.40257 to 0.453331	0.2752 to 0.2504
classe 9	0.453331 to 0.504092	0.3000 to 0.2752
classe 10	0.504092 to 0.554854	0.3266 to 0.3000
classe 11	0.554854 to 0.605615	0.35853 to 0.3266
classe 12	0.605615 to 0.656376	0.4790 to 0.3585

## Résultat :

Après avoir calculé l'indice de végétation des deux dates, nous avons appliqué un découpage de densité afin de mettre en surbrillance les variations de la végétation. Au total 12 classes ont été identifiées pour les deux années. Les classes 1 et 2 correspondent aux zones dépourvues ou faibles en végétation, les classes 3, 4, 5 et 6 correspondent aux zones peu denses en végétation alors que les classes 7, 8, 9, 10, 11 et 12 qui ont des valeurs modérées correspondent aux zones se caractérisant d'une végétation dense.

L'indice de végétation NDVI varie sur une échelle de valeurs allant de 0,047242 à 0,656376 pour l'année 2020 et de 0,0998 à 0,3585 pour l'année 2022. Les valeurs positives représentent la biomasse végétale. Plus les valeurs sont importantes, plus la végétation est dense.

## Methodologie :



L'outil **Raster calculator** vous permet de créer et d'exécuter une expression d'algèbre cartographique qui produira un raster.

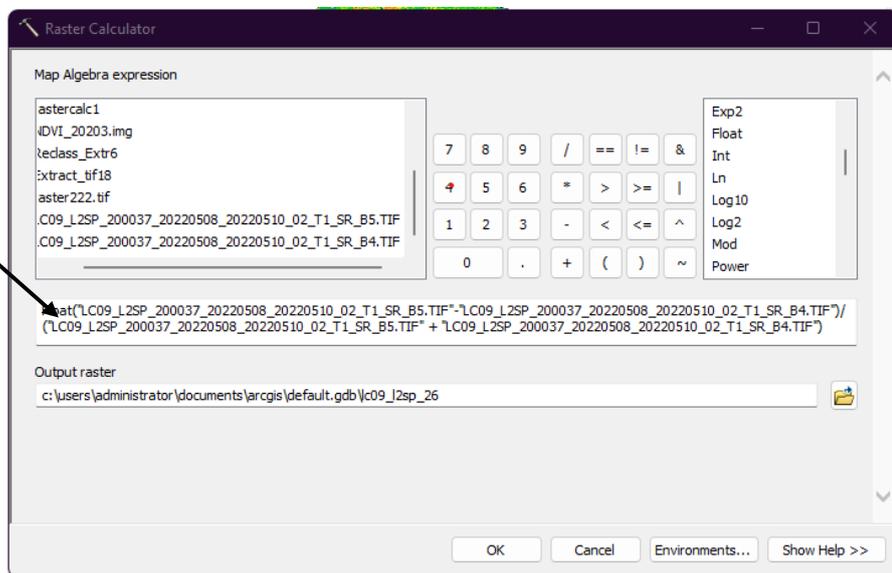
On ajoute les 2 bandes 4 et 5 qui sont le proche infrarouge Et le rouge pour produire la carte NDVI.

LC09\_L2SP\_200037\_20220508\_20220510\_02\_T1\_SR\_B5.TIF  
Value  
High : 30584  
Low : 6801

LC09\_L2SP\_200037\_20220508\_20220510\_02\_T1\_SR\_B4.TIF  
Value  
High : 33376  
Low : 7347

Depuis l'équation  $NDVI = \frac{\text{float}(PIR-R)}{(PIR+R)}$  on produit la carte NDVI.

La carte d'NDVI est sous forme de raster de symbologie étirée en doit la rendre classifier en 12 classes par étapes de classification montrées dans les méthodologies précédentes et puis on classifie la carte par l'outil **classify** pour avoir notre table des attributs et aussi la convertir du raster vers polygone pour éditer la table des attributs et tirer les surfaces des classes et les informations nécessaires pour analyser la carte



Raster Calculator

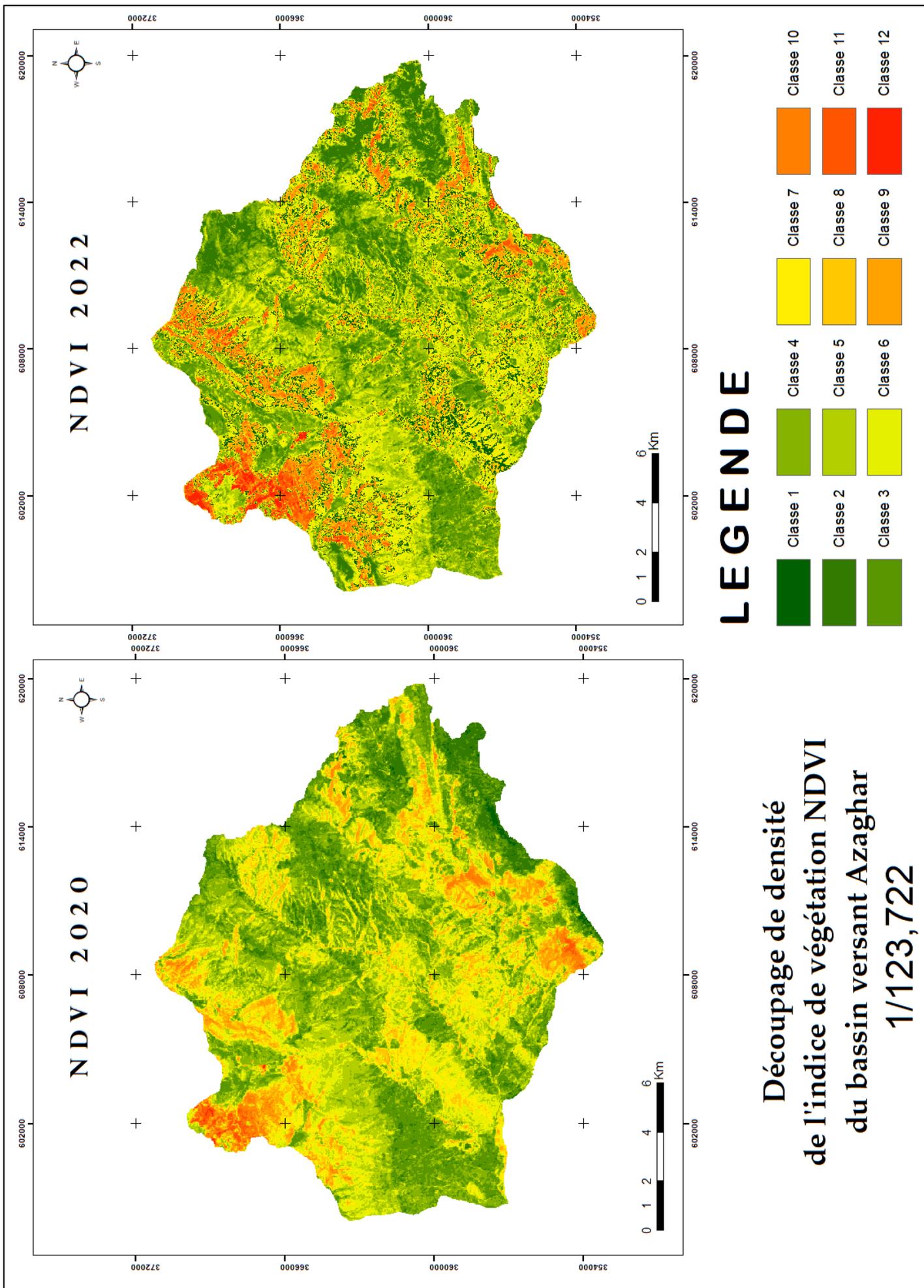
Map Algebra expression

astercalc1  
IDVI\_20203.img  
reclass\_Extr6  
extract\_tif18  
aster222.tif  
C09\_L2SP\_200037\_20220508\_20220510\_02\_T1\_SR\_B5.TIF  
C09\_L2SP\_200037\_20220508\_20220510\_02\_T1\_SR\_B4.TIF

$\text{float}(\text{"LC09\_L2SP\_200037\_20220508\_20220510\_02\_T1\_SR\_B5.TIF"} - \text{"LC09\_L2SP\_200037\_20220508\_20220510\_02\_T1\_SR\_B4.TIF"}) / (\text{"LC09\_L2SP\_200037\_20220508\_20220510\_02\_T1\_SR\_B5.TIF"} + \text{"LC09\_L2SP\_200037\_20220508\_20220510\_02\_T1\_SR\_B4.TIF"})$

Output raster  
c:\users\administrator\documents\arcgis\default.gdb\lc09\_l2sp\_26

OK Cancel Environments... Show Help >>

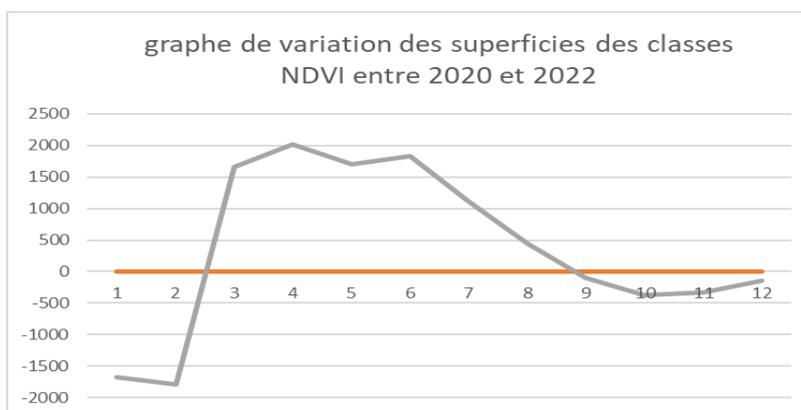


carte 16 : NDVI du bassin versant en amont du future barrage Azaghar en 2020 et 2022.

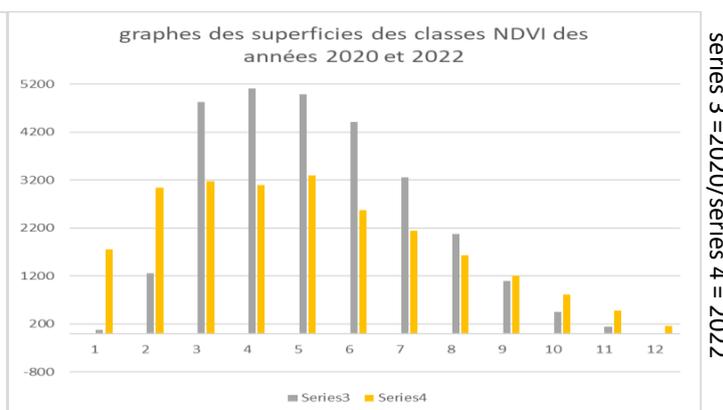
Table des superficies des classes NDVI du bassin versant en amont du future barrage Azaghar (en ha)

classes	superficie 2020	superficie 2022	variation 2020 - 2022
Classe 1	82.169982	1751.270874	-1669.100876
Classe 2	1264.050049	3050.618408	-1786.568359
Classe 3	4834.620117	3179.080078	1655.540039
Classe 4	5114.879883	3101.500488	2013.379395
Classe 5	4995.629883	3297.799072	1697.830811
Classe 6	4415.310059	2576.293945	1839.016113
Classe 7	3258	2147.084473	1110.915527
Classe 8	2083.320068	1639.261597	444.0584717
Classe 9	1103.400024	1205.214966	-101.8149414
Classe 10	448.2000122	815.395813	-367.1958008
Classe 11	144.9900055	480.001709	-335.0117035
Classe 12	8.1899996	157.2052612	-149.0152616

tableau 12 : variations dessurfaces des classes NDVI entre 2020 et 2022 .



Graphe 19 : les superficies des classes NDVI des années 2020 et 2022 au bassin versant.



Graphe 20 : variation des superficies des classes NDVI entre 2020 et 2022

## conclusion

Sur la période 2020-2022, on remarque une progression généralement faible de la superficie des classes 1, 2 connues par une végétation peu dense, et une régression faible de la superficie des autres classes qui sont connues par une végétation peu dense aussi une progression faible peut importante de la superficie des classes de 9 à 12 qui sont connus par une végétation plus dense. On peut cependant noter une croissance plus ou moins faible du couvert végétal en 2022.

L'évolution du couvert végétal est généralement faible car les images satellitaires utilisées dans le traitement ont un écart faible de 2 ans.(de 2020 à 2022)

### 2.5.3. Evaluation qualitative de l'érosion

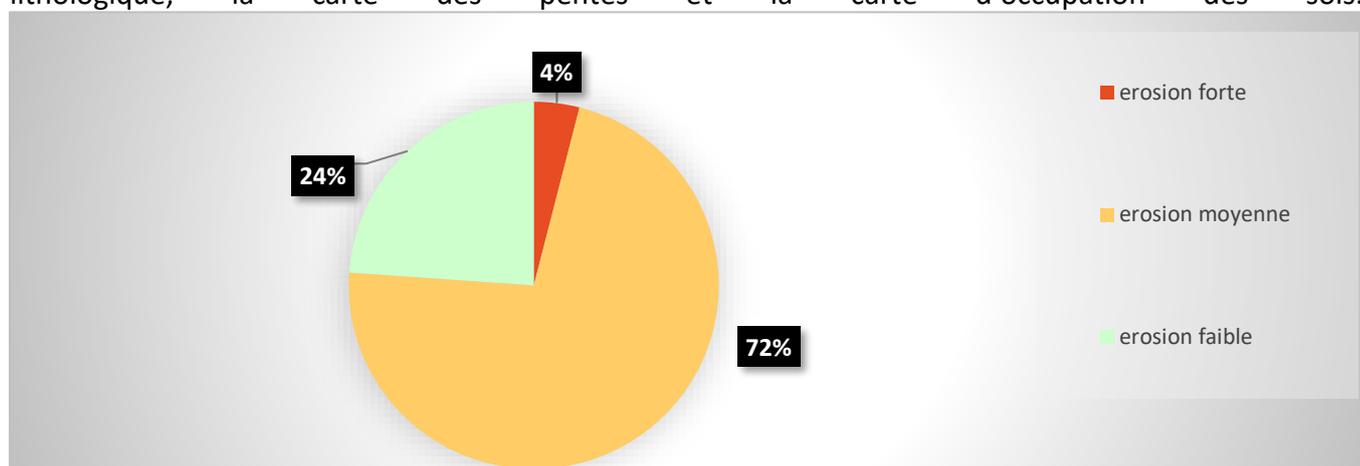
L'érosion est un mécanisme d'usure et de transformation des roches et du sol par des agents d'érosion tels que l'eau, le vent, le mouvement des glaciers ou la température dans notre cas .

L'érosion par l'eau : (hydrique) Lorsque les gouttes de pluie frappent le sol, la force de leur impact permet de briser les agrégats et de disperser les particules qui forment le sol. ainsi les sables fins, les limons, les argiles et la matière organique sont facilement emportés par les gouttes d'eau, car ce sont des particules très fines.

La conjugaison des facteurs naturels et anthropiques favorise les processus d'érosion hydrique sur de grandes étendues du territoire national : Fragilité des écosystèmes.

- Extension des zones à relief (25% du territoire national). -Prédominance de substrats fragiles.
- Agressivité climatique et irrégularité des précipitations. -Faiblesse du couvert végétal naturel (8% des peuplements ouverts).

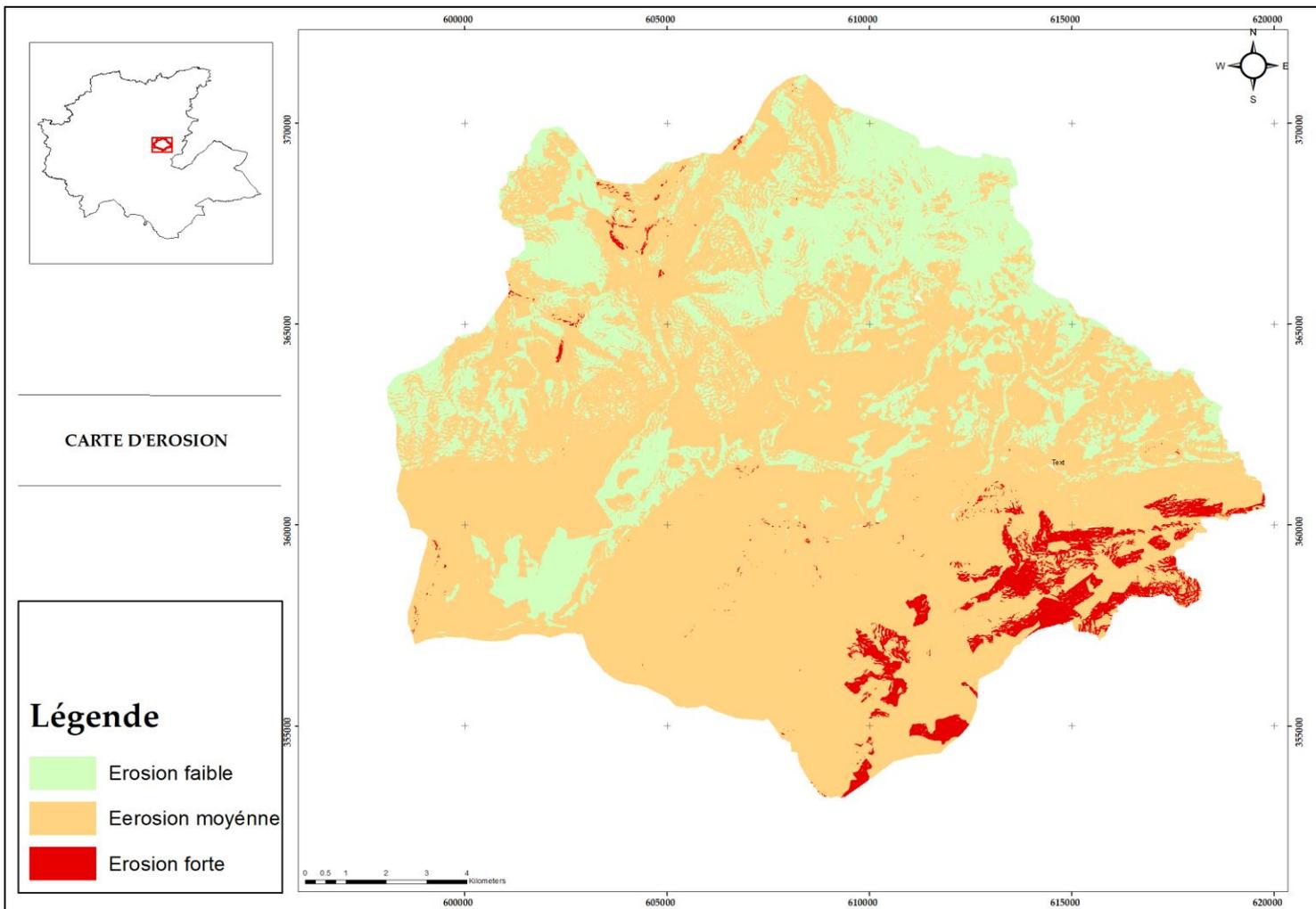
L'élaboration de la carte d'érosion consiste à la superposition des cartes thématiques : la carte lithologique, la carte des pentes et la carte d'occupation des sols.



*Graphique 21 : graphique des classes d'érosivité du bassin versant Azaghar*

Depuis ce graphique et la carte suivante on constate que les zones ayant une érosion forte sont rares constituant un pourcentage de 4% de la surface du BV (927.2ha). Les zones ayant une érosion moyenne sont les plus fréquentes d'un pourcentage de 72% sur une surface de 16827.5ha enfin les zones avec une érosion faible ont un pourcentage de 24% sur une surface de 5571.5ha.

Alors depuis l'analyse de la carte d'érosion on conclut que notre bassin versant a un problème d'érosion forte dans la zone de l'Est vers le Sud.



*Carte 16 : carte d'érosion du bassin versant Azaghar.*

### *Conclusion :*

La végétation est un facteur aussi important dans l'étude d'aménagement du futur barrage Azaghar, elle a des avantages et des inconvénients sur les ouvrages hydrauliques. Parmi les avantages, on cite la protection et le renforcement du sol en surface et en profondeur. Elle permet aussi le contrôle de l'érosion superficielle, l'interception des pluies et la résistance au cisaillement par absorption de l'eau dans le sol. Elle ombrage et couvre en partie les cours d'eau, limitant les températures extrêmes en été comme en hiver. Parmi les inconvénients de la couverture végétale, il y a la prise au vent et au courant (déstructuration du sol), réduction de la capacité d'écoulement du lit, et les dégradations internes et externes etc...

## 2.6. Hydrographie et Hydrologie

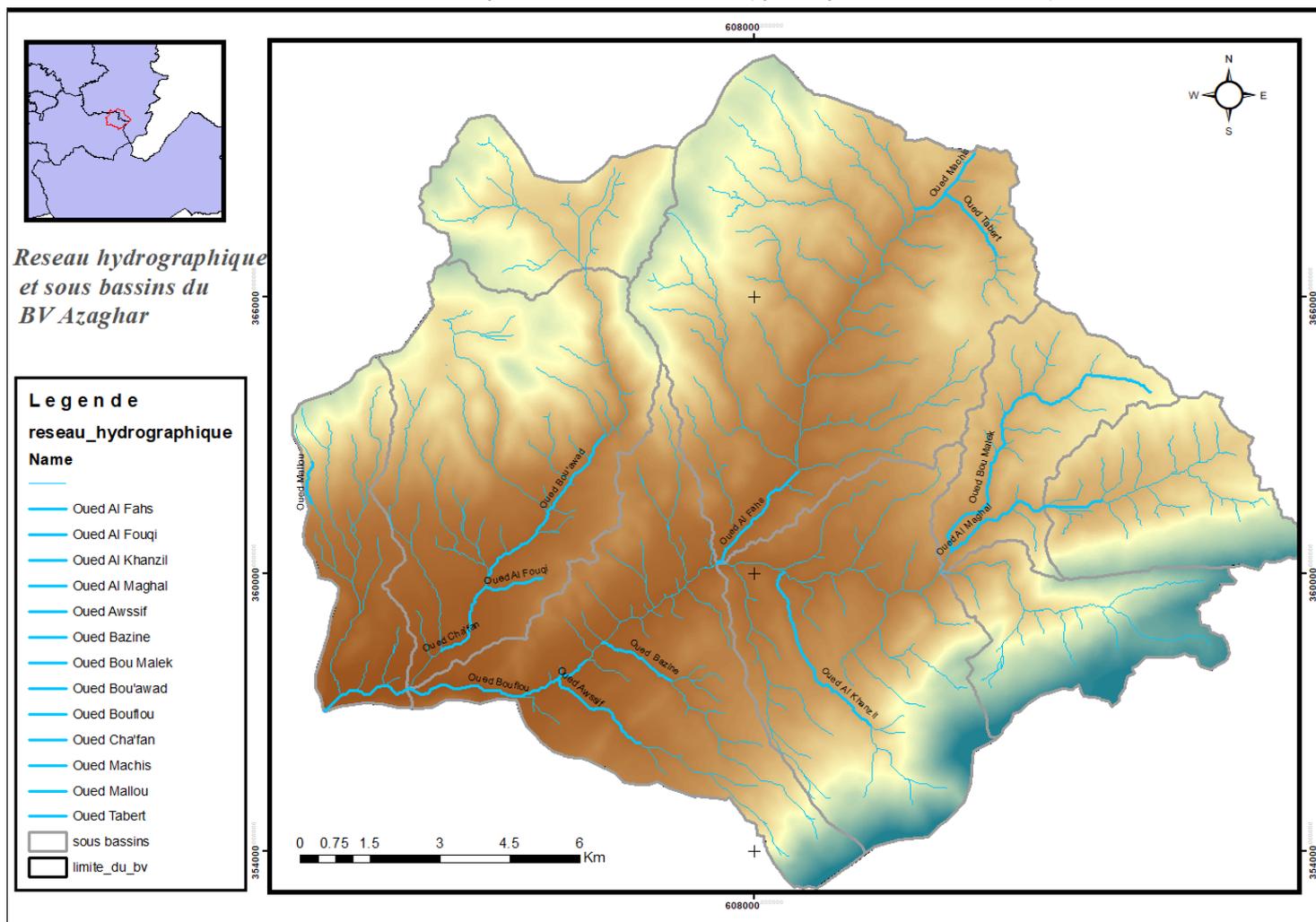
### 2.6.1. Réseau hydrographique

Nom	L en km
Oued Tabert	1.85
Oued El ghare	4.11
Oued Bou'awad	4.30
khandaq Al Ma'za	4.06
Oued Al fahs	10.04
Oued Mallou	4.69
Oued Al Maghal	4.03
Oued Al Fouqi	1.34
Ighzar Ayn Abbad	2.63
Oued Cha'fan	3.14
Oued Bouflou	17.06
Oued Bazine	1.85
Oued Awssif	2.49
Oued Al Khanzil	4.46
Oued Machis	1.89
Oued Bou Malek	7.74

Tableau 13 : cours d'eau principales du bassin versant en amont du future barrage azaghar.

Le bassin versant d'Azaghar est drainé par un réseau hydrologique dense qui est reparti en oueds et en chaabats constituant généralement la source principale pour l'irrigation des terrains agricoles et pour l'abreuvement des chapelets et qui est caractérisé par un seul cours d'eau principal; oued Bouflou un affluent de l'oued zellouli qui a une longueur totale de 24.41km. Les affluents les plus importants sont

La carte suivante est réalisée en se basant sur l'MNT de 10m et sur les informations collectées par la direction régionale des eaux et forêts et la lutte contre la désertification de fès meknes. Qui on a permis la caractérisation des différents cours d'eau par leur nom et ordre ( principale ou secondaire).



Carte 17 : reseau hydrographique du bassin versant en amont du future barrage Azaghar

## 2.6.2. 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. On peut estimer le temps de concentration à l'aide des formules empiriques les mieux adaptées au bassin en faisant intervenir les caractéristiques physiques du bassin.

Le choix du temps de concentration est basé sur la forme du bassin versant et sur le critère de la vitesse d'écoulement des eaux. Le temps de concentration retenu pour les bassins versants est la moyenne des temps de concentration calculés par les formules qui donnent des valeurs comparables et assez voisines. Le temps de concentration du bassin versant en amont du futur barrage de l'oued Zat est de 5h 30 min. La méthode de Kirpich est adaptée aux petits bassins versants. Dans notre cas, cette méthode a été utilisée pour l'estimation du temps de concentration des sous bassins versants. Le temps de concentration est alors calculé à partir de l'équation suivante :

$$TC = 0.0195 \times L^{0.37} \times P^{-0.385}$$

Tc : Temps de concentration en min.

L : Longueur maximale du parcours de l'eau dans le bassin versant (en m).

P : Pente longitudinale moyenne du bassin versant, en suivant l'écoulement de l'eau. Elle est calculée en divisant la dénivelée par L la longueur du cours d'eau principale au niveau du sous bassin versant considéré.

Le calcul des temps de concentration nous donnera une idée sur l'ordre de la vitesse d'écoulement. La connaissance du temps de concentration du bassin versant permettra l'identification ceux qui sont prioritaires en matière d'interventions pour la conservation des eaux et des sols.

Sous bassins versants	Surface en Km	L en Km	Dénielée en m	P en %	Tc adapté
1	12,6	8,4	785,3	9,3	51
2	37,6	12,1	837,9	6,9	77
3	13,3	4,1	429,4	10,3	29
4	60	14,3	744,6	5,2	97
5	14,3	8,3	656,6	7,9	55
6	15,6	5,7	832,06	14,5	33
7	14,2	7,7	512,8	6,68	55
8	33,2	8,6	1272,5	14,8	44
9	32,9	10,4	1323,5	12,72	54

Tableau 14 : taux de concentrations par sous bassins versants.

### Densité de drainage

La densité de drainage est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant. Elle dépend de la géologie (structure et lithologie), des caractéristiques topographiques du bassin versant et, dans une certaine mesure, des conditions climatologiques et anthropiques.

La densité de drainage, introduite par Horton, est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant :

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

Avec :

Dd : densité de drainage [km/km<sup>2</sup>] ;

Li : longueur de cours d'eau [km] ;

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

C'est un indice numérique de référence qui peut servir pour comparer les bassins entre eux à condition d'être calculé à une même échelle notamment. Pour le bassin versant en amont du futur barrage Azaghar la densité de drainage vaut 1,57 Km/Km<sup>2</sup>.

### Profil en long du cours d'eau principal

Le profil en long d'un cours d'eau est un graphique qui met présente la variation de l'altitude du lit ou du fond de la vallée par rapport à la distance. La distance, représentée sur l'axe des abscisses, est toujours mesurée à partir d'un point de départ donné, souvent localisé à une extrémité du réseau hydrographique, Sur un profil en long, on peut observer les variations de pente qui se succèdent le long d'un cours d'eau. Ces variations sont importantes car elles peuvent donner de façon indirecte des informations sur les climats antérieurs, sur l'augmentation amont-aval des débits, sur la charge sédimentaire transportée et sur les caractéristiques du bassin versant (LEOPOLD et al. 1995).

Le profil en long du cours d'eau principal du bassin versant en amont du futur barrage Azaghar (ci-après) est obtenu en analysant le MNT de 10 m de résolution avec le logiciel Global Mapper.

Cette (figure 2) indique le profil du point de départ de l'altitude de 1820 m d'environ vers l'exutoire du bassin versant situé à une altitude 831 m, avec une différence d'altitude de 989m, une pente de 6 % et une distance entre les deux points 22km d'environ.

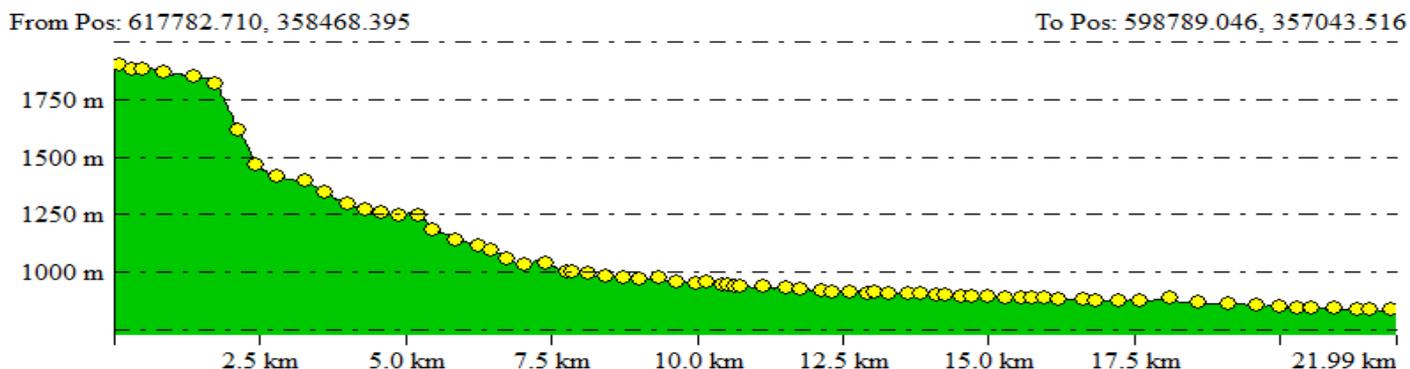


Figure 1 : profile au long du cours d'eau principal effectué par global mapper

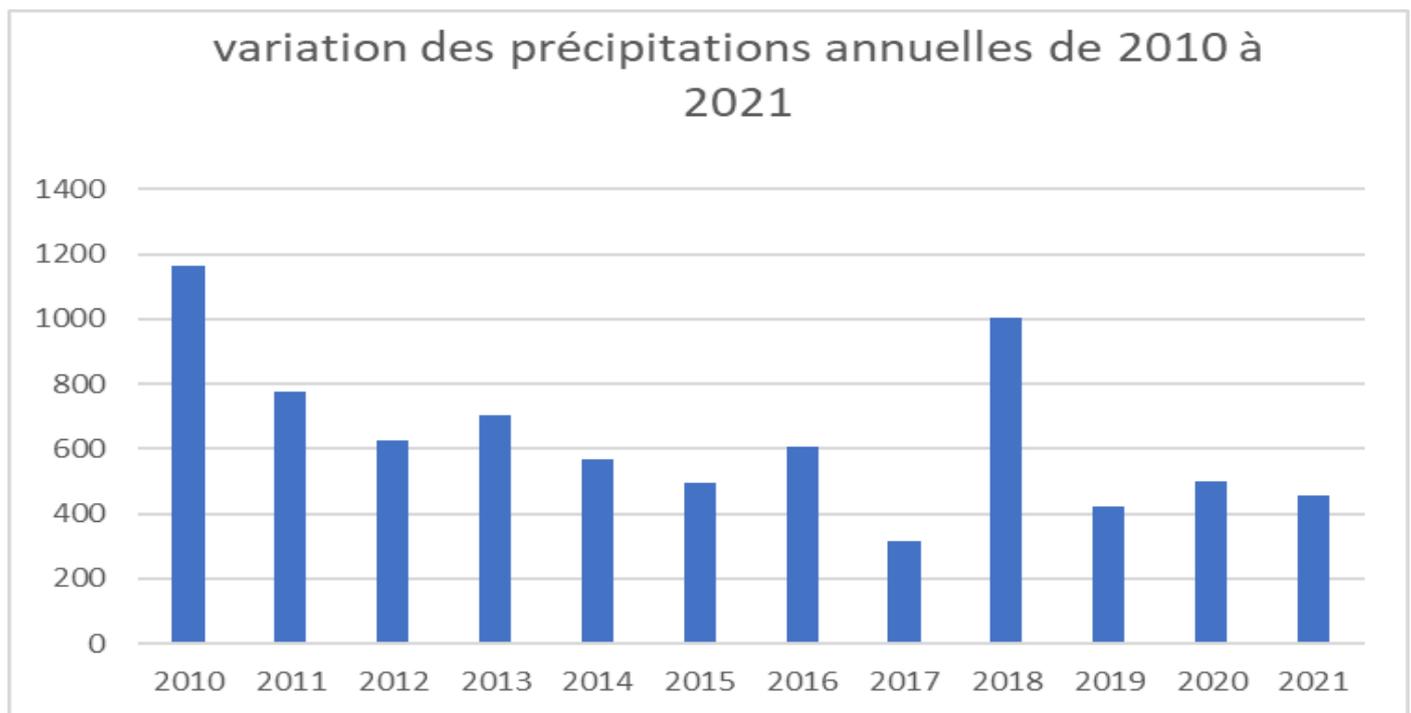
L'absence de protection des versants par la végétation et les vitesses d'écoulement plus élevées dans les cours d'eau provoque une augmentation considérable des pertes solides, à l'exutoire du bassin versant dans notre cas on a un risque d'érosion à cause du pente élevée au niveau du cours d'eau principal qui peut causer un écoulement de l'eau rapide vers l'exutoire.

## III. RESSOURCES EN EAUX.

### 3.1. Apports des précipitations

#### 3.1.1. Précipitations annuelles

Les précipitations moyennes annuelles ont été obtenues par sommation des moyennes mensuelles. L'histogramme ci-dessous montre l'évolution annuelle des précipitations. Nous pouvons voir que, durant la période de 2010 à 2021, deux années ont été exceptionnellement pluvieuses. Ce sont les années, 2010 et 2018 avec des précipitations atteignant le 1000 mm. Deux années ont été particulièrement sèches, ce sont les années 2017 et 2019 avec des précipitations inférieures à 425 mm.



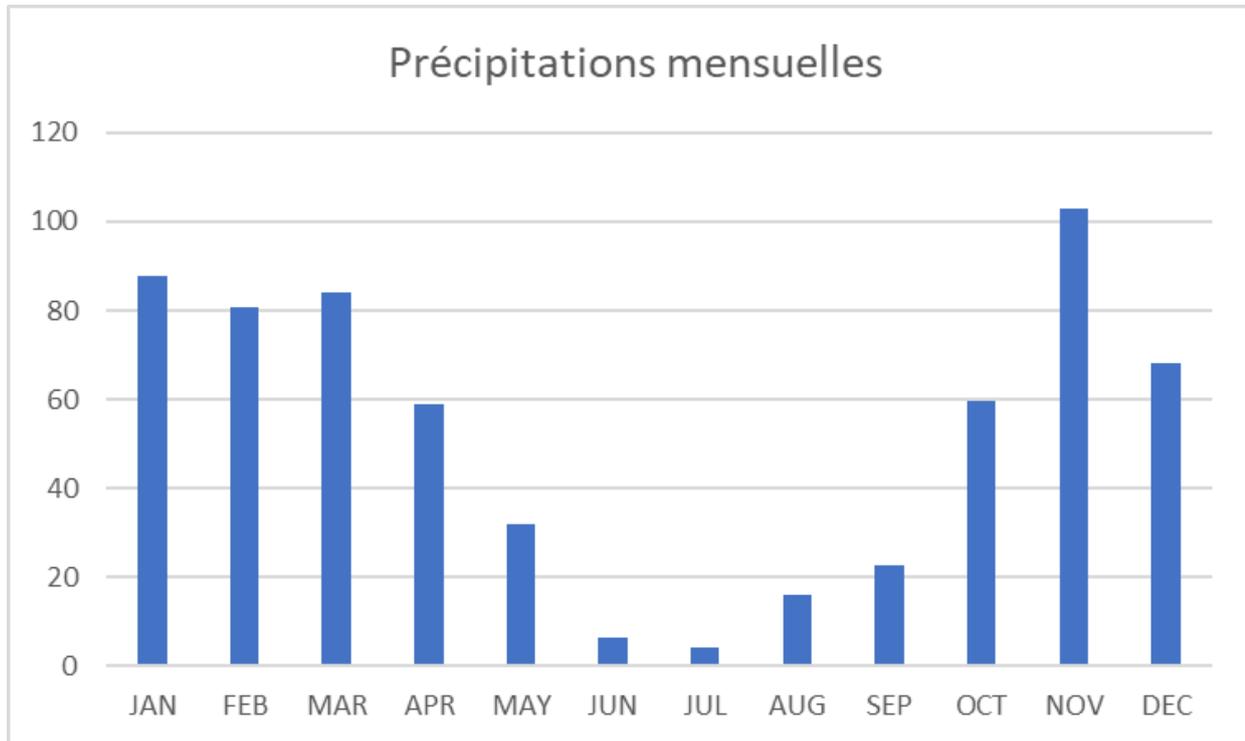
Graph 22 : variation des précipitations moyennes annuelles du bassin versant en amont du future barrage Azaghar entre 2010 et 2021

Le volume d'eau dans le bassin versant Azaghar peut être calculé par le produit des précipitation moyennes annuelles et la surface du bassin versant .

Alors la moyenne du volume d'eau reçu par le bassin versant est  $146188940.4 \text{ m}^3$ .

### 3.1.2. Précipitations mensuelles

Les précipitations mensuelles au niveau du bassin versant d'Azaghar ont été obtenues par le calcul de la moyenne arithmétique pendant une période de 11 ans. Le graphe ci-dessous montre que les mois les plus pluvieux sont de novembre à mars et que les mois les plus secs sont de juin à septembre. Le mois le plus arrosé est novembre tandis que le mois le moins arrosé est juillet.



Graph 23: la variation des précipitations moyennes mensuelles de la période entre 2000 et 2021 du bassin.

L'analyse des données nous fournit une idée sur les mois ayant un grand ruissellement, alors stockage d'eau au future barrage. les mois possibles sont novembre decembre janvier fevrier et mars.

#### *conclusion.*

Les précipitations moyennes annuelles sont variables d'un sous bassin à un autre. L'analyse spatiale de la hauteur de précipitations moyennes annuelles montre que ces derniers varient de 523.17 mm 725.34 mm au niveau des sous bassins versant. la variation des precipitations dans les sous bassins versants est due a la variation des altitudes.

Les mois de mai a septembre constituent la période sèche avec un minimum inferieur à 5mm dans le mois juillet .la periode humide dans notre bassin s'étend du mois octobre au mois avril avec un maximum de 105mm au mois de novembre.

# Conclusion générale.

Le bassin versant en amont du futur barrage fait partie d'une zone arrosée du Maroc. Il s'agit d'un sous bassin du grand bassin Sebou qui constitue presque 1/3 des eaux de surface du pays. Le bassin versant se situe dans la ligne entre les deux provinces Sefrou et Taza (Région Fès Meknès). Sur le plan forestier, il relève de trois secteurs forestiers Souhane, Maghraoua, et Bab Azhar.

Le bassin versant Azaghar est caractérisée par un climat de type subhumide, avec des précipitations annuelles moyennes fortement irrégulières, qui varient entre un minimum de l'ordre de 300 mm (en 2017) et un maximum de et 1400mm/an (en 2010). Les températures mensuelles varient de 4.1 à 29.58°C avec une moyenne annuelle de 16,71°C. Les températures minimales moyennes dans le bassin varient entre -10 °C et 4°C. La température minimale moyenne annuelle enregistrée est d'environ -3°C.

Au niveau hypsométrique, le bassin à une grande variations des altitudes, l'altitude minimum se trouve au niveau de l'exutoire (831m) et l'altitude maximum se trouve vers le SSE avec une altitude de 2188m. le bassin versant à une structure légèrement allongée qui favorise le ruissellement vers l'exutoire alors favorisant l'érosion hydrique.

Du point de vue lithologique, le bassin versant est en grande majorité recouvert par des formations carbonatées (friables et moyennement résistantes) d'âge paléozoïque non subdivisé, liasique ou jurassique moyen. Ces formations sont marquées par des différents niveaux de friabilité. Les sols sont généralement de résistante moyenne à l'érosion.

Au niveau de végétation La région dispose d'une réserve végétale diversifiée comprenant le domaine forestier et le domaine agricole. La carte des occupations actuelles des sols illustre de cette diversité d'espèces. Les formations forestières naturelles se décèlent par les peuplements denses à moyennement denses. Les plantations fruitières constituent une partie importante du bassin versant avec un pourcentage de 19,23% qui occupent les vallées du bassin versant. Le bassin versant est caractérisé par un couvert végétal important, en progression, qui joue un rôle important dans la protection des sols contre l'érosion.

Du point de vue ressources en eau les plus importantes sources sont les sources d'eau et les oueds qui se jettent dans le cours d'eau principal Bouflou.

L'ouvrage du barrage dans l'exutoire du barrage peut dépasser 20 mètres et les risques d'inondations dans notre bassin sont faibles. Alors pour les raisons de sécurité, le temps de retour pris est 1000 ans.

Il ne faut pas oublier aussi que l'étude par la méthode SIG a mis en évidence un problème d'érosion au niveau du bassin versant d'Azaghar.

# BIBLIOGRAPHIE

- Direction des eaux et forêts et la lutte contre la desertification fes-boulmane
- ressources-en-eau/agence-de-bassins-hydrauliques-abh/abh-sebou/
- eauxetforets.gov.ma/Desertification/C-E-S/Pages/Erosion-Au-Maroc.aspx
- Rapport N°1 de la Phase I Analyse du milieu biophysique et caractéristiques socioéconomiques globales
- ennetier M., Mériaux P., Zanetti C., 2015. Gestion de la végétation des ouvrages hydrauliques en remblai.
- desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/main
- power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/
- earthexplorer.usgs.gov
  - ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
  - DIGITAL\_OBJECT\_IDENTIFIER = "https://doi.org/10.5066/P9OGBGM6"
  - LANDSAT\_PRODUCT\_ID = "LC09\_L2SP\_200037\_20220508\_20220510\_02\_T1"
  - PROCESSING\_LEVEL = "L2SP"
  - COLLECTION\_NUMBER = 02
  - COLLECTION\_CATEGORY = "T1"
  - OUTPUT\_FORMAT = "GEOTIFF"
  - FILE\_NAME\_BAND\_n = "LC09\_L2SP\_200037\_20220508\_20220510\_02\_T1\_SR\_Bn.TIF"
  - DATE\_PRODUCT\_GENERATED = 2022-05-10T04:56:39Z
  - PROCESSING\_SOFTWARE\_VERSION = "LPGS\_15.6.0"



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

**FARHI AYOUB**

**Année Universitaire : 2021/2022**

**Titre : L'utilisation du SIG pour l'évaluation qualitative de l'érosion. Cas du bassin versant Azaghar.**

### Résumé

Dans notre mémoire d'étude nous avons entamé une étude d'érosion et du milieu physique d'un bassin versant situé en amont du futur barrage d'Azaghar. Elle a été faite par l'utilisation de l'outil ArcGIS 10.2 avec une licence fournie par la Direction Régionale des Eaux et Forêts et la Lutte Contre la Désertification de Fès Boulomane. Notre projet est réparti comme suit :

Le premier chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude dans son cadre général, et à la délimitation du bassin versant avec l'outil ArcGIS. Il s'agit d'un sous bassin du grand bassin Sebou qui constitue presque 1/3 des eaux de surface du pays. Le bassin versant se situe dans la ligne entre les deux provinces Sefrou et Taza (Région Fès Meknès). Le deuxième chapitre dans lequel nous avons entamé l'étude du milieu physique à l'aide de l'outil ArcGIS, notamment les volets hydrologiques, morphométriques et lithologiques. En se basant sur le traitement statistique des précipitations mensuelles et annuelles et des températures et sur le traitement des images satellitaires, on a conclu que le bassin versant Azaghar est caractérisée par un climat de type subhumide, avec des précipitations annuelles moyennes fortement irrégulières, qui varient entre un minimum de l'ordre de 300 mm (en 2017) et un maximum de et 1400mm/an (en 2010). Les températures mensuelles varient de 4.1 à 29.58°C avec une moyenne annuelle de 16,71°C. Les températures minimales moyennes dans le bassin varient entre -10 °C et 4°C. La température minimale moyenne annuelle enregistrée est d'environ -3°C.

Au niveau hypsométrique, le bassin à une grande variations des altitudes, l'altitude minimum se trouve au niveau de l'exutoire (831m) et l'altitude maximum se trouve vers le SSE avec une altitude de 2188m. le bassin versant à une structure légèrement allongée qui favorise le ruissellement vers l'exutoire favorisant ainsi l'érosion hydrique. Du point de vue lithologique, le bassin versant est en grande majorité recouvert par des formations carbonatées (friables et moyennement résistantes) d'âge paléozoïque non subdivisé, liasique ou jurassique moyen. Ces formations sont marquées par des différents niveaux de friabilité. Les sols sont généralement de résistante moyenne à l'érosion. Au niveau de végétation, la région dispose d'une réserve végétale diversifiée comprenant le domaine forestier et le domaine agricole. La carte des occupations actuelles des sols illustre de cette diversité d'espèces. Les formations forestières naturelles se décèlent par les peuplements denses à moyennement denses. Les plantations fruitières constituent une partie importante du bassin versant avec un pourcentage de 19,23% qui occupent les vallées du bassin versant. Se dénier est caractérisé par un couvert végétal important, en progression, qui joue un rôle important dans la protection des sols contre l'érosion. Le Troisième chapitre est consacré aux ressources en eaux. Il a pour but de connaitre les caractéristiques hydrographiques et hydrologiques du bassin versant. (Les plus importantes sources sont les sources d'eau et les oueds qui se jettent dans le cours d'eau principal Bouflou.) L'ouvrage du barrage dans l'exutoire du barrage peut dépasser 20 mètres et les risques d'inondations dans notre bassin sont faibles. C'est ainsi pour les raisons de sécurité, le temps de retour pris est 1000 ans. L'étude d'érosion en amont du future barrage Azaghar nous a permis une carte dans laquelle nous avons délimité des zones à forte et moyenne érosion pour avoir une idée sur les zones où on doit viser notre plan d'aménagement.