

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE :	6
LE BUT D'ETUDE :	6
CHAPITRE I : CADRE GENERALE DE L'ETUDE.....	7
1-L'ORGANISME D'ACCUEIL :	7
2-PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE :	9
2-1 localisations du centre d'étude :	9
2-2 Données naturelles :	10
2-3 Données démographiques :	13
2-4 Infrastructure et réseau du centre :	13
3- LES ETAPES DE LA DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE PAR L'OUTIL ARCGIS 10.3 :	13
3-1 L'utilisation de l'Arc Gis :	13
3-2 Le démarche suivi:	14
Les étapes suivies pour la délimitation du bassin versant sur ArcGIS:	16
4- PROPRIETE DU BASSIN VERSANT:	18
Bassin de Chaâba Boutmim (bassin versant 1) :	18
Bassin de Chaâba Mellah (bassin 2) :	21
Bassin versant 3 :	24
Bassin de l'Oued Zeggota (bassin 4) :	26
CHAPITRE II : CALCULE HYDROLOGIQUE A PARTIR DE LA DELIMITATION A L'AIDE DE L'OUTIL ARC GIS 10.3	31
GENERALITES	31
Vocabulaire :	31
1-2 Caractéristiques de la zone de l'étude :	32
CALCULE DU TEMPS DE CONCENTRATION (Tc) :	34
I-Giandotti:	34
II-Turrazza & Passini :	34
III-Ventura :	34
IV-Kirpich :	34
CALCULE DES DEBITS DE CRUE PAR LA METHODE EMPIRIQUE USUELLES.	36
Définition :	36
3-1 Formule de Mac Math (BV < 100 Ha) :	37

3-2 Formule Rationnelle :	38
3-3 Formule de Mallet Gautier :	40
3-4 Formule de Fuller II :	40
3-5 Formule de HAZAN - LAZAREVICK:	41
4- AJUSTEMENT DES DEBITS DES CRUES.....	42
4-1 Méthode de Gradex	43
4-2 DEBITS RETENUS	45
HYDROGRAMMES DES CRUES :	47
CHAPITRE III : REVUE DES SCHEMAS D'AMENAGEMENT PROPOSES :.....	49
PROBLEMATIQUE	49
II- SCHEMAS D'AMENAGEMENTS PROPOSEE :	51
1-Propositions d'aménagement :	51
2- recalcul de la hauteur de la canalisation rectangulaire en béton de type U :	53
CONCLUSION GENERALE :	55
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	56

Liste des figures

Figure 1: Carte de limite et de découpage administratif du bassin de Sebou	8
Figure 2: Image satellitaire du centre Selfat :	9
Figure 3: Extrait du découpage administratif des communes	10
Figure 4: Carte Géologique de la zone étudiée	11
Figure 5: la délimitation et l'ordre du bassin versant 1.	19
Figure 6: Carte des pentes du bassin versant 1.	19
Figure 7: Carte Hypsométrique du bassin versant 1.	20
Figure 8: MNT du bassin versant 1.	20
Figure 9: Délimitation du BV2 et son ordre :	21
Figure 10: carte des pentes du BV2 :	22
Figure 11: Carte Hypsométrique du bassin versant 2.	23
Figure 12: MNT du Bassin versant 2.	23
Figure 13: Délimitation du bassin versant 3 et son ordre.	24
Figure 14: carte des pentes du bassin versant 3.	24
Figure 15: Carte hypsométrique du bassin versant 3.	25
Figure 16: MNT du bassin versant 3.	25
Figure 17: Délimitation et ordre du bassin versant 4.	26
Figure 18: Carte des pentes du bassin versant 4.	27
Figure 19: Carte Hypsométrique du bassin versant 4.	27
Figure 20: MNT du bassin versant 4.	28
Figure 21: Carte satellite des 4 bassins étudiés	30

Liste des tableaux

Tableau 1: Paramètres des bassins versants obtenue à partir de la délimitation sur carte topographique.....	32
Tableau 2: les paramètres des bassins versants retenu à partir de la délimitation sur ArcGIS 10.3	33
Tableau 3 : Tableaux récapitulatif de calcule de temps de concentration à partir des données de la délimitation sur ArcGis.....	35
Tableau 4: Résultats de calcule de temps de concentration à base de la délimitation sur carte Topographique	35
Tableau 5: table des débits par la méthode de Mack Math.....	37
Tableau 6: table des débits calculés par la méthode rationnelle	39
Tableau 7: table des débits calculés par la méthode de Mallet Gaultier	40
Tableau 8: table des débits calculés par la méthode de Fuller II	41
Tableau 9 : Table des débits calculé par la méthode de Hazan Lazarevick	42
Tableau 10: Table récaputilatif des calcules des débits par la méthode de Gradex.....	45
Tableau 11: Tableau récapitulatif des débits de retour par la délimitation sur ArcGIS :.....	46
Tableau 12: Tableau récapitulatif des débits de retour par la délimitation sur carte topographique :	46
Tableau 13: Table récapitulatif des débits et des volumes des crues à l'aide des résultats obtenu par l'ArcGIS.	47
Tableau 14 : Table récapitulatif des débits et des volumes des crues à l'aide des résultats obtenu par la topographie	48

Chapitre I: Cadre générale de l'étude

Introduction :

Le premier chapitre sera consacré à la présentation de l'organisme d'accueil qu'est l'agence de bassin hydraulique du Sebou, ainsi que la description de la zone d'étude, et l'explication de la méthode et la démarche suivie c'est:

- La manipulation de l'outil Arc Gis.
- La détermination des caractéristiques des Bassins versants étudiés.

1-L'organisme d'accueil:

L'Agence du bassin hydraulique du Sebou (ABHS) est un établissement public gère les ressources en eau d'un bassin hydraulique en associant l'ensemble des acteurs de l'eau en veillant à la protection du domaine public hydraulique dans le but d'un développement durable. L'agence est administrée par un conseil présidé par l'autorité gouvernementale chargée des ressources en eau.

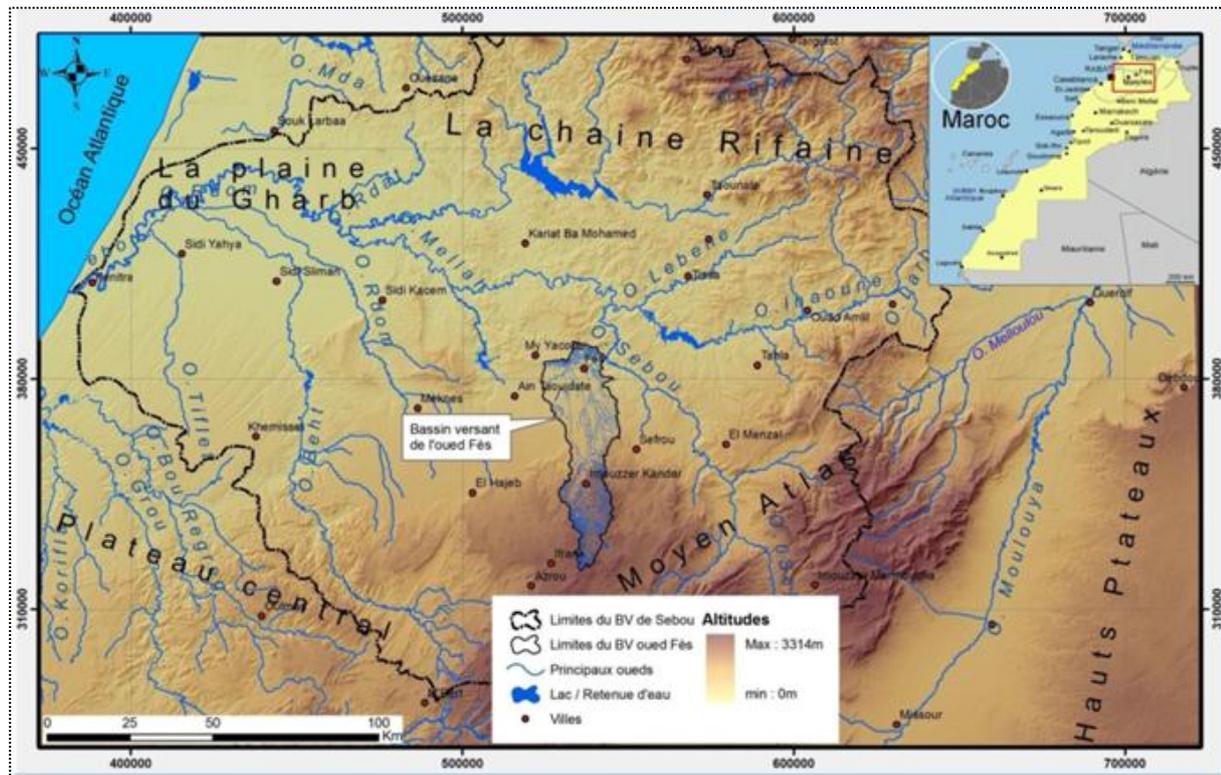
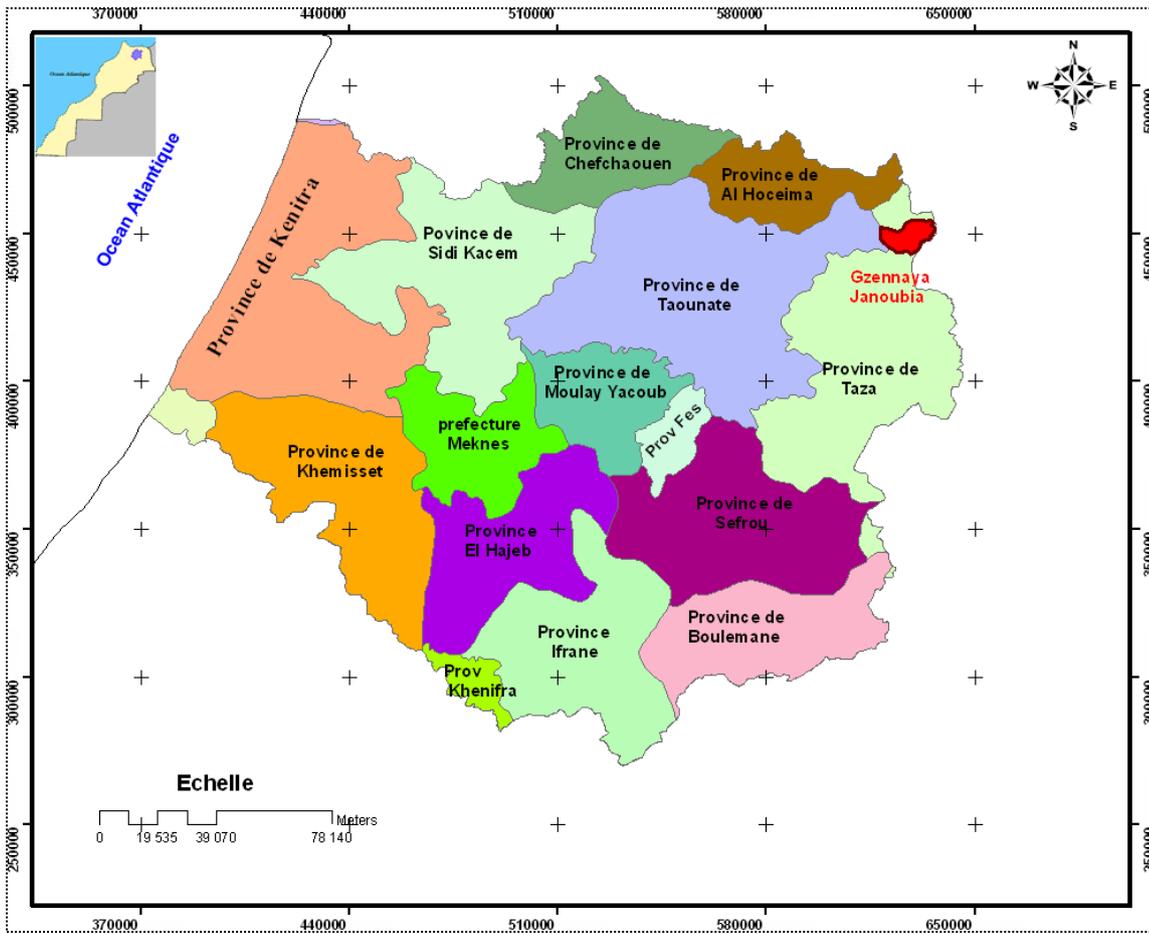
La zone d'action de l'Agence du Bassin Hydraulique du Sebou s'étend sur une superficie de 40 000 km² et englobe 3 Wilayas et 12 Provinces et Préfectures.

L'organisme de l'agence du bassin hydraulique de Sebou se compose de :

- ❖ Secrétariat général
- ❖ Quatre divisions
 - Division des ressources humaines et financières
 - Division développement et gestion des ressources en eau
 - Division aides financiers et redevances
 - Service de protection de la qualité de l'eau.

Le stage a été effectué dans le service des Travaux et Aménagement hydraulique, au sein de la division de développement et gestion des ressources en eau.

Figure 1: Carte de limite et de découpage administratif du bassin de Sebou



2-Présentation de la zone d'étude:

2-1 localisations du centre d'étude:

2-1-1 cadre administratif:

Le centre de Selfat est le chef lieu de la Commune Rurale portant le même nom. Il dépend du Caïdat de Zeggota qui relève de la province de Sidi Kacem et qui fait partie de la région Gharb-Chrarda-Bni Hssen.

2-1-2 Situation géographique:

Le centre Selfat est situé à 41 Km de Fès, il est accessible à partir de la ville de Fès par la route Nationale RN 4, et ensuite la RN 13 qui le traverse.

Le centre Selfat est le chef lieu de la commune de Selfat qui est limitée:

- Au Nord par les communes rurales Mkansa et Tekna;
- Au Sud par les communes N'zalat Bni Amar et Karmet Ben Salem;
- A l'Est par les communes Sebt Loudaya et Charquoua;

A l'Ouest par les communes Zeggota et Bab Tiouka.

Figure 2: Image satellitaire du centre Selfat:





Figure 3: Extrait du découpage administratif des communes

2-2 Données naturelles :

2-2-1 Climatologie :

Le centre de Selfat bénéficie d'un climat méditerranéen avec une influence océanique favorable au développement d'une large gamme de cultures. Elle se caractérise par un climat semi continental, les précipitations atteignent une moyenne de 520 mm/an concentrée entre le mois d'Octobre et le mois d'Avril.

Les températures enregistrent un minimum de 16°C en hiver et un maximum de 40°C pendant l'été dû aux coups de chaleur "Chergui".

Les risques de gelée sont faibles, mais il existe en moyenne trois jours par ans.

Environ 90% de la pluviométrie totale de l'année est concentrée entre Octobre et Avril. Les variations interannuelles sont importantes et peuvent aller du simple au double entre une année sèche et une année humide.

2-2-2 GEOLOGIE :

Le centre de Selfat fait partie du bassin Gharb-Mamora dont les formations géologiques se présentent comme suit:

D'après les 2 carte ce dessus on constate que les terrains son affecté par le Quaternaire récent et Quaternaire ancien de nature galet et cailloutis bien représenté au Nord et Est de la plein qui pouvant atteinte 250m d'épaisseur, les formations Roze constitue de sable fin argileux et de cailloutis bien développé au Sud.

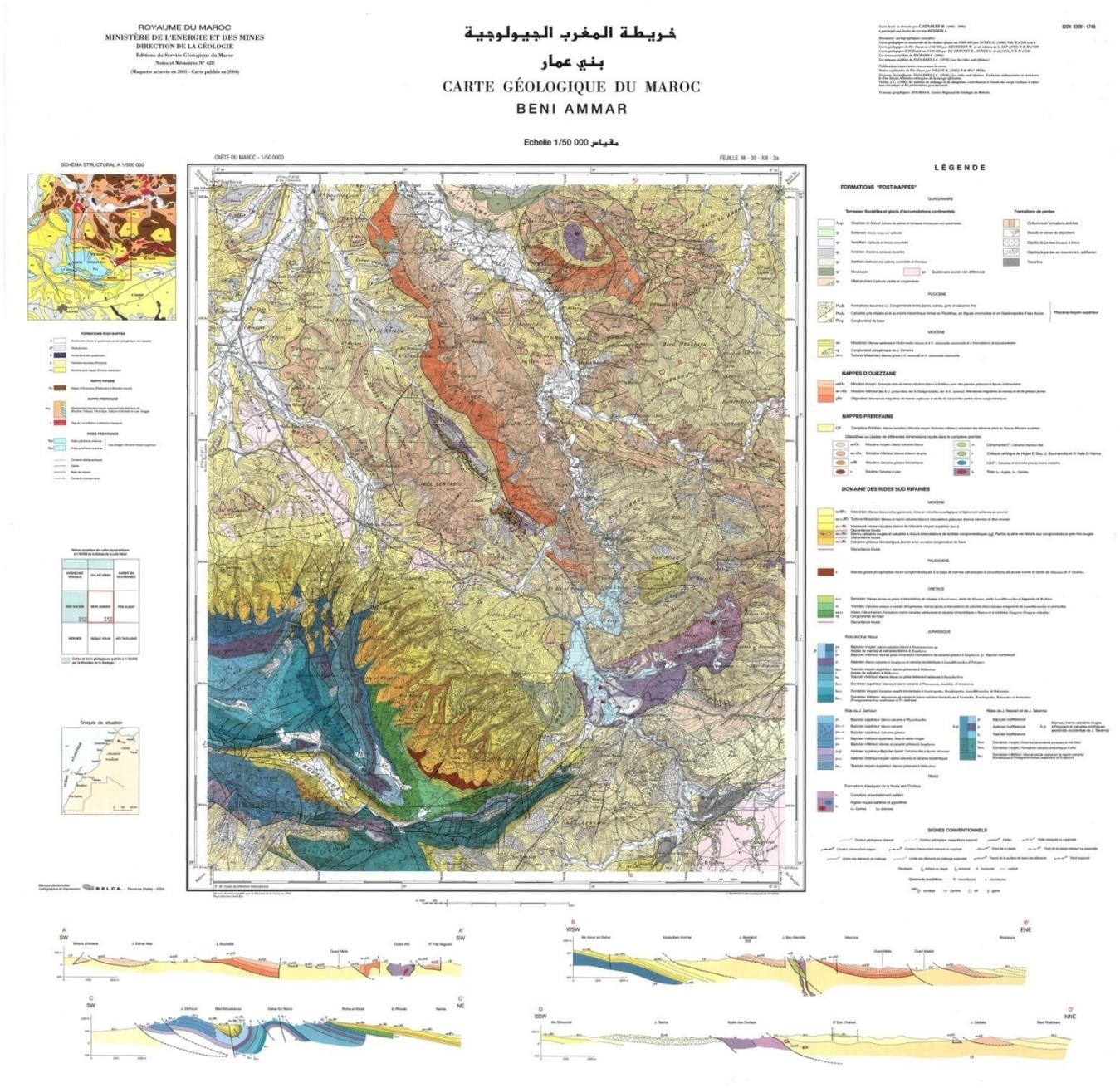


Figure 4: Carte Géologique de la zone étudiée

2-3 Données démographiques :

Selon les résultats du Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH 2004), l'effectif de la population de la commune était de 9686 habitants, avec 1310 foyers.

2-4 Infrastructure et réseau du centre:

Electricité:

Le centre est lié au réseau d'électricité, avec un taux d'accès de 51.42 %.

Eau Potable:

Taux d'accès au réseau d'eau potable est de 80%.

Assainissement :

100% des foyers disposent d'un système individuel d'assainissement.

Infrastructures éducatives:

Disponibilité d'écoles et d'un collège.

Infrastructures sanitaires:

La commune de Selfat est munie d'un centre de santé communale, et d'une pharmacie dont la distance qui la relie au douar le plus éloigné est de 12 Km.

3- Les étapes de la délimitation de la zone d'étude par l'outil ArcGIS 10.3 :

3-1 L'utilisation de l'Arc Gis:

Sur la base de la carte topographique 1/50000 de la zone Selfat, la délimitation des bassins versants a été effectuée par L'outil utilisé le logiciel ArcGIS 10.3.

Le système d'information Géographique ArcGIS:

C'est un ensemble d'applications SIG développé par la compagnie américaine ESRI (Environment Systems 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 sous le contrôle des autres.

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. Il comporte principalement trois composantes:

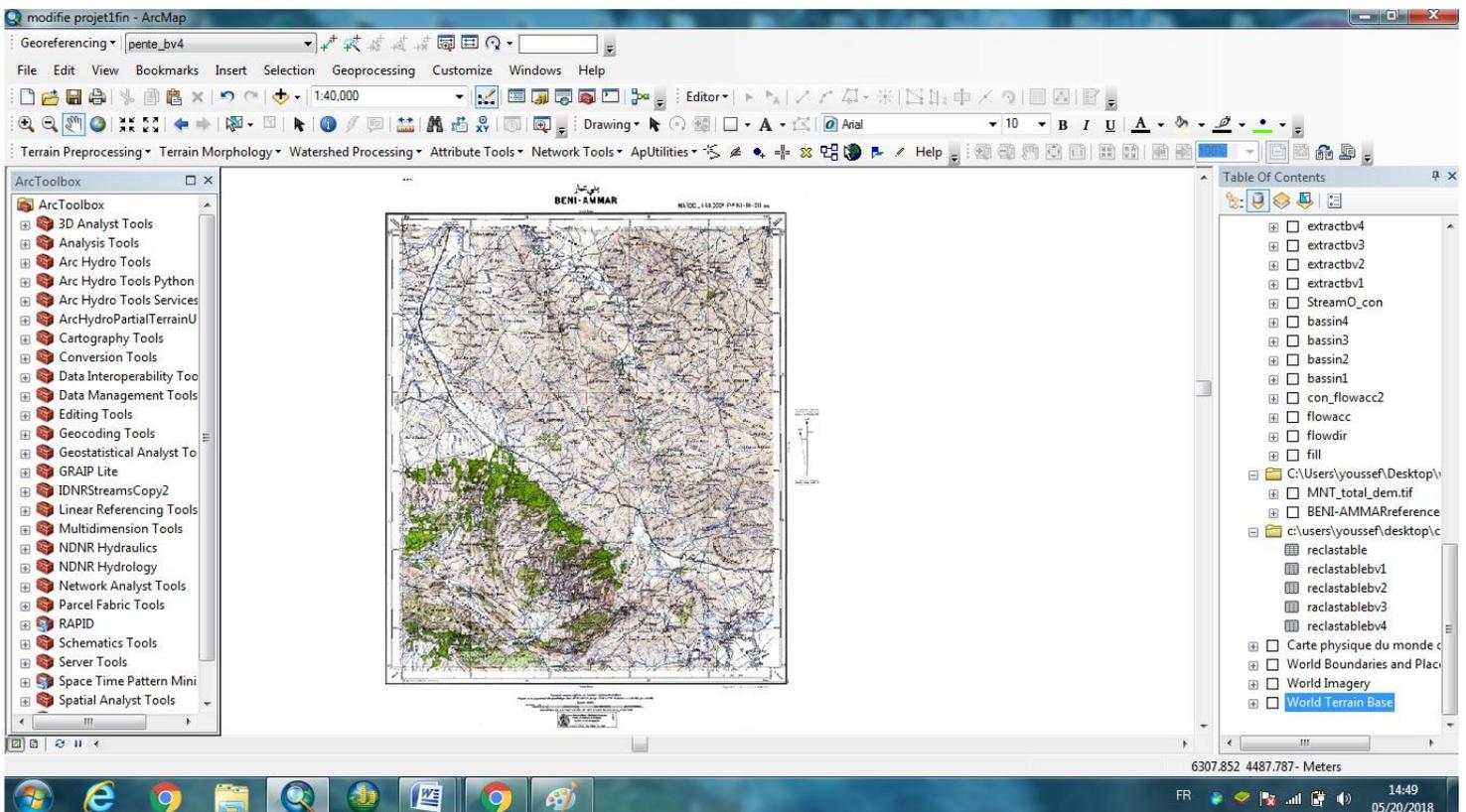
ArcCatalog: est un explorateur de données tabulaires et cartographiques. Il est vivement conseillé d'utiliser ArcCatalog pour effacer les fichiers car ces fichiers sont accompagnés d'autres fichiers que l'explorateur de Windows, s'il est utilisé, ne permet pas de les effacer automatiquement. ArcCatalog 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.

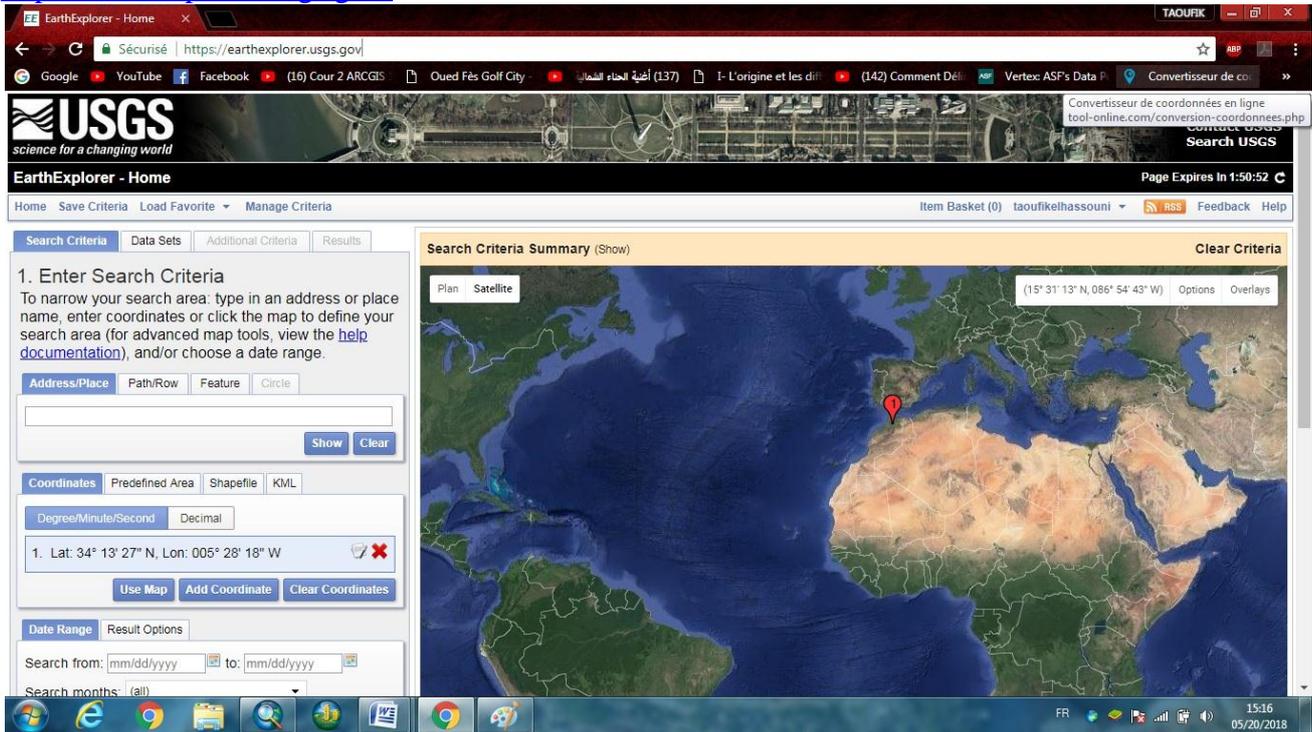
3-2 Le démarche suivi:

Géo-référencement de la carte BENI-AMMAR :



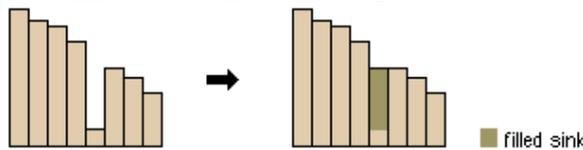
Téléchargement de l'MNT :

Pour une résolution de 30 mètre, on utilise le téléchargement à partir de site suivant : <https://earthexplorer.usgs.gov/>.



Remplissage :

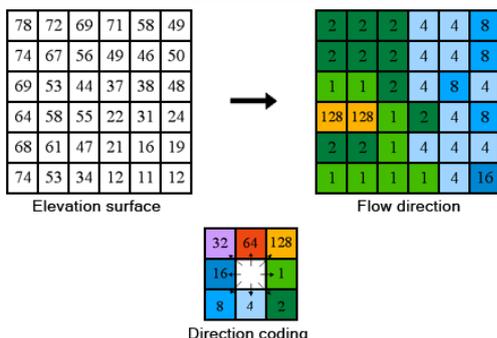
L'outil remplissage permet d'employer les fonctionnalités de plusieurs outils, notamment Flux focal, Direction de flux, Cuvette, Bassins versants et Remplissage zonal pour identifier les cuvettes et les remplir. L'opération se répète jusqu'à ce que toutes les cuvettes dans la limite Z soient remplies.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



Profil d'une cuvette avant et après le remplissage

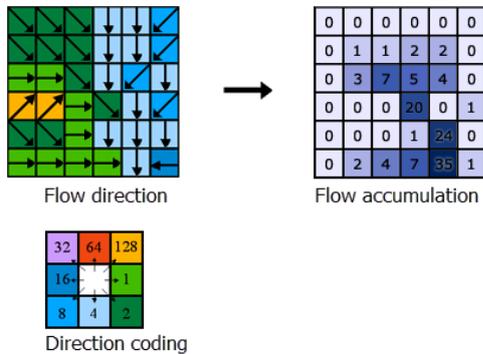
Direction de flux :

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 :

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.



Les étapes suivies pour la délimitation du bassin versant sur ArcGIS:

I-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**

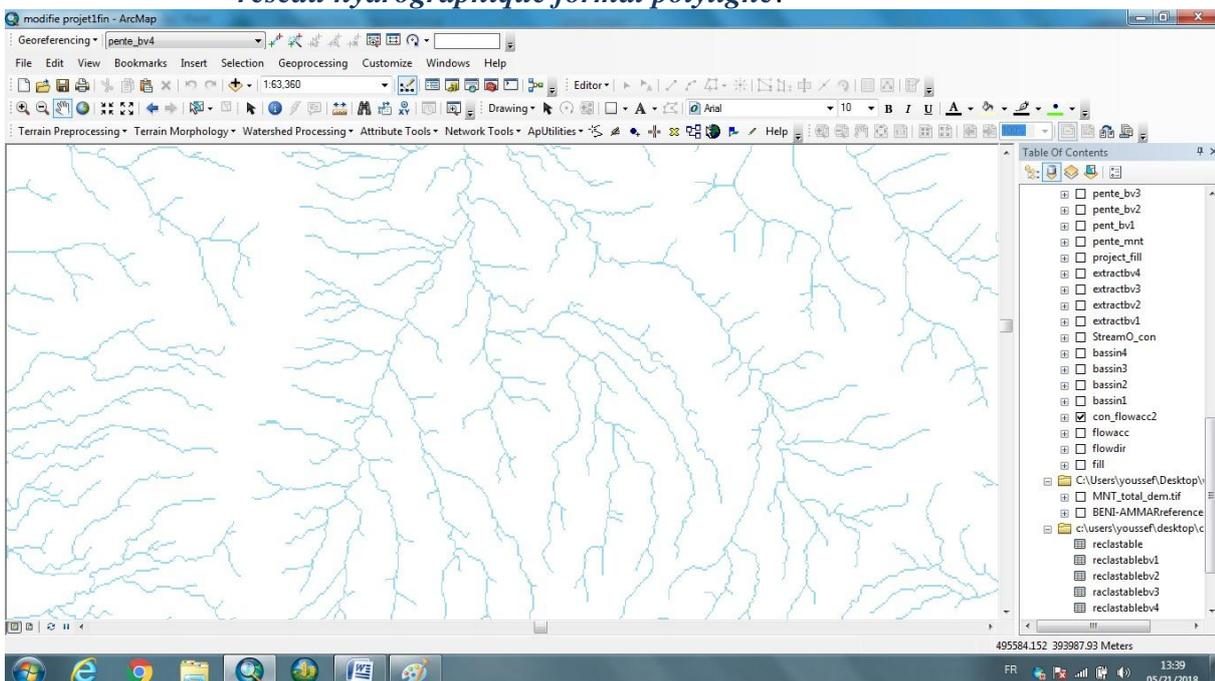
➤ **Conditional**

-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 »
- ✓ **réseau hydrographique format polyligne.**



I- *Arc catalogue: pour choisir l'exutoire en clique sur :*

➤ **New shapeFile**

- a- Point-editor "N.SHP" → Add.
- b- Editor → Start-editing.
- c- Make a point → Exutoire (digitalisation du point de l'exutoire de la zone d'étude).
- d- Save → Stop editing.

II- *Arc toolbox: pour délimiter le bassin versant avec leurs réseaux hydrographiques.*

1- **Spatial analyst tools :**

➤ **Hydrology**

- **Watershed** « 1- Flow direction;
2- Point;
3- Ok ».

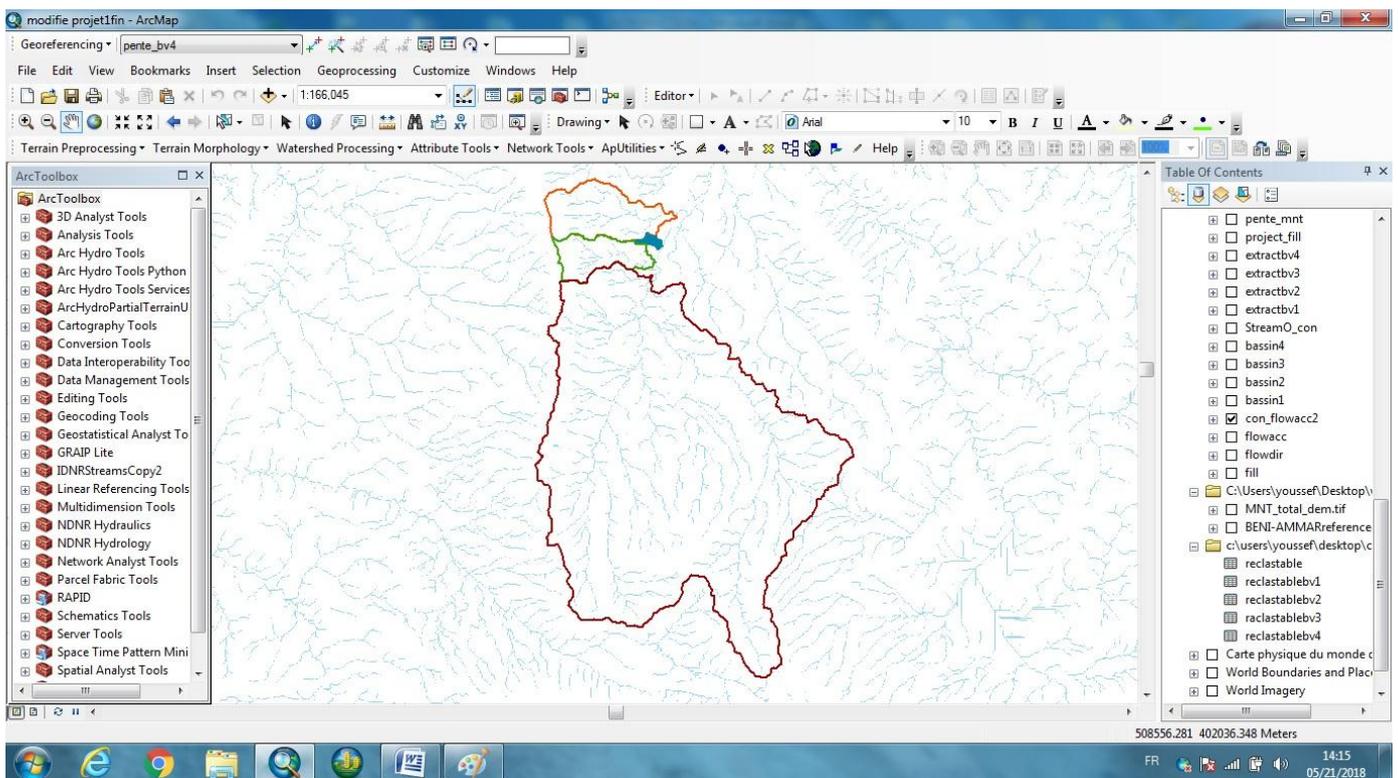
2- **Conversion tools:**

➤ **From Raster**

- **Raster to polygon** « 1- watershed-Flow
2- Ok ».



Bassin versant Bien délimité.



La délimitation des 4 bassins versants est faite avec l'outil ArcGIS.

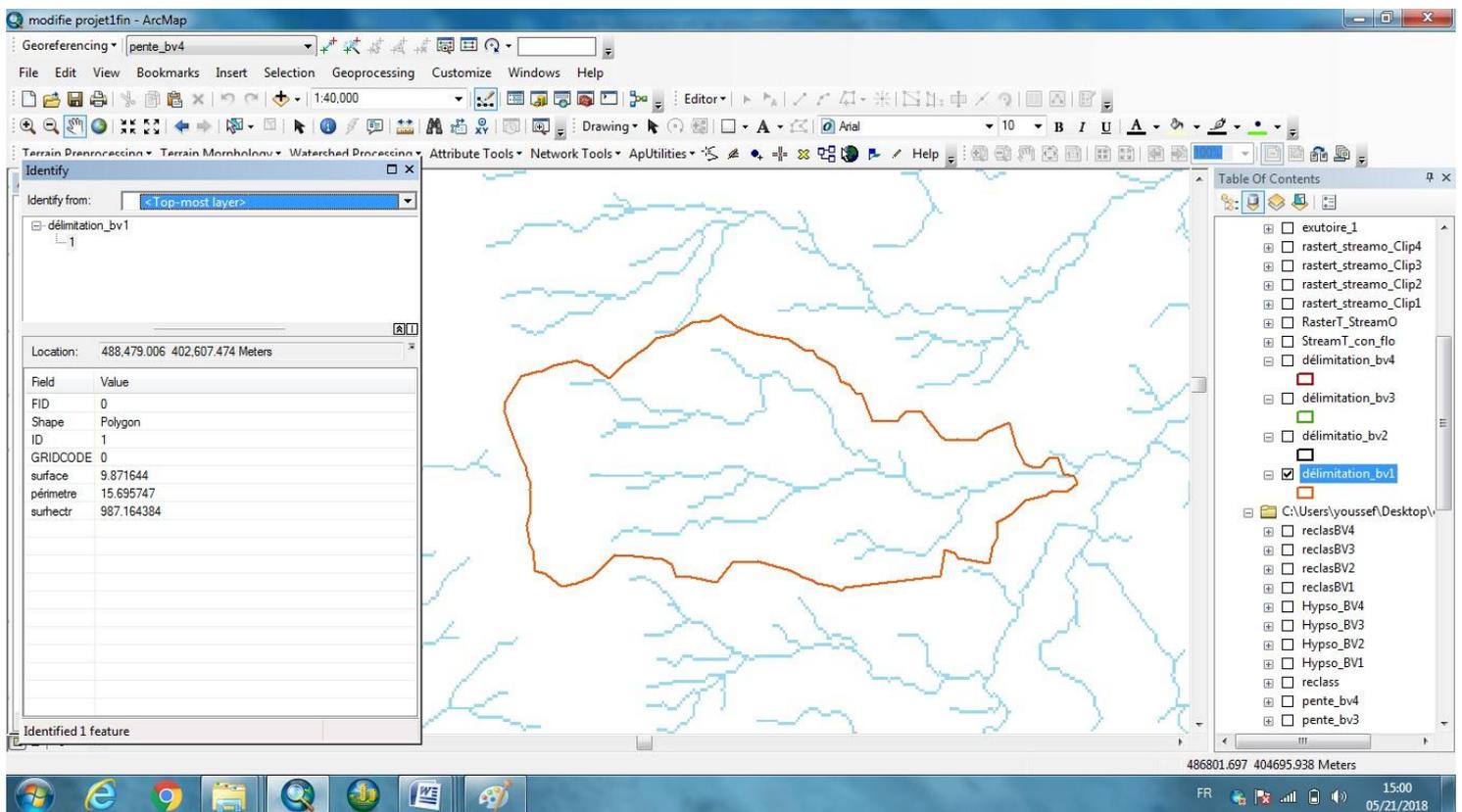
4- Propriété du bassin versant:

Grace aux outils d'ARCGIS, nous avons procédé à l'élaboration des différentes cartes des réseaux hydrographiques, des pentes, hypsométriques.

Bassin de Chaâba Boutmim (bassin versant 1) :

Cette Chaâba affluent rive droite de l'oued Zeggota s'écoule de l'Ouest vers l'Est en drainant un bassin versant de superficie 9.87km² et de longueur 5.9 km. Elle traverse la RN13 et se dirige vers le douar Aazib Nihi pour rejoindre l'oued Zeggota à l'aval du douar.

À l'amont de la RN 13, le bassin versant de la Chaâba Boutmim est quasi-rural. Il présente un lit bien marqué, ses berges sont couvertes de végétations. La Chaâba ne présente pas de risques d'inondations à ce niveau.



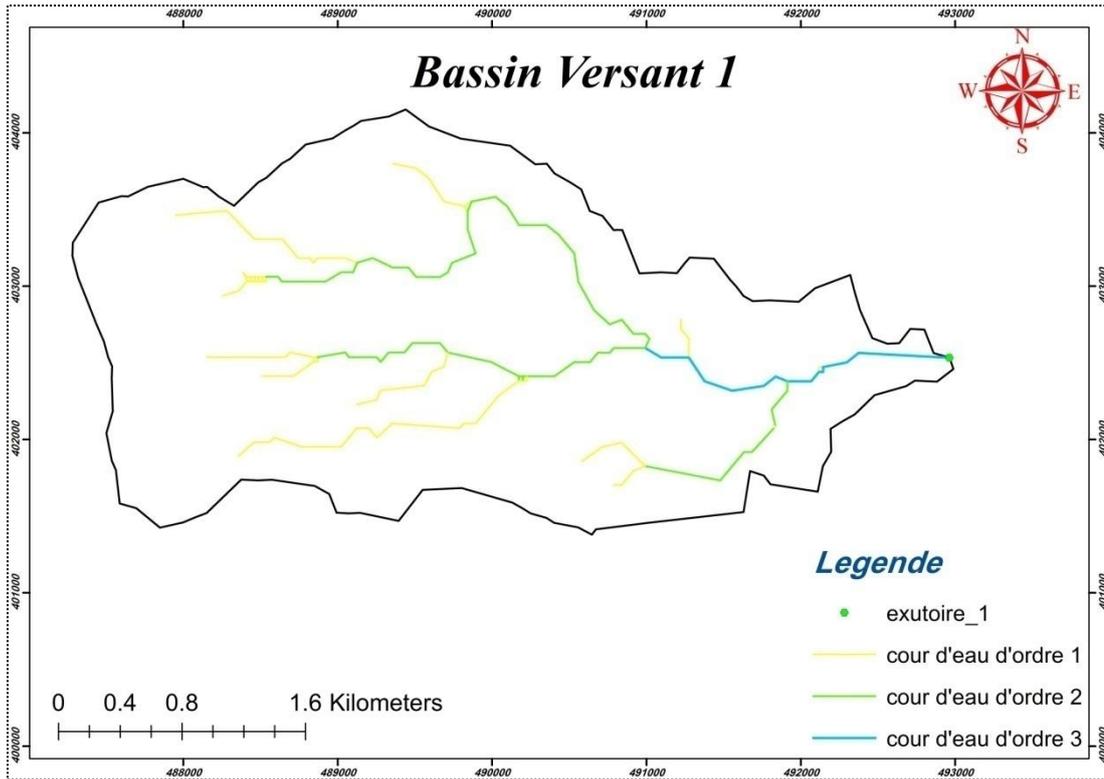
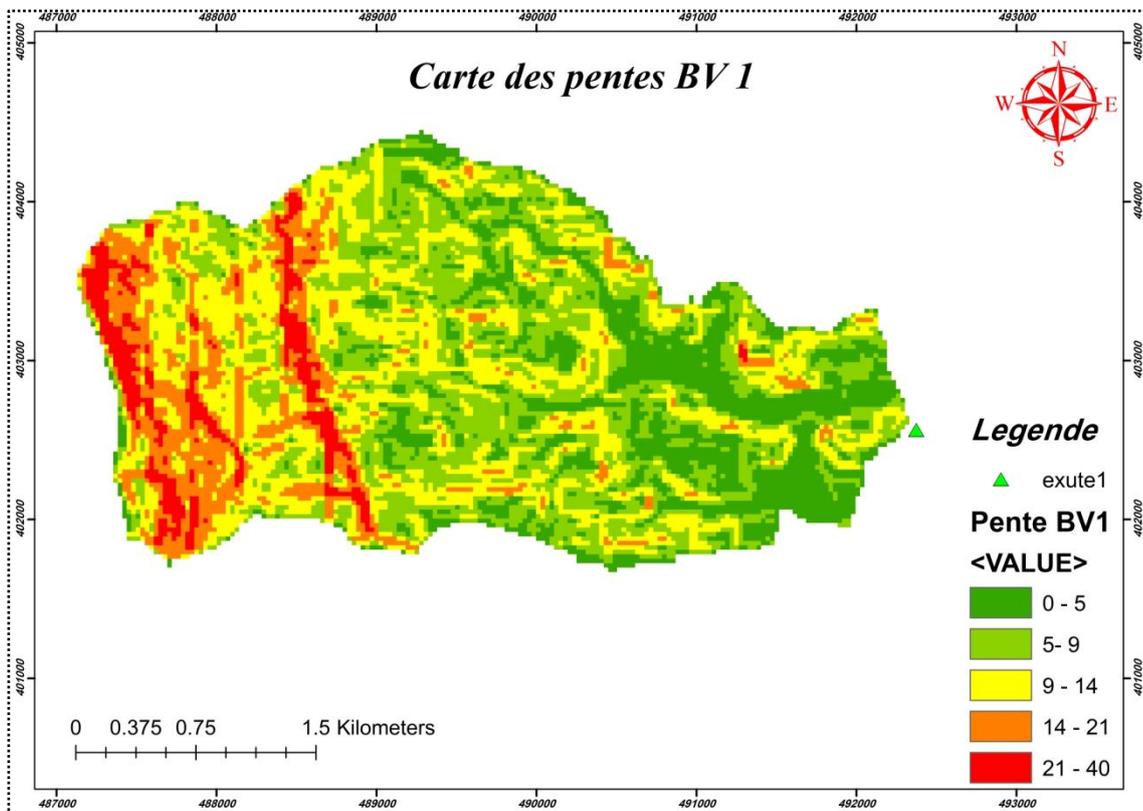


Figure 6: la délimitation et l'ordre du bassin versant 1.

Figure 7: Carte des pentes du bassin versant 1.



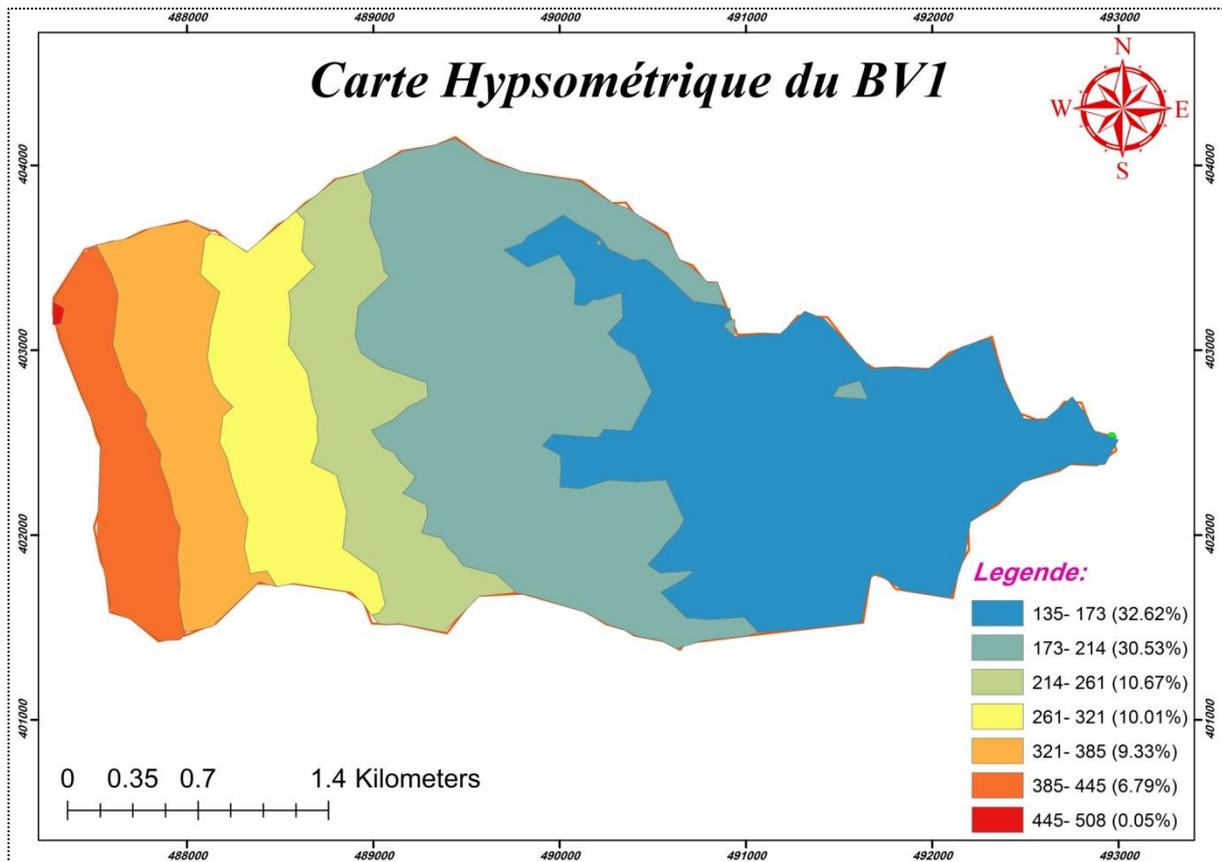


Figure 8: Carte Hypsométrique du bassin versant 1.

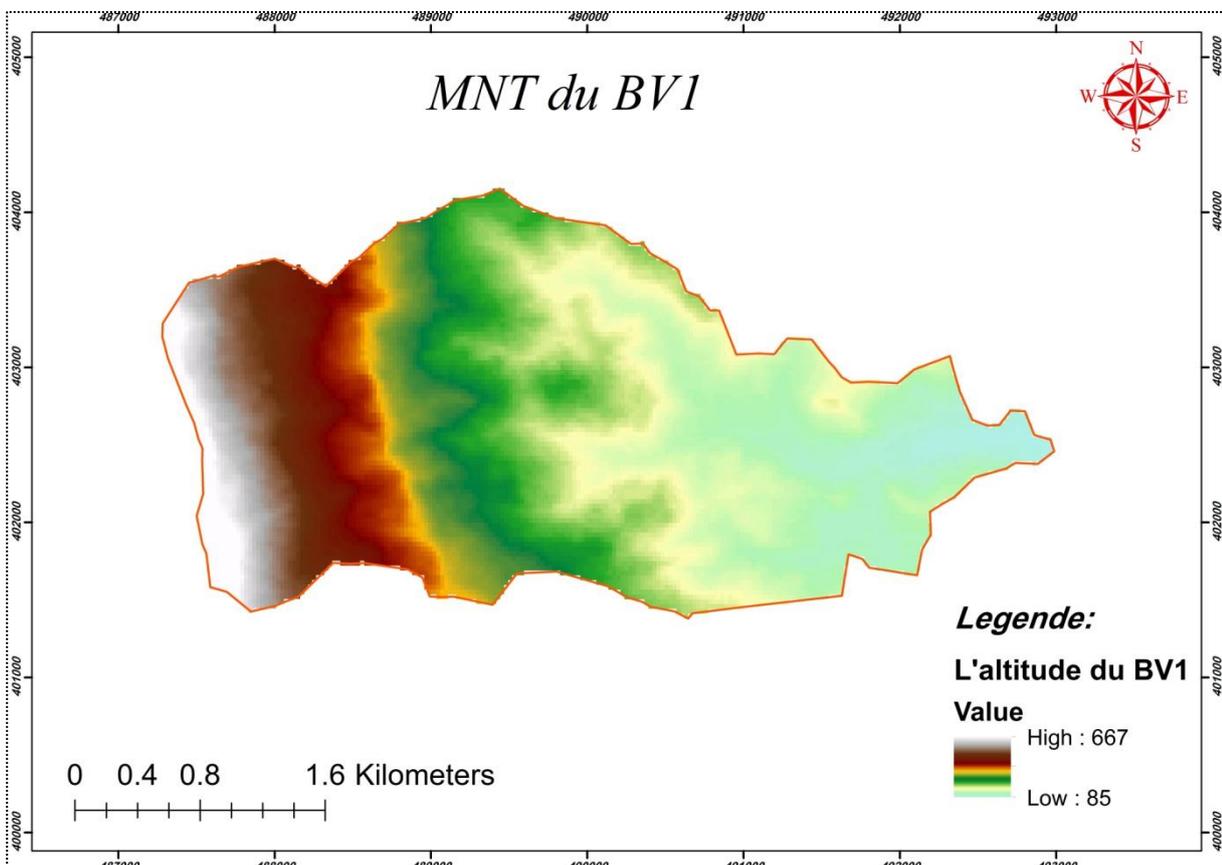


Figure 9: MNT du bassin versant 1.

La carte hypsométrique (Fig.7) montre que 32% de la superficie du bassin est caractérisée par une altitude entre 135 m et 173 m.

Le MNT du bassin versant de Chaâba Boutmim(Fig.8) présente une altitude qui varie de 85 m comme altitude minimale à 667 m comme altitude maximale. La pente (Fig.6) varie de 0 à 45 %, et on note une concentration des pentes fortes principalement dans l'ouest du bassin.

Bassin de Chaâba Mellah (bassin 2) :

Cette Chaâba affluent rive droite de l'oued Zeggota s'écoule de Sud-ouest vers le Nord-est en drainant un bassin versant de superficie 0.41 km² et de longueur 0.75 km. Elle traverse la RN13 et se dirige vers l'oued Zeggota en traversant des parcelles agricoles.

À l'amont de la RN 13, le bassin versant de la Chaâba Mellah est quasi-rural, ses berges sont dégagées et son lit est bien marqué. La Chaâba présente deux branches, une première branche située plus au Sud et dont le lit trace un méandre, et une deuxième branche moins importante qui se dirige directement vers l'ouvrage de la RN13.

Lors de la visite de terrain, il a été remarqué que la première branche de la Chaâba déborde au niveau du méandre sur la route, c'est ce qui justifie l'emplacement des remblais mis en place pour empêcher ce débordement. Juste à l'aval de ce point, et avant de rejoindre la deuxième branche, le lit de la Chaâba est relativement plat.

Par ailleurs, il importe à noter que l'existence d'une piste qui longe la route RN13 favorise le transport des eaux de crues de la Chaâbat Mellah au centre.

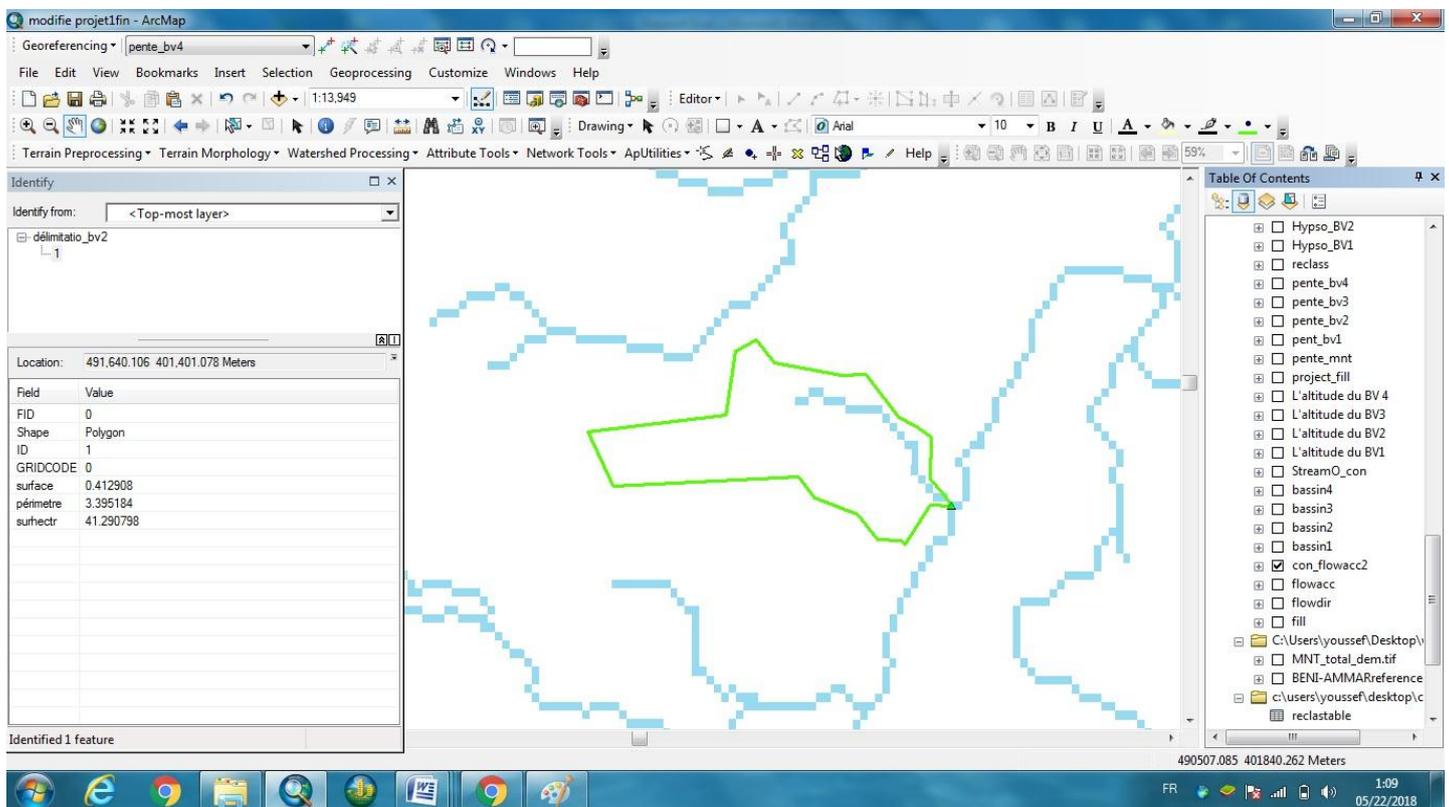


Figure 10: Délimitation du BV2 et son ordre :

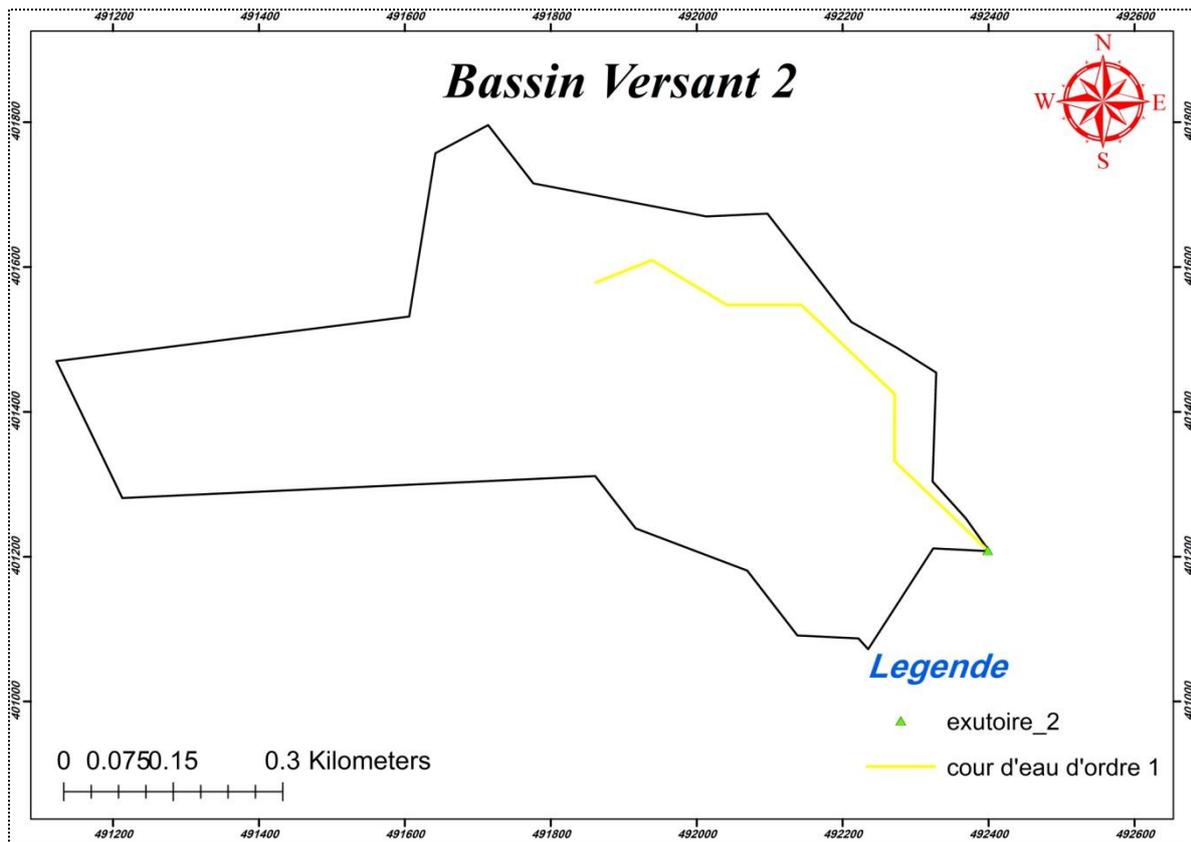


Figure 11:carte des pentes du BV2 :

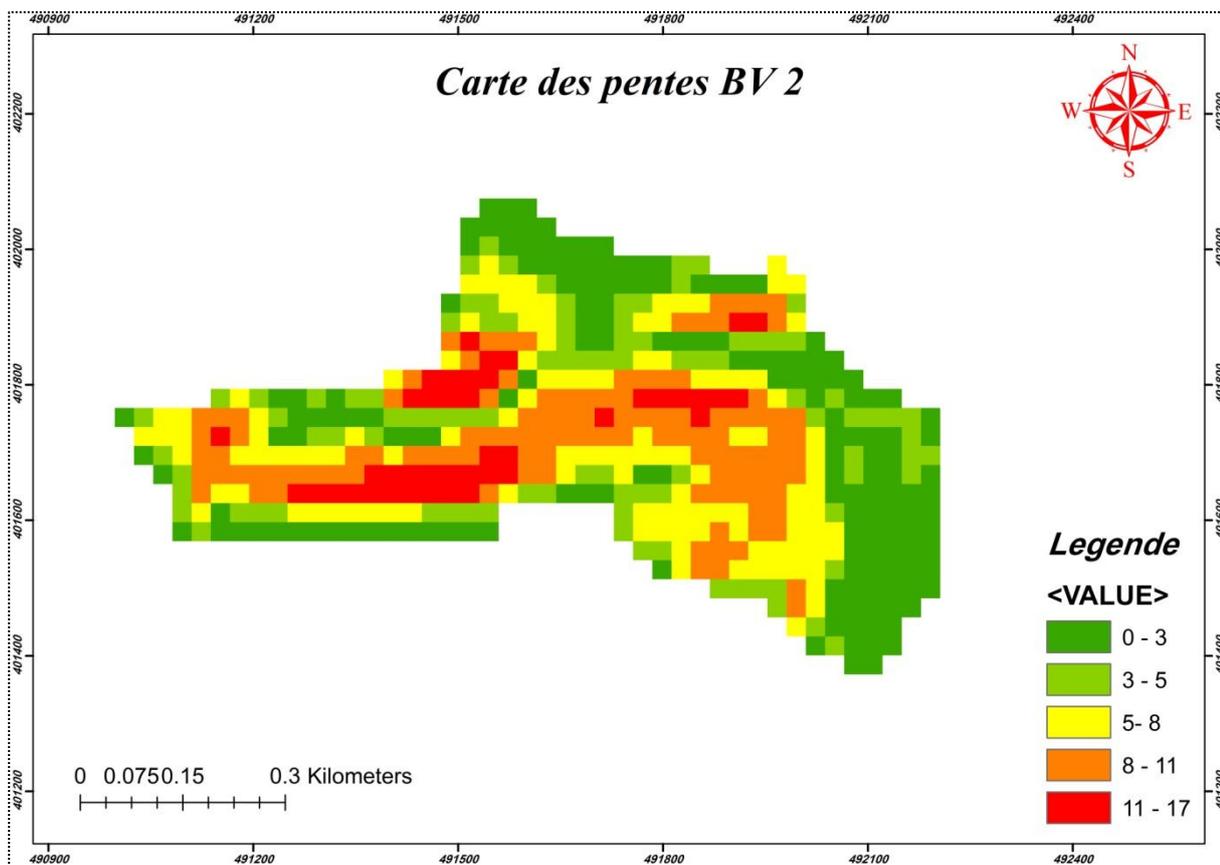


Figure 12:carte des pente du BV2

Figure 13: Carte Hypsométrique du bassin versant 2.

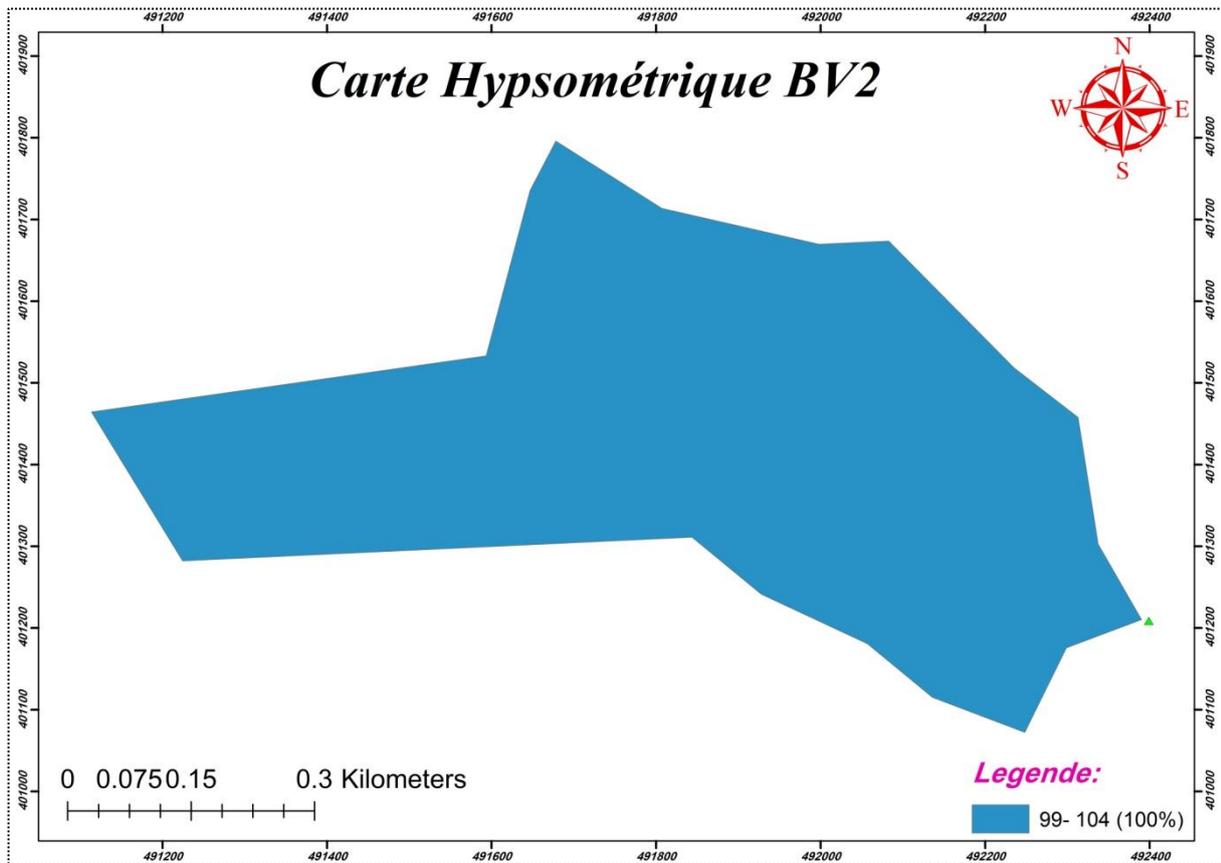
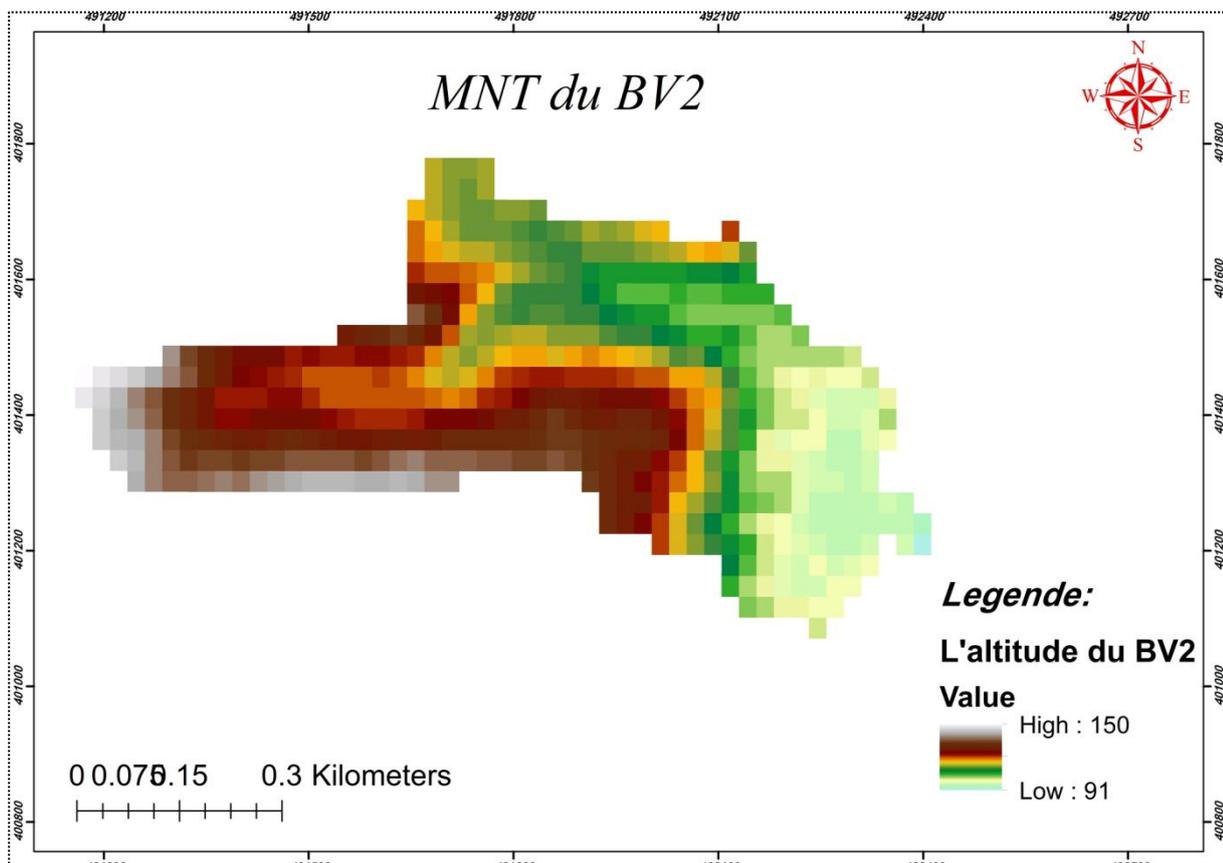


Figure 14: MNT du Bassin versant 2.



La carte hypsométrique (Fig.11) montre que 100% de la superficie du bassin est caractérisée par une altitude entre 99 m et 104 m.

Le MNT du bassin versant 2(Fig.12) présente une altitude qui varie de 91 m comme altitude minimale à 150 m comme altitude maximale. La pente (Fig.10) varie de 0 à 17 %, et on note une concentration des pentes moyennement fortes principalement dans le centre du bassin.

Bassin versant 3 :

Figure 15: Délimitation du bassin versant 3 et son ordre.

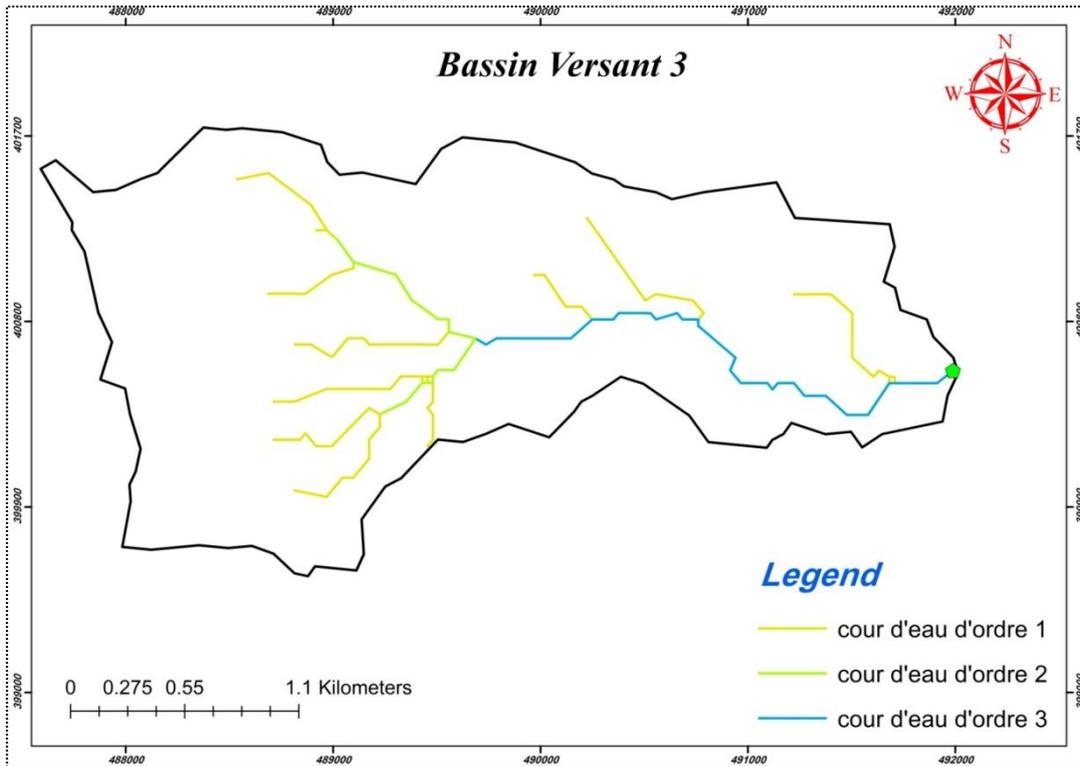


Figure 16: carte des pentes du bassin versant 3.

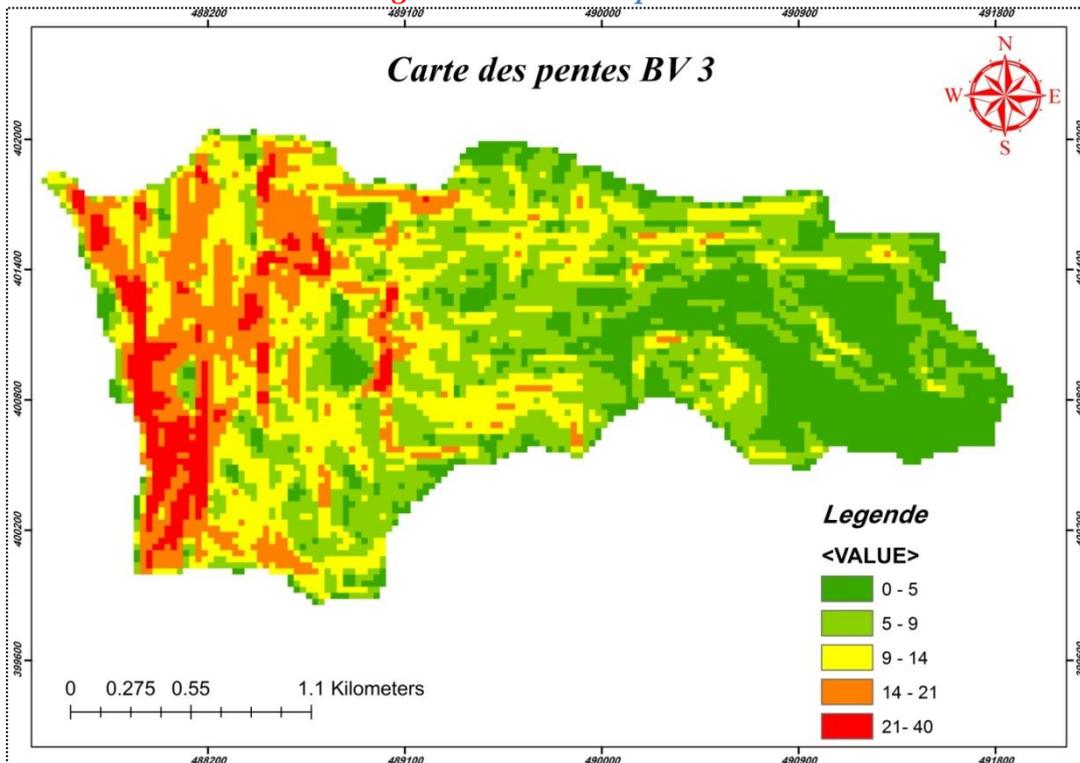


Figure 17: Carte hypsométrique du bassin versant 3.

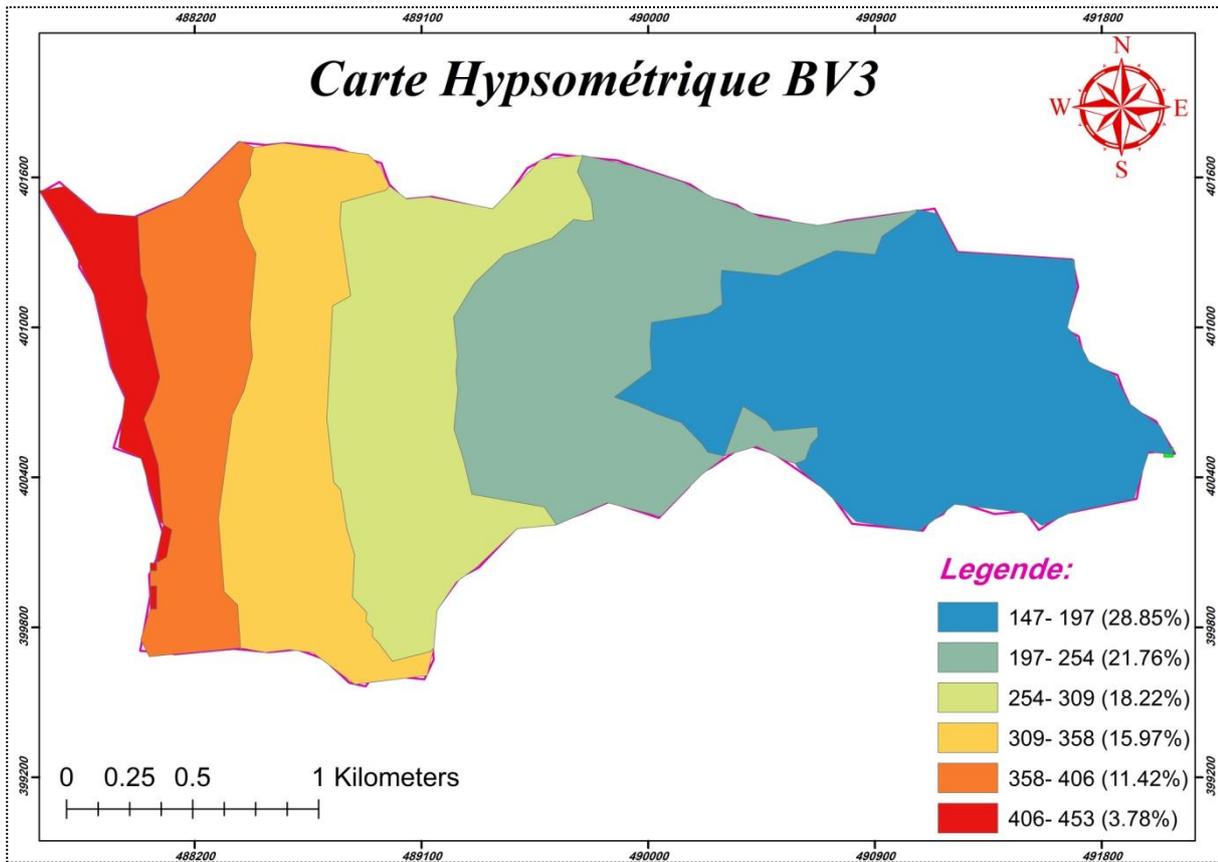
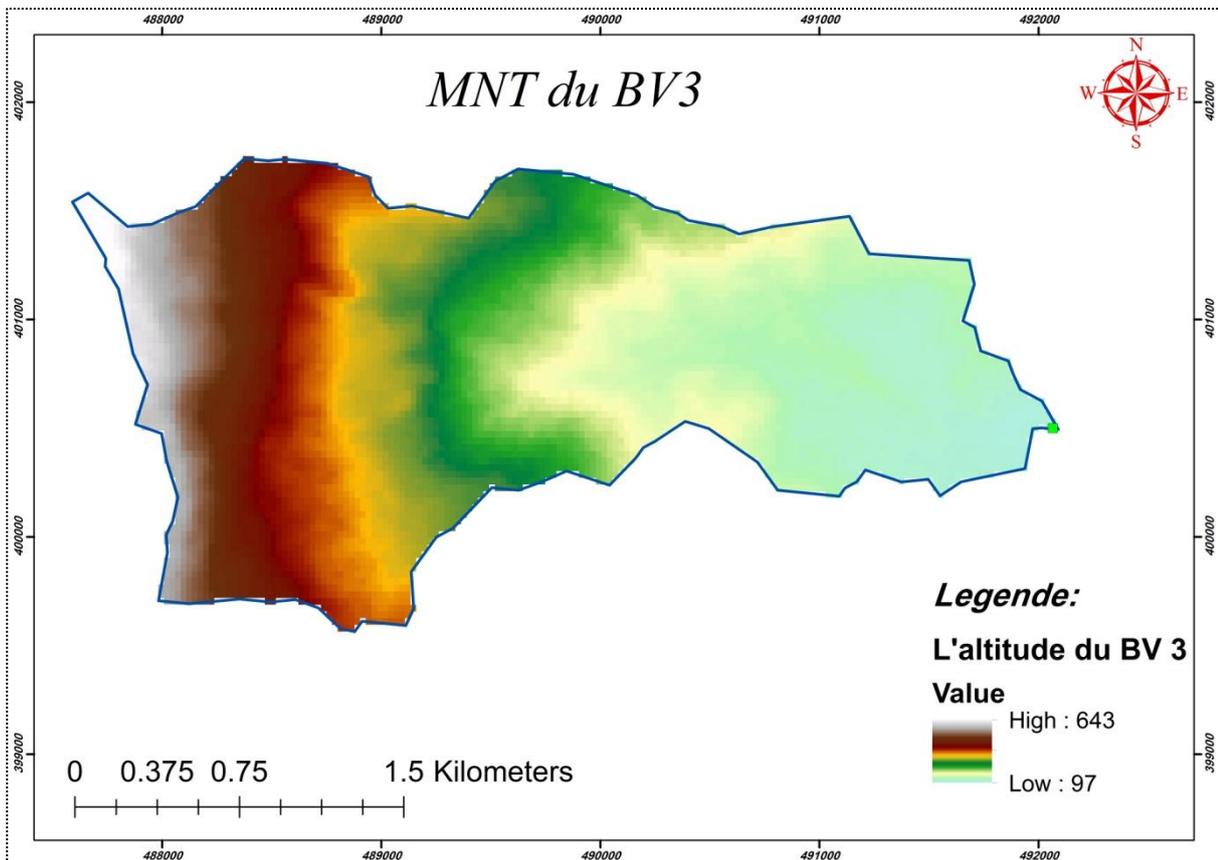


Figure 18: MNT du bassin versant 3.



La carte hypsométrique (Fig.15) montre que 28% de la superficie du bassin est caractérisée par une altitude entre 147 m et 197 m.

Le MNT du bassin versant (Fig.16) présente une altitude qui varie de 97 m comme altitude minimale à 643 m comme altitude maximale. La pente (Fig.14) varie de 0 à 40%, et on note une concentration des pentes fortes principalement dans l'ouest du bassin.

Bassin de l'Oued Zeggota (bassin 4) :

L'oued Zeggota est le plus important cours d'eau qui traverse le centre, il traverse la RN 13 en amont de Selfat et longe la RN 13 jusqu'à l'aval ou son lit s'éloigne de la commune en se dirigeant vers l'Est. Il draine un bassin versant de superficie 141.68 km² et d'une longueur de 23.85 km.

En amont de la RN 13, le bassin versant de l'oued Zeggota présente un lit bien marqué à sections variables et méandriforme, ses berges sont occupées principalement par les parcelles agricoles. D'après les témoignages recueillis sur place, l'oued déborde du côté de la rive droite au niveau du méandre situé juste en amont de la RN13 en périodes pluvieuses, ce qui contribue à l'inondation du centre.

A l'aval de la RN 13, l'oued Zeggota ne présente aucun risque d'inondations au centre.

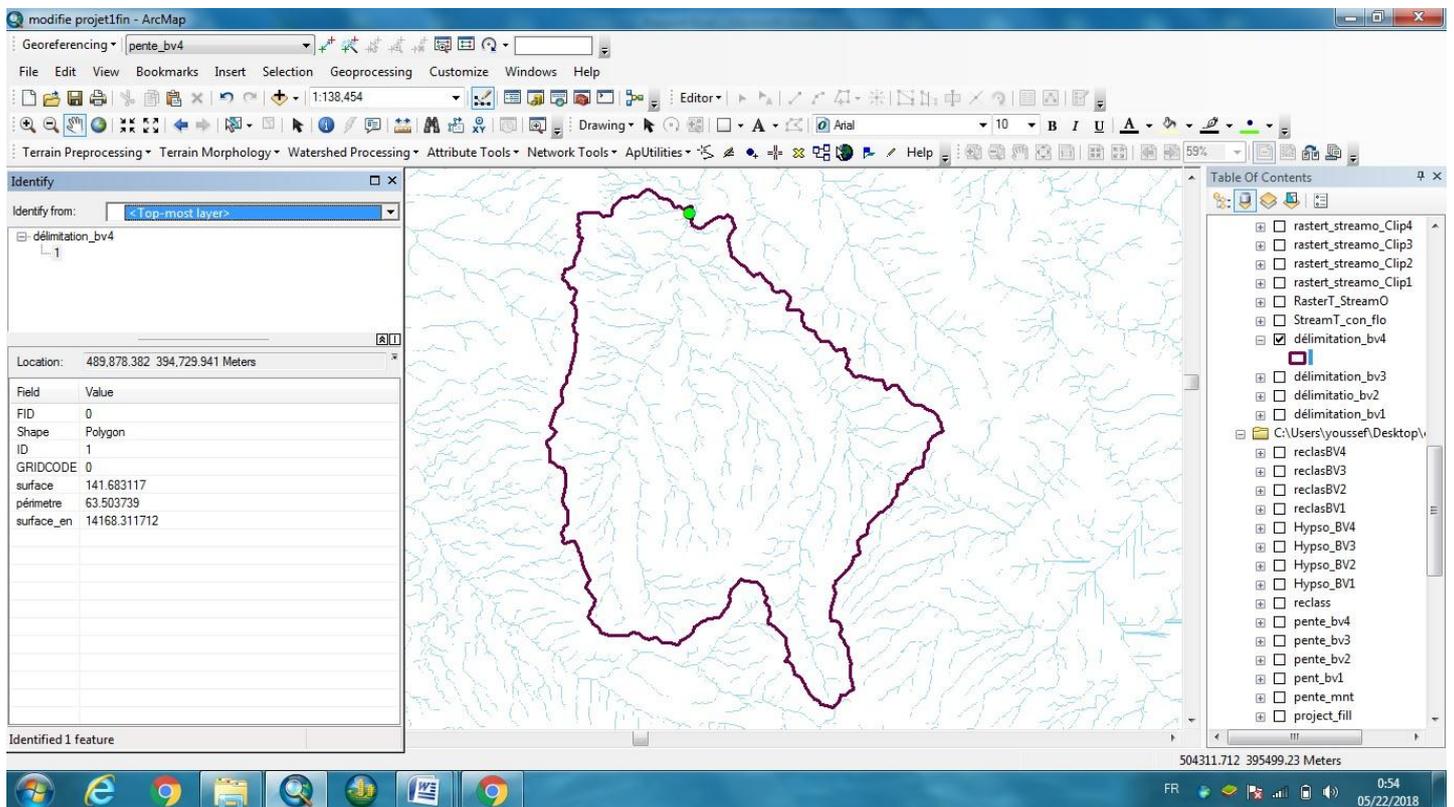


Figure 19: Délimitation et ordre du bassin versant 4.

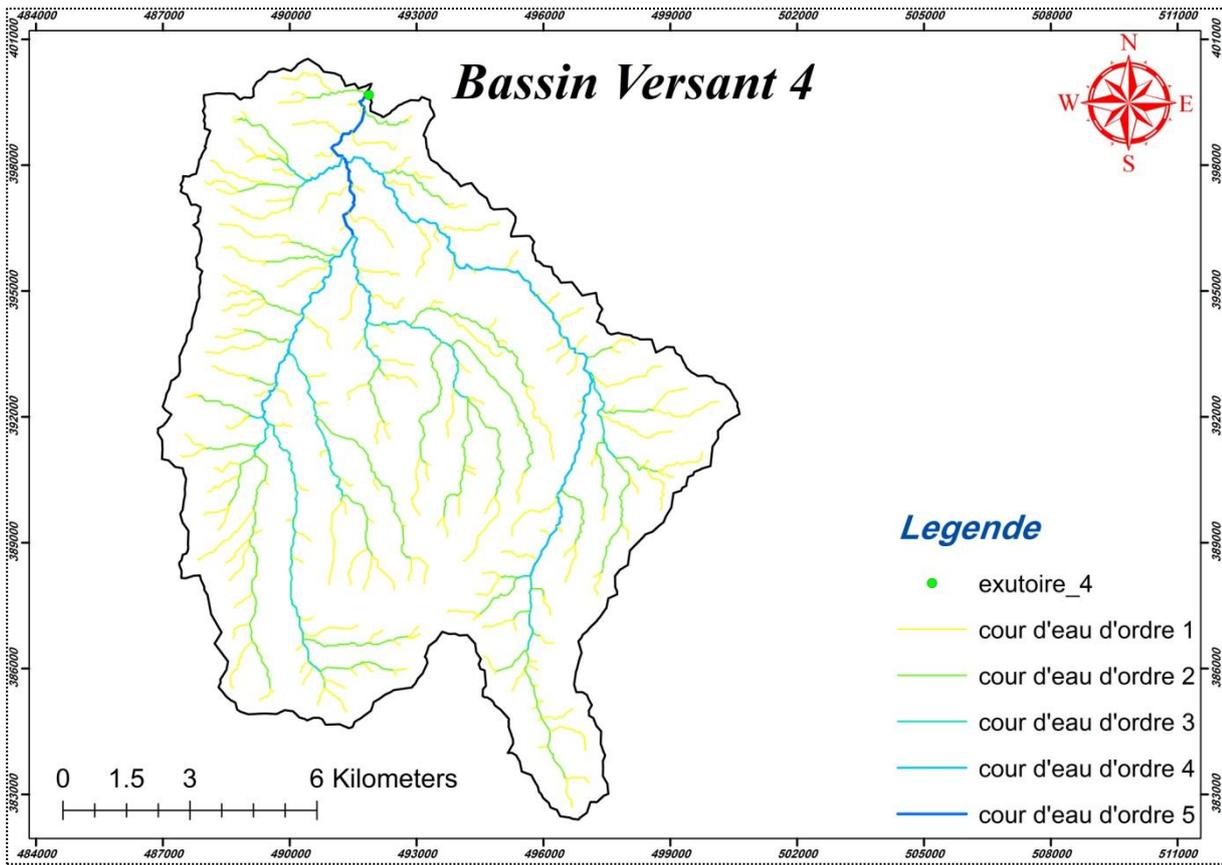


Figure 20.: Carte des pentes du bassin versant 4.

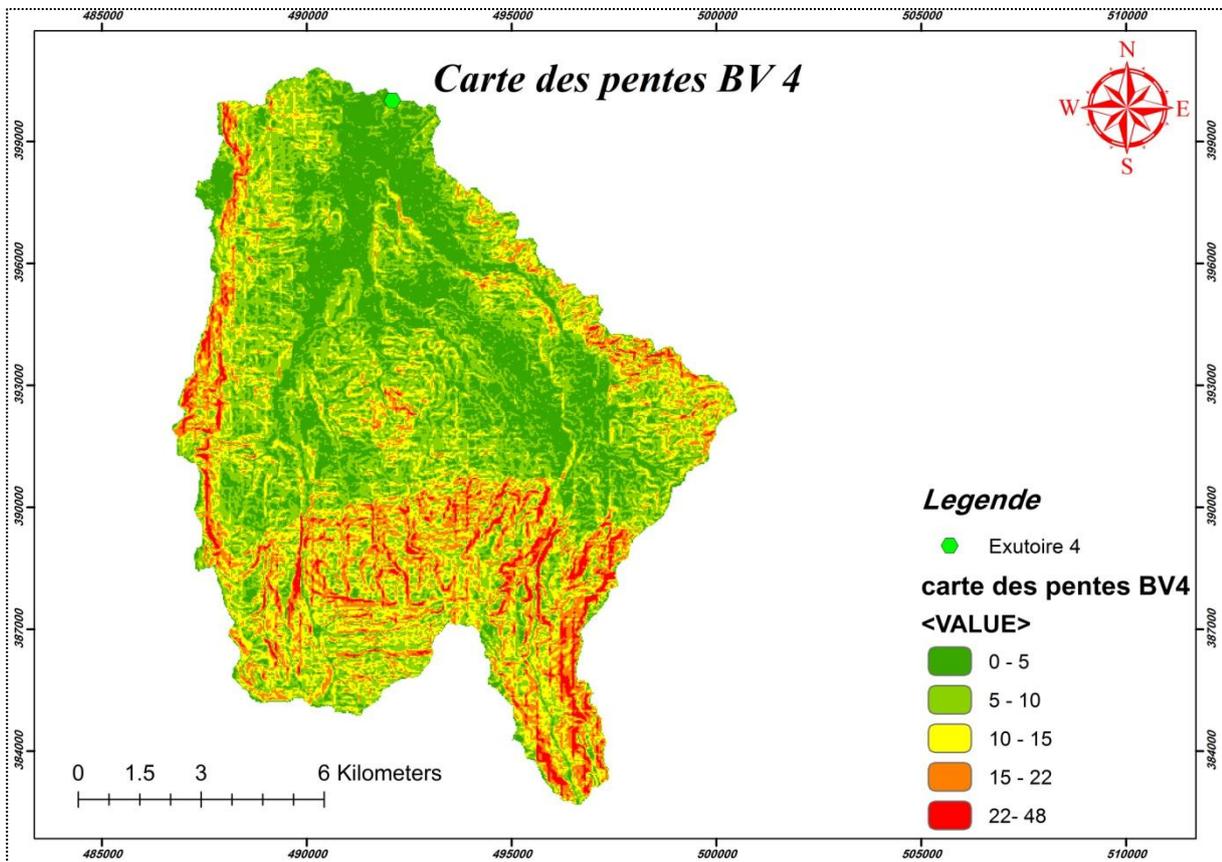


Figure 21: Carte Hypsométrique du bassin versant 4.

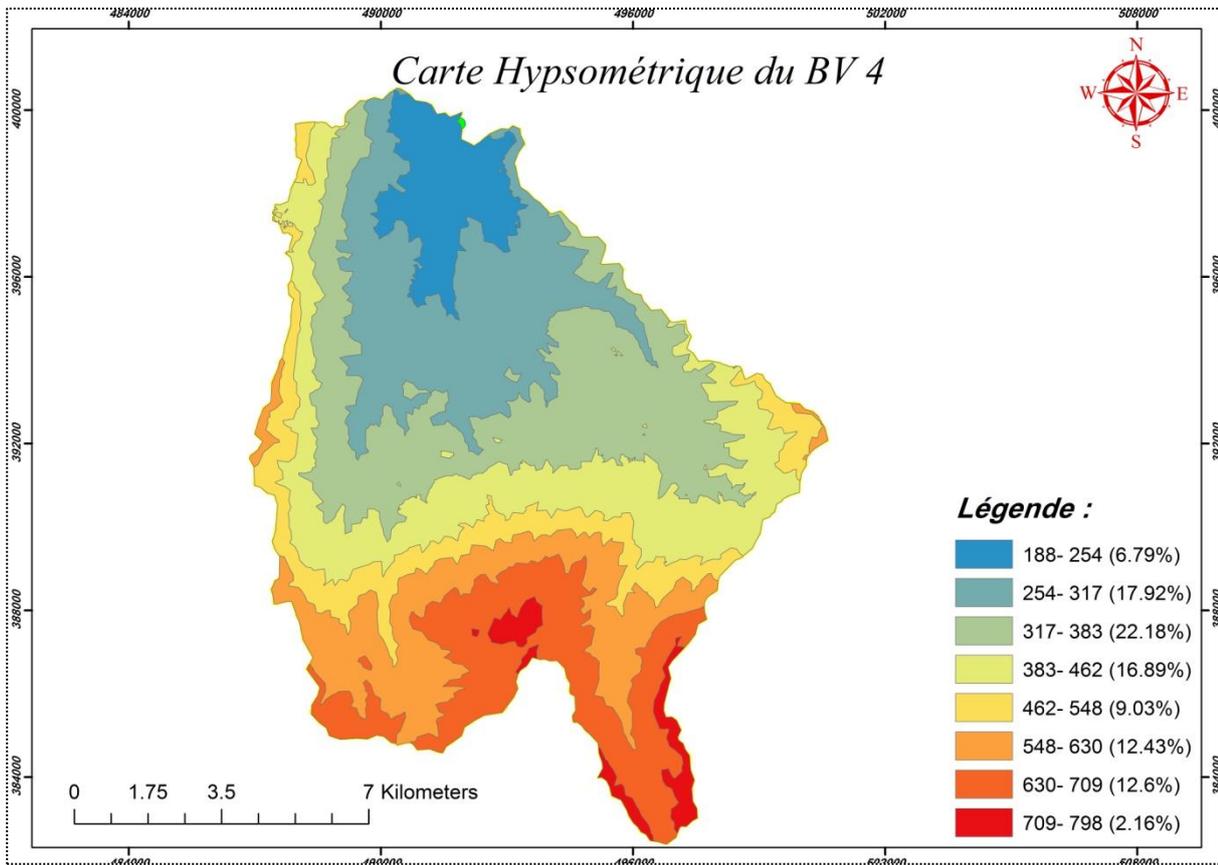
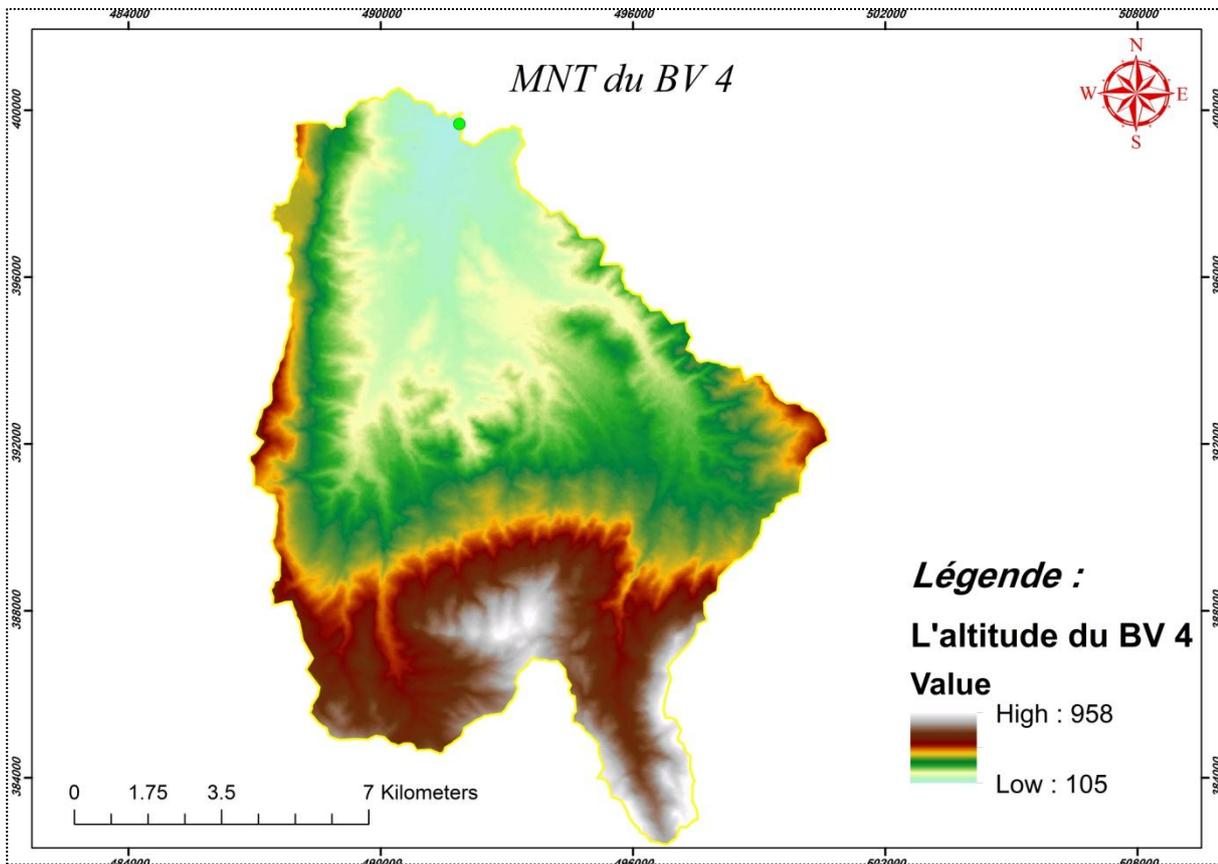


Figure 22: MNT du bassin versant 4.



La carte hypsométrique (Fig.19) montre que 22% de la superficie du bassin est caractérisée par une altitude entre 317m et 383 m.

Le MNT du bassin versant (Fig.20) présente une altitude qui varie de 105 m comme altitude minimale à 958 m comme altitude maximale. La pente (Fig.18) varie de 0 à 48 %, et on note une concentration des pentes fortes principalement dans le Sud du bassin versant.

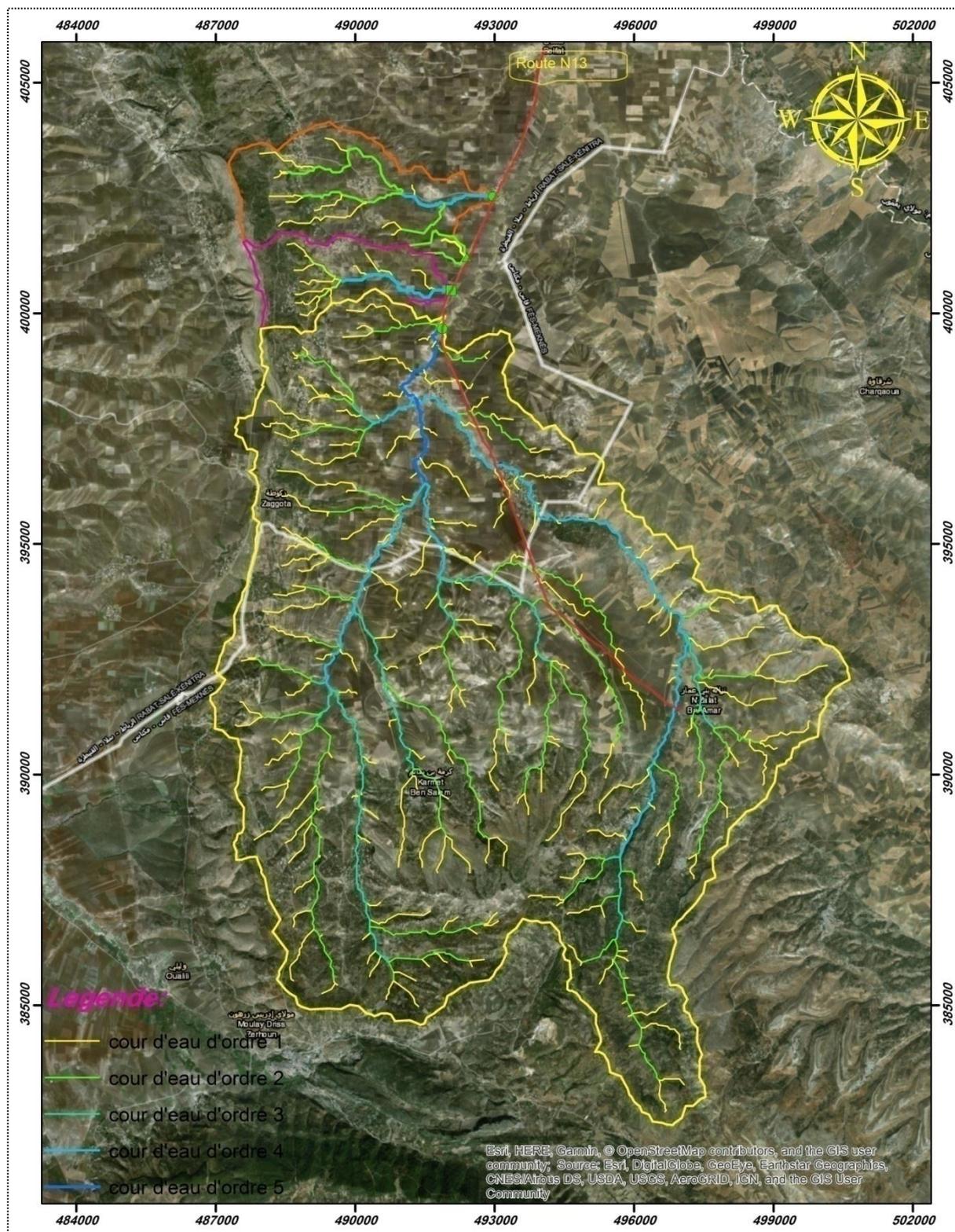
1. Tableau récapitulatif des propriétés des bassins versants étudiés :

<i>Caractéristiques des BV</i>						
<i>N° BV</i>	<i>Surface</i>	<i>Longueur</i>	<i>Pente</i>	<i>Périmètre</i>	<i>Dénivelée</i>	<i>Indice de compacité</i>
	<i>km²</i>	<i>Km</i>	<i>%</i>	<i>[Km]</i>	<i>[m]</i>	
<i>BV1</i>	9.87	5.9	7.66	15.69	452	1.39
<i>BV2</i>	0.41	0.75	6	3.39	45	1.48
<i>BV3</i>	5.66	4.37	8.85	12.80	387	1.5
<i>BV4</i>	141.68	23.85	2.33	63.5	657	1.49

2. Tableau récapitulatif des coordonnées métriques d'exutoires :

<i>N° BV</i>	<i>Coordonnée métrique de l'exutoire</i>
<i>BV1</i>	<i>X=492392, Y=402562</i>
<i>BV2</i>	<i>X=492360, Y=401247</i>
<i>BV3</i>	<i>X= 491989, Y=400562</i>
<i>BV4</i>	<i>X= 492090, Y=400007</i>

Figure 23: Carte satellitaire des 4 bassins étudiée



La carte ci-dessus montre les 4 bassins versants avec leurs exutoires qu'on a choisis comme origines la route nationale N 13.

Chapitre II : Calcule hydrologique à partir de la délimitation à l'aide de l'outil Arc Gis 10.3

Généralités

Vocabulaire :

Hydrologie : Science qui traite des eaux situées à la surface de la terre.

- De leur formation, de leur circulation, de leur distribution dans le temps et dans l'espace, de leur caractéristique.
- De leurs propriétés biologiques, physiques, chimiques et de leur interaction avec l'environnement y compris avec les êtres vivants.

⇒ Précipitation, ruissellement, nappes, rivières, crues...

Hydraulique : Science rattachée à la mécanique des fluides qui traite de l'écoulement de l'eau (ou d'autres liquides) dans ouvrages naturels ou construits par l'homme

⇒ Conduites, canaux, vannes, buses, déversoirs, pompes, rivières...

- **Les trois phases d'une étude de protection contre les inondations :**

- 1- Le diagnostic du bassin (limites de BV, occupation du sol, pente, géologie, pédologie, enjeux inondés, pluie et crue observées...)
- 2- Calculs et modélisation hydrologiques et hydrauliques (choix de la pluie, choix des méthodes de calculs, choix de logiciel utilisé pour la modélisation, choix des scénarii simulés...)
- 3- Proposition d'aménagements (choix des sites potentiels d'implantation des aménagements, volume de rétention, débit de fuite...)

Le but de l'étude hydrologique est de déterminer les débits des crues pour différentes fréquences au niveau des cours d'eau étudiés.

Afin de déterminer les débits des crues pour chaque bassin de la zone d'étude, et pour différentes fréquences de retours, une approche basée sur les 2 méthodes suivantes a été suivie :

- Approche par les formules empiriques pour le calcul des crues de fréquences rares et notamment de fréquence de retour 1/10ans nécessaires pour la méthode du gradex.
- Utilisation du gradex des pluies à partir du débit de pointe décennal estimé.

1-2 Caractéristiques de la zone de l'étude :

Les bassins qui font l'objet de la présente étude sont au nombre de quatre bassins versants.

INDICE DE COMPACTITE :

$$K_G = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

- k_G : Indice de Gravelius,
- A : Surface du bassin versant (km²),
- P : Périmètre du bassin (km),

Cet indice se détermine à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre du Bassin versant et sa surface. K_G proche de 1 pour un bassin versant de forme presque **Circulaire** et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme **allongée**.

Dénivelée :

$$Dénivelée = Alt_{max} - Alt_{min}$$

- **Altitude maximale et minimale**

Elles sont obtenues directement à partir de l'MNT de chaque bassin. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale indique le point le plus bas, se trouvant généralement à l'exutoire.

Pente :

$$Pente = \frac{Alt_{max} - Alt_{min}}{L}$$

Pente : La pente moyenne du bassin versant en %

ΔH : L'altitude moyenne en (m)

L : La longueur du plus grand cours d'eau en (km)

Surface et Périmètre et longueur du plus grand cours d'eau :

Ces paramètres sont calculés à partir de l'outil Arc GIS.

La délimitation topographique des 4 bassins :

L'examen de la topographie a permis de délimiter les lignes de partage des eaux, identifier les plus longs cours d'eau, les cotes extrêmes ainsi que les autres caractéristiques morphologiques récapitulées dans le tableau suivant :

<i>Caractéristiques des BV</i>						
<i>N° BV</i>	<i>Surface</i>	<i>Longueur</i>	<i>Pente</i>	<i>Périmètre</i>	<i>Dénivelée</i>	<i>Indice de compacité</i>
	<i>km²</i>	<i>km</i>	<i>%</i>	<i>[Km]</i>	<i>[m]</i>	
<i>BV1</i>	<i>10.27</i>	<i>5.98</i>	<i>8.11</i>	<i>16.21</i>	<i>485</i>	<i>1.43</i>
<i>BV2</i>	<i>0.86</i>	<i>1.96</i>	<i>2.81</i>	<i>4.66</i>	<i>55</i>	<i>1.42</i>
<i>BV3</i>	<i>5.22</i>	<i>4.74</i>	<i>6.94</i>	<i>12.89</i>	<i>329</i>	<i>1.59</i>
<i>BV4</i>	<i>141.38</i>	<i>27.48</i>	<i>2.34</i>	<i>61.38</i>	<i>643</i>	<i>1.46</i>

Tableau 1: Paramètres des bassins versants obtenue à partir de la délimitation sur carte topographique

La délimitation avec l'outil ArcGIS des 4 bassins :

La délimitation avec l'outil ArcGIS nous a permis de sortir avec les résultats illustres dans le tableau suivant :

<i>Caractéristiques des BV</i>						
<i>N° BV</i>	<i>Surface</i>	<i>Longueur</i>	<i>Pente</i>	<i>Périmètre</i>	<i>Dénivelée</i>	<i>Indice de compacité</i>
	<i>km²</i>	<i>Km</i>	<i>%</i>	<i>[Km]</i>	<i>[m]</i>	
<i>BV1</i>	<i>9.87</i>	<i>5.9</i>	<i>7.66</i>	<i>15.69</i>	<i>452</i>	<i>1.39</i>
<i>BV2</i>	<i>0.41</i>	<i>0.75</i>	<i>6</i>	<i>3.39</i>	<i>45</i>	<i>1.48</i>
<i>BV3</i>	<i>5.66</i>	<i>4.37</i>	<i>8.85</i>	<i>12.80</i>	<i>387</i>	<i>1.5</i>
<i>BV4</i>	<i>141.68</i>	<i>23.85</i>	<i>2.33</i>	<i>63.5</i>	<i>657</i>	<i>1.49</i>

Tableau 2: les paramètres des bassins versants retenu à partir de la délimitation sur ArcGIS 10.3

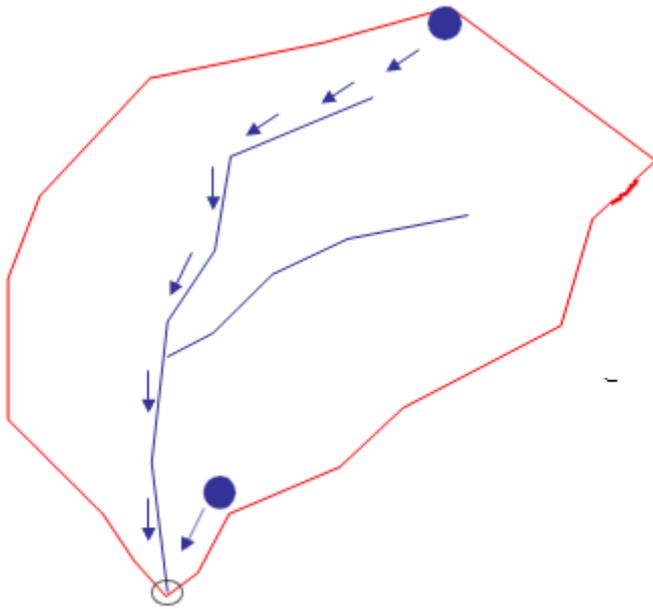
Remarque :

La comparaison des résultats obtenue par la délimitation sur carte topographique et l'autre à l'aide de la délimitation sur ArcGIS montre qu'il y a une grande différence lorsqu'on a un bassin versant inférieur à 100 hectares, à cause de la résolution de l'MNT choisi qui montre une seule élévation dans un pixel de 30*30m ce n'est pas suffisant pour la délimitation d'un bassin versant de ce type (BV2); ainsi que les résultats obtenus pour les grands bassins supérieurs à 100 hectares sont un peu près égaux.

Conclusion:

D'après les résultats trouvés dans le tableau 2, on constate que les indices de compacité des 4 bassins versants sont supérieurs à 1, cela signifie qu'ils ont une forme allongée, ce qui provoque les faibles débits de pointe de crues à cause du retard de transfert de l'eau à l'exutoire.

Calcul du Temps de Concentration (T_c) :



Définition :

➤ La goutte d'eau qui tombe sur le bassin versant met un temps différent pour atteindre l'exutoire selon le point où elle est tombée

Le temps nécessaire pour que tout le bassin versant contribue au ruissellement est appelé:

Temps de Concentration (TC)

Ce paramètre est déterminé par des formules empiriques largement utilisées au Maroc et qui sont présentées et expliquées ci-après :

I-Giandotti:

$$T_c = 60 * (4 * S^{0,5} + 1,5 * L) / (0,8 * H^{0,5})$$

T_c : en minute

S : Surface en km^2

L : longueur de plus
Cour d'eau en Km

H : dénivelée en m

II-Turrazza & Passini :

$$T_c = 60 * 0,108 * (L*S)^{0,333} * I^{-0,5}$$

• T_c : en minute

• S : en km^2

• L : en km

• I : Pente moyenne en
m/m

III-Ventura :

$$T_c = 76,3 * (S/I)^{0,5}$$

• T_c : en
minute

• S : Surface en
 km^2

• I : Pente
en %

IV-Kirpich :

$$T_c = L^{0,77} * I^{-0,385} / 52$$

• T_c : en minute

• L : Longueur de plus
grand cour d'eau en m

• I : pente en %

Les temps de concentrations calculés par les différentes formules empiriques, ainsi que le T_c retenu sont donnés dans le tableau suivant:

<i>Temps de concentration {h}</i>					
N° BV	<i>Ventura</i>	<i>Kirpich</i>	<i>Turrazza Passini</i>	<i>Giandotti</i>	<i>Valeur retenue (h)</i>
<i>BV1</i>	<i>1.44</i>	<i>0.69</i>	<i>1.51</i>	<i>1.21</i>	<i>1.38</i>
<i>BV2</i>	<i>0.33</i>	<i>0.15</i>	<i>0.29</i>	<i>0.68</i>	<i>0.31</i>
<i>BV3</i>	<i>1.01</i>	<i>0.51</i>	<i>1.05</i>	<i>1.02</i>	<i>1.02</i>
<i>BV4</i>	<i>9.91</i>	<i>3.19</i>	<i>10.58</i>	<i>0.06</i>	<i>10.24</i>

Tableau 3 : Tableaux récapitulatif de calcul de temps de concentration à partir des données de la délimitation sur Arc Gis.

Le **temps de concentration retenu** est la moyenne des temps de concentrations calculés par les formules empiriques qui se rapprochent et qui donnent des valeurs comparables et assez voisines. Les valeurs retenues restent cohérentes et proches des caractéristiques reconnues dans la zone

<i>Temps de concentration [h]</i>					
N° BV	Ventura	Kirpich	Turrazza / Passini	Giandotti	Valeur retenue En [h]
<i>BV1</i>	<i>1.43</i>	<i>0.68</i>	<i>1.50</i>	<i>1.24</i>	<i>1.39</i>
<i>BV2</i>	<i>0.70</i>	<i>0.43</i>	<i>0.77</i>	<i>1.12</i>	<i>0.73</i>
<i>BV3</i>	<i>1.10</i>	<i>0.61</i>	<i>1.20</i>	<i>1.12</i>	<i>1.14</i>
<i>BV4</i>	<i>9.88</i>	<i>3.56</i>	<i>11.10</i>	<i>4.38</i>	<i>10.49</i>

Tableau 4 : Résultats de calcul de temps de concentration à base de la délimitation sur carte Topographique.

REMARQUE : il existe une grande différence entre le résultat obtenu du BV2 par les deux méthodes.

Donc on constate que plus la taille de bassin versant et petite plus la marge d'erreur entre les deux méthodes augmente.

Calcul des Débits de crue par la Méthode Empirique Usuelles.

Définition :

Débit de crue sur une année : une des manières de caractériser les crues est d'utiliser les débits de pointe, soit en valeurs instantanées ou en valeurs journalières. Débit de crue sur plusieurs années : à partir d'un échantillon le plus fourni possible de débits de crue, on détermine par une étude statistique la valeur du débit associé à différentes fréquences théoriques de retour (2, 5, 10 ans ...).

Par exemple, le débit journalier de crue décennale correspond au débit qui se produit en moyenne 1 fois tous les 10 ans. Cela veut aussi dire qu'il a 1 chance sur 10 de se produire chaque année. Ce résultat théorique doit être systématiquement associé à un intervalle de confiance, qui dépend du nombre d'années disponibles, de leur homogénéité, de la méthode utilisée ...

Les méthodes de calcul recensées en utilisant différentes formules empiriques tiennent compte de deux facteurs essentiels :

- La taille du bassin versant, par le biais de sa surface et/ou de sa longueur ;
- Le gradient topographique du bassin versant, par le biais de sa pente ou de sa dénivelée.

Les formules retenues et leurs conditions d'utilisations ont été extraites des documents de références suivants :

- Guide hydrologique et hydraulique pour le dimensionnement des franchissements routiers, DRCR 1997.
- Schéma directeur national d'assainissement liquide.

Les débits retenus sont ceux calculés par ces formules dont les limites de validités dépendent essentiellement de la taille des bassins. Suivant ce critère, on distingue deux classes de bassin, à chacun on applique les formules appropriées.

La formule Rationnelle n'ayant pas de limitations spécifiques.

- 1- Petits bassins versants (<100 ha)
 - ✓ Mac Math
 - ✓ Rationnelle
- 2- Grands bassins versants (>100 ha)
 - ✓ Rationnelle
 - ✓ Maillet Gauthier
 - ✓ Fuller II
 - ✓ Hazan Lazarevic

Ces méthodes largement utilisées en ingénierie, élaborées ailleurs, et utilisées au Maroc sur la base des données hydrologiques locales, sont présentées ci-après;

3-1 Formule de Mac Math ($BV < 100$ Ha) :

Dans la présente étude les résultats de la formule de Mac Math est donnée uniquement à titre indicatif.

$$Q_t = K \times P \times A^{0.58} \times I^{0.42}$$

Avec :

Q_t : Débit max. en l/s pour une période de retour donnée.

A : Superficie du bassin versant en ha.

P : Précipitation maximale en mm tombée en 24 h sur le bassin versant.

I : Pente moyenne du bassin versant en millième (‰)

K : Coefficient dépendant de la topographie et de la nature du bassin versant (les valeurs de K sont données dans le tableau ci-après) :

Nature de la surface	Valeur de K
Bassin versant de grandes dimensions et recouvert de végétation.	0,11
Superficies cultivées et terrains vagues des zones suburbaines.	0,22
Terrains non aménagés, non rocheux de pente moyenne, zones peu densément peuplées et faubourgs non pavés	0,35
Petites cités, terrains non aménagés, rocheux à forte pente	0,43

Pour le cas des bassins versant étudiés, K sera pris égal à 0,35. La valeur de P a été prise de l'ajustement statistique des pluies maximales journalières du poste **Elhajra**.

Période de retour	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	1000 ans
Valeur de P	52.70	59.70	68.70	75.50	98.00

Dans le cas de la présente étude, seul le bassin versant N°2 dispose d'une superficie inférieure à 1 km², ainsi, la formule de "Mac Math" sera prise en considération juste pour ce bassin.

N° BV	Surface	Mac Math			
	km ²	Q 10 (m ³ /s)	Q 20 (m ³ /s)	Q 50 (m ³ /s)	Q 10(m ³ /s)
BV1	9.87	6.22	7.04	8.11	8.91
BV2	0.41	0.88	1	1.15	1.27
BV3	5.66	4.78	5.42	6.24	6.86
BV4	141.68	17.69	20.04	23.07	25.35

Tableau 5: table des débits par la méthode de Mack Math

3-2 Formule Rationnelle :

La méthode rationnelle, décrite dans les Recommandations pour l'Assainissement Routier SETRA de 1982, s'énonce comme suit :

$$Q_t = \frac{C * I(T, T_c) * A}{3,6}$$

Où :

- Q_t : Débit de pointe en m^3/s pour la période de retour T ;
 I : Intensité de la pluie en mm/h ;
 T : Période de retour (ans);
 T_c : Temps de concentration en min;
 A : Superficie du bassin versant en km^2 ;
 C : Coefficient de Ruissellement.

L'intensité est calculée par la formule de Montana qui s'exprime :

$$I = 60 * a * t^b$$

Les paramètres a et b de MONTANA sont pris égaux à ceux de la station de Fès et sont fournis par la Direction de la Météorologie Nationale.

Coefficients de Montana FES				
	T10	T20	T50	T100
a	6.794	8.106	9.808	11.085
b	0.672	0.673	0.673	0.674

Le coefficient de ruissellement C s'obtient d'après la formule d'homogénéisation des coefficients de surfaces élémentaires relatifs aux différentes zones de chaque bassin versant:

$$C = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + \dots + C_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Avec: A_1, A_2, \dots, A_n : sont les surfaces élémentaires classifiées d'après la texture du sol et la topographie.

C_1, C_2, \dots, C_n : sont les coefficients de ruissellement correspondants aux surfaces élémentaires. Leurs valeurs sont tirées à partir du tableau suivant:

<i>Coefficients de ruissellement C</i>			
<i>Topographie et Végétation</i>	<i>Texture du sol</i>		
	<i>Sablonneux</i>	<i>Argile et Silt</i>	<i>Argile Compacte</i>
Boisé			
<i>Plat Pente 0- 5%</i>	0,10	0,30	0,40
<i>Valonneux Pente 5- 10%</i>	0,25	0,35	0,50
<i>Montagneux Pente 10-30%</i>	0,30	0,50	0,60
DEBOISE ET FRICHES			
<i>Plat Pente 0- 5%</i>	0,10	0,30	0,40
<i>Valonneux Pente 5- 10%</i>	0,16	0,36	0,55
<i>Montagneux Pente 10-30%</i>	0,22	0,42	0,60
CULTURES DRAINEES			
<i>Plat Pente 0- 5%</i>	0,30	0,50	0,60
<i>Valonneux Pente 5- 10%</i>	0,40	0,60	0,70
<i>Montagneux Pente 10-30%</i>	0,52	0,72	0,82

Le coefficient de ruissellement retenu pour les bassins versants étudiés autour de 0.40.

Le tableau suivant récapitule les débits calculés suivant la méthode rationnelle :

N° BV	Surface	Rationnelle			
	km²	Q 10 (m³/s)	Q 20 (m³/s)	Q 50 (m³/s)	Q 100 (m³/s)
BV1	9.87	23	27.32	33.05	37.20
BV2	0.41	2.6	3.1	3.75	4.22
BV3	5.66	16.15	19.19	23.23	26.15
BV4	141.68	85.86	101.61	123.04	138.16

Tableau 6: table des débits calculés par la méthode rationnelle

3-3 Formule de Mallet Gautier :

$$Q_t = 2 \times k \times \log_{10}(1 + aH) \times \frac{A}{\sqrt{L}} \times \sqrt{1 + 4 \times \log_{10} T - \log_{10} A}$$

Avec :

- Q** : Débit maximal en m³/s, temps de retour T = (10, 20, 50, 100 ans).
H : Hauteur moyenne annuelle de pluie en mm. H est prise égal à 340mm (Pluviométrie annuelle moyenne enregistrée au niveau du poste Elhajra)
A : Superficie du bassin versant en Km².
a : Coefficient variant de 20 à 30 (au Maroc, on prend a = 20)
L : Longueur du drain principal en Km
K : Coefficient variant de 0,50 à 6,00 (on prend K =1.5 pour BV1, K=2 pour BV2, K=1.7 pour BV3 et K=1.2 pour BV4)
T : temps de retour en années (T = 10, 20, 50, 100 ans).

Le tableau suivant récapitule les débits calculés suivant la méthode Mallet Gautier :

N° BV	Surface	Mallet Gautier			
	km ²	Q 10 (m ³ /s)	Q 20 (m ³ /s)	Q 50 (m ³ /s)	Q 100 (m ³ /s)
BV1	9.87	21.91	25.01	28.6	31.02
BV2	0.41	3.19	3.54	3.97	4.26
BV3	5.66	15.75	17.82	20.27	21.92
BV4	141.68	97.6	116.4	137.36	151.31

Tableau 7: table des débits calculés par la méthode de Mallet Gautier

3-4 Formule de Fuller II :

$$Q_t = (1 + a * \log(T)) * (S^{0.8} + 8/3 * S^{0.5}) * 4/3 * N/100$$

Avec :

- Q_t** : Débit de pointe en m³/s de récurrence T.
T : Période de retour égale à (10, 20, 50 et 100 ans).
a : Coefficient variant entre 0,7 et 0,8 au Maroc. Nous adoptons **a=0,8**
S : Superficie du bassin versant en Km²
N : Coefficient régional pris égal à 80 en plaine, 85 en région accidentée et 100 en montagne.
- Nous prenons **N=85**.

Le tableau suivant récapitule les débits calculés suivant la méthode de Fuller II :

N° BV	Surface	Fuller II			
	km ²	Q 10 (m ³ /s)	Q 20 (m ³ /s)	Q 50 (m ³ /s)	Q 100 (m ³ /s)
BV1	9.87	29.82	33.81	39.09	43.08
BV2	0.41	4.48	5.08	5.87	4.98
BV3	5.66	21.01	23.92	27.66	30.48
BV4	141.68	172.07	195.09	225.52	248.54

Tableau 8: Table des débits calculés par la méthode de Fuller II

3-5 Formule de HAZAN - LAZAREVICK:

$$Q_t(1000) = k_1 * S^{k_2}$$

Avec :

Q (1000) : Débit de pointe en m³/s de récurrence 1000 ans

S : Superficie du bassin versant en km².

Application numérique pour le bassin versant 1 :

$$Q_t(1000) = 13.47 \times 9.87^{0.587} = 51.64 \text{ m}^3/\text{s}$$

Les valeurs des paramètres K1 et K2 dépendent de la situation géographique de la zone et de sa pluviométrie moyenne annuelle. Elles sont données dans le tableau suivant :

	Province du Nord			Moyen Atlas			Haut Atlas
	Rif	Rif	Rif				
	<i>central</i>	<i>occidental</i>	<i>oriental</i>				
K1	15,55	9,78	7,58	14,94	13,51	13,47	9,38
K2	0,776	0,793	0,808	0,636	0,613	0,587	0,742
Pluviométrie	1000 - 1300	800 - 1000	600 - 800	700 - 900	500 - 700	400 - 500	200 - 400
[mm]							

En nous basant sur la géographie et la pluviométrie de la zone d'étude, nous prenons les coefficients qui s'en approchent le plus :

$$k_1 = 13.47$$

$$k_2 = 0.587$$

La transposition des débits des crues milléniales aux débits de récurrence T se fera par la formule du Fuller I qui s'écrit comme suit :

$$Q_t(T) = Q(1000) * (1 + a * \log(T)) / (1 + a * \log(1000))$$

Q (T) : Débit de pointe en m³/s de récurrence T.

a : Coefficient régional variant de 0,8 à 2 pour la partie nord du Maroc, et de 2 à 3,5 pour le Rif Occidental

➤ Nous prenons **a=3**

Application numérique pour le bassin versant 1 :

$$Q_t(10) = 51.64 \times (1+3 \times \log(10)) / (1+3 \times \log(1000)) = 20.65 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le tableau suivant récapitule les débits calculés suivant la méthode Hazan Lazarevick:

N° BV	Surface	Hazan Lazarevick			
	km ²	Q 10 (m ³ /s)	Q 20 (m ³ /s)	Q 50 (m ³ /s)	Q 100 (m ³ /s)
BV1	9.87	20.65	25.31	31.48	36.14
BV2	0.41	3.19	3.91	4.86	5.58
BV3	5.66	14.9	18.26	22.71	26.08
BV4	141.68	98.68	120.95	150.41	172.69

Tableau 9 : Table des débits calculé par la méthode de Hazan Lazarevick

4- Ajustement des débits des Crues.

Il y a trois méthodes pour faire l'ajustement des débits de crue (10.20.50.100...)

1^{ère} Méthode : il existe des données hydrologique enregistrées sur le domaine d'étude dans notre cas la station hydrométrique la plus proche de la zone d'étude est celle de **Elhajra** [(X, Y, Z) = (508.860 ; 382.760 ; 215)].

Et contrôle un bassin versant de 1310 km².

Il en ressort que le débit de pointe de la crue centennale est de **104 m³/s**.

2^{ème} Méthode : Il existe des données hydrologiques enregistrées de la zone d'étude sur un bassin versant analogue.

Dans notre cas et Afin de pouvoir mieux apprécier les débits de pointes probables sur les bassins versants obtenus par les formules empiriques usuelles, l'estimation des débits est également faite par analogie avec d'autres bassins versants similaires et limitrophes. Les critères de similitude sont essentiellement la morphologie et le régime pluviométrique.

*La station hydrologique précitée se situe au sein de la zone de l'étude et dispose d'un historique suffisant pour faire l'objet d'ajustements statistiques.

*La transposition des débits des crues déterminées par ajustement à la station hydrologique Ouljet Haboub.

3^{eme} Méthode :

C'est la méthode que nous avons utilisée pour l'ajustement des débits de point par la méthode de gradex.

4-1 Méthode de Gradex

Détermination du Gradex de pluie moyen :

Le poste pluviométrique le plus proche et qui influence le régime hydrologique de la zone d'étude est celui de **El Hajra**.

La série de pluie de ce poste pluviométrique a été ajusté selon la loi de Gumbel

Période de retour	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	1000 ans
Valeur de P	52.70	59.70	68.70	75.50	98.00

$$G_p = \frac{p(100) - p(50)}{U(100) - U(50)}$$

Avec $U(t) : -\ln(-\ln(1-1/t))$ selon la loi de Gumbel.

Application numérique : $G_p = \frac{75.5 - 68.70}{4.6 - 3.9} = 9.72 \text{ mm/j}$

Les résultats des ajustements montrent que le Gradex moyen des pluies est de **9.72mm/j**.

Détermination du Gradex des débits de 24h :

$$G_d = \frac{S \times G_p \times 1000}{3600 \times 24}$$

Avec :

G_d : Gradex des débits en m^3/s

S : surface de bassin en Km^2 .

G_p : Gradex moyenne des pluies en mm/j

Application numérique pour le bassin versant 1 :

$$G_d = 9.87 * 9.72 * 1000 / 24 * 3600 = 1.11 \text{ m}^3/s$$

Détermination du coefficient de pointe :

La valeur du coefficient de pointe a été extraite de l'étude du plan directeur.

Pour les sous bassins du Sebou ; la synthèse régionale sur les coefficients de pointe a abouti à la relation suivante :

$$C_p = 2.5 S^{-0.07}$$

Avec

S : surface de bassin en Km².

Application sur le BV1 : $C_p = 2.5 \times 9.87^{-0.07} = 2.12$

Détermination des débits instantanés :

$$\text{Gradex des débits instantanés} = C_p \times G_d$$

Avec :

C_p : coefficient de pointe

G_d : Gradex du débit

Application numérique pour le bassin versant 1

$$\text{Gradex des débits instantanés} = 1.11 \times 2.12 = 2.35 \text{ m}^3/\text{s}$$

Les débits de faibles fréquences obtenus par la méthode du Gradex sont calculés par la formule suivante :

$$Q_T = Q_{(T10)} + G_{moy} \left[L_n \left(-L_n \left(1 - \frac{1}{T_{10}} \right) \right) - L_n \left(-L_n \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right]$$

Avec

$Q_{(T10)}$: le débit décennal

G_{moy} : Gradex des débits instantanés

Application numérique pour le bassin versant 1 :

$$\begin{aligned} Q_{20} &= 22.03 + 2.35 (\ln (-\ln (1-1/10)) - \ln (-\ln (1-1/20))) \\ &= 23.72 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Les résultats de débits retenus pour la crue décennale et ceux déterminés par la méthode du Gradex pour les crues de fréquences plus faibles, sont synthétisés dans les tableaux suivants :

$Q_{10} [m^3/s]$						
	<i>Mac Math</i>	<i>Rationnelle</i>	<i>Mallet Gautier</i>	<i>Hazan Lazarevick</i>	<i>Fuller II</i>	<i>Q retenues</i>
<i>BV1</i>	6.22	23	22.45	20.65	29.82	22.03
<i>BV2</i>	0.88	2.6	4.93	3.19	4.48	2.89
<i>BV3</i>	4.78	16.15	15.03	14.9	21.01	15.36
<i>BV4</i>	17.69	85.86	97.48	98.68	172.07	94

<i>Paramètres de calcul</i>					<i>Calcul par la méthode du Gradex [m^3/s]</i>				
<i>Bassin versant</i>	<i>Gradex des Pluies</i>	<i>Gradex des débits de 24 h</i>	<i>Coefficient de pointe Cp</i>	<i>Gradex des débits instantanés</i>	20	50	100	1000	10000
<i>BV1</i>	9.72	1.11	2.12	2.35	23.72	25.91	27.55	32.97	38.38
<i>BV2</i>	9.72	0.04	2.66	0.10	2.96	3.05	3.12	3.35	3.58
<i>BV3</i>	9.72	0.63	2.21	1.39	16.36	17.65	18.62	21.83	25.03
<i>BV4</i>	9.72	15.93	1.76	28.03	114.17	140.29	159.86	224.53	289.08

Tableau 10: Table récapitulatif des calculs des débits par la méthode de Gradex

4-2 DEBITS RETENUS

Le débit décennal étant déjà figé pour la méthode du Gradex, les débits retenus sont le fruit d'une analyse et une comparaison des débits calculés par les différentes méthodes présentées précédemment.

Les tableaux suivants récapitulent les débits retenus (en m^3/s) pour chaque bassin versant et pour chaque période de retour :

<i>BV</i>	<i>Mac-Math</i>	<i>Rationnelle</i>	<i>Fuller II</i>	<i>Mallet Gautier</i>	<i>Hazan Lazarevick</i>	<i>Gradex</i>	<i>Q20 retenu</i>
<i>BV1</i>	7.04	27.32	33.81	25.61	25.31	23.72	24.88
<i>BV2</i>	1	3.1	5.08	5.48	3.91	2.96	3.32
<i>BV3</i>	5.42	19.19	23.92	17.01	18.26	16.36	17.21
<i>BV4</i>	20.04	101.61	195.09	116.26	120.95	114.17	117.12

<i>BV</i>	Mac-Math	Rationnelle	Fuller II	Mallet Gautier	Hazan Lazarevick	Gradex	Q50 retenu
<i>BV1</i>	8.11	33.05	39.09	29.28	31.48	25.91	27.8
<i>BV2</i>	1.15	3.75	5.87	6.14	4.86	3.05	3.90
<i>BV3</i>	6.24	23.23	27.66	19.33	22.71	17.65	18.68
<i>BV4</i>	23.07	123.04	225.52	137.20	150.41	140.29	138.74

<i>BV</i>	Mac-Math	Rationnelle	Fuller II	Mallet Gautier	Hazan Lazarevick	Gradex	Q100 retenu
<i>BV1</i>	8.91	37.20	43.08	31.77	36.14	27.55	29.66
<i>BV2</i>	1.27	4.22	4.98	6.59	5.58	3.12	4.10
<i>BV3</i>	6.86	26.15	30.48	20.90	26.08	18.62	19.76
<i>BV4</i>	25.35	138.16	248.54	151.13	172.69	159.86	155.49

Tableau 11: Tableau récapitulatif des débits de retour par la délimitation sur ArcGIS :

<i>Tableau récapitulatif des débits retenus en m³/s</i>				
<i>BV</i>	<i>Q10</i>	<i>Q20</i>	<i>Q50</i>	<i>Q100</i>
<i>BV1</i>	22.03	24.88	27.8	29.66
<i>BV2</i>	2.89	3.32	3.90	4.10
<i>BV3</i>	15.36	17.21	18.68	19.76
<i>BV4</i>	94	117.12	138.74	155.49

Tableau 12: Tableau récapitulatif des débits de retour par la délimitation sur carte topographique :

<i>Tableau récapitulatif des débits retenus en m³/s</i>				
<i>BV</i>	<i>Q10</i>	<i>Q20</i>	<i>Q50</i>	<i>Q100</i>
<i>BV1</i>	21.48	24.89	29.25	32.44
<i>BV2</i>	3.05	3.43	3.93	4.29
<i>BV3</i>	14.35	16.53	19.34	21.39
<i>BV4</i>	96.93	116.65	141.68	159.81

HYDROGRAMMES DES CRUES :

Il sert de transformer le débit des crues en volumes.

Le calcul des volumes des crues c'est un hydrogramme triangulaire caractérisé par :

- Un débit de pointe Q_p ;
- Un temps de montée pris égal au temps de concentration ;
- Un temps de descente pris égal à 2 fois le temps de montée.

Ainsi la durée totale (temps de base) est égale à trois fois le temps de concentration et le volume de crue est calculé par la formule suivante :

$$V = Q_p \times \frac{3.T_c}{2} \quad (T_c \text{ en seconde})$$

Application numérique du volume des crues :

$$V_{10}(BV1) = 22.03 \times \frac{3 \times 1.38 \times 3600}{2} = 164167 \text{ m}^3 \\ = 0.164 \text{ Mm}^3$$

Dans le tableau suivant, on à les débits des crues retenus en m^3/s aux quels aboutissent différentes méthodes ainsi que les volumes des crues en Mm^3 :

<i>BV</i>	<i>BV1</i>	<i>BV2</i>	<i>BV3</i>	<i>BV4</i>	
<i>Surface Bv (km²)</i>	9.87	0.41	5.66	141.68	
<i>Temps de concentration [h]</i>	1.38	0.31	1.02	10.24	
<u>DEBITS</u> <u>RETENUS</u> <u>m³/s</u>	<i>Qp 10</i>	22.03	2.89	15.36	94.00
	<i>V [Mm³]</i>	0.164	0.004	0.084	5.197
	<i>Qp 20</i>	24.88	3.32	17.21	117.12
	<i>V [Mm³]</i>	0.185	0.005	0.094	6.476
	<i>Qp 50</i>	27.80	3.90	18.68	138.74
	<i>V [Mm³]</i>	0.207	0.006	0.102	7.671
	<i>Qp 100</i>	29.66	4.10	19.76	155.49
	<i>V [Mm³]</i>	0.221	0.006	0.108	8.597

Tableau 13: Table récapitulatif des débits et des volumes des crues à l'aide des résultats obtenu par l'**ArcGIS**.

BV	BV1	BV2	BV3	BV4	
Surface Bv (km ²)	10.27	0.86	5.22	141.38	
Temps de concentration [h]	1.39	0.73	1.14	10.49	
DEBITS RETENUS m³/s	Qp 10	21.48	3.05	14.35	96.93
	V [Mm ³]	0.161	0.012	0.088	5.492
	Qp 20	24.89	3.43	16.53	116.65
	V [Mm ³]	0.187	0.014	0.102	6.609
	Qp 50	29.25	3.93	19.34	141.68
	V [Mm ³]	0.219	0.016	0.119	8.027
	Qp 100	32.44	4.29	21.39	159.81
	V [Mm ³]	0.243	0.017	0.132	9.054

Tableau 14 : Table récapitulatif des débits et des volumes des crues à l'aide des résultats obtenu par la **topographie**

Remarque :

Généralement les débits retenus ainsi que les volumes calculés par les résultats obtenu a partir de la délimitation sur ArcGIS son assez comparable pour les trois bassins versant (1 ,3 ,4) sauf le bassin versant 2 qu'à des débits un peu prés égaux et les volumes ayant des valeurs éloignée a cause de la déférence au niveau du TC.

Chapitre III: Revue des schémas d'aménagement proposés:

Problématique

le problème d'inondation de centre Selfat résulte principalement des débordements en périodes des crues des eaux des cours d'eau formant le réseau hydrographique qui traverse la zone, et principalement la **Chaâba Boutmin** (BV1).

L'examen et l'analyse de la situation existante des problèmes d'inondation, il ressort que l'inondation du centre de Selfat résulte des raisons suivantes :

- La réduction de la section de la Chaâba Boutmin.
- L'insuffisance de certains ouvrages hydrauliques et certaines sections des cours d'eau à transiter les eaux de crues.



Schémas descriptive de Centre Selfat

2- Point de confluence

Oued Zeggota et Chaâba Boutmim



3- Ouvrage de la Chaâba Boutmim (Ouvrage de franchissement) :



II- Schémas d'aménagements Proposée :

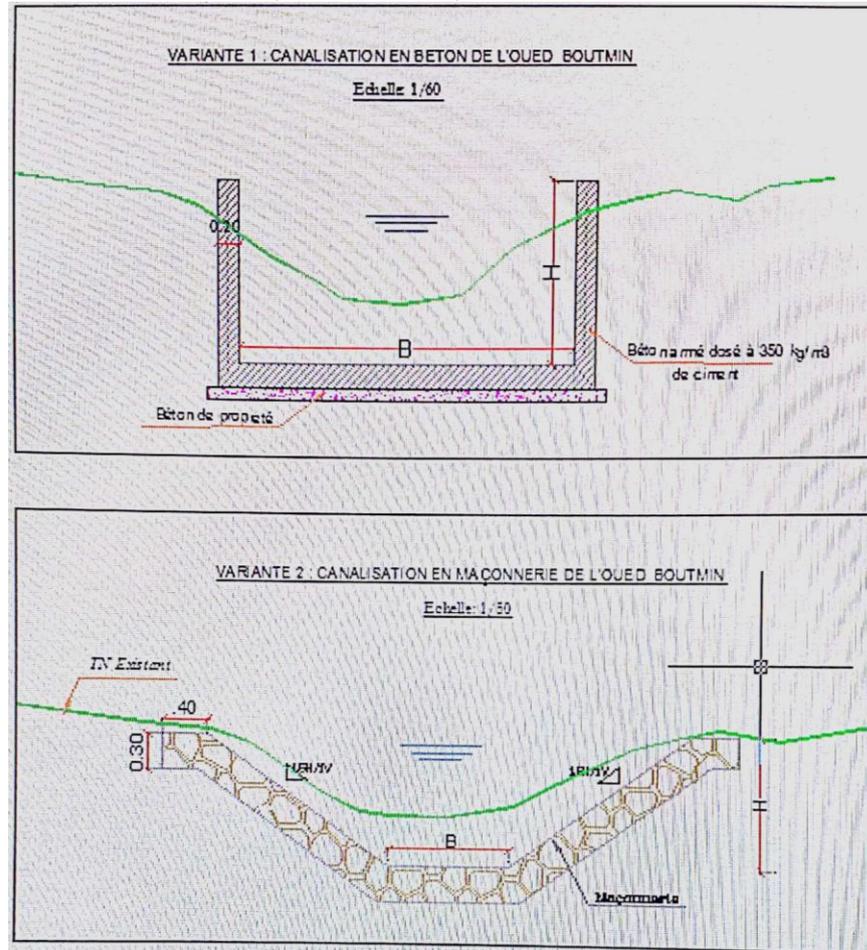
Dans cette partie nous avons recalculé les démentions des ouvrages hydrauliques proposer par le bureau d'étude, a partir de notre résultat obtenue dans de débit de retour centennale de BV1.

On trouve que les débits centennale calculer nous amènent a modifie les dimensions des ouvrages hydraulique.

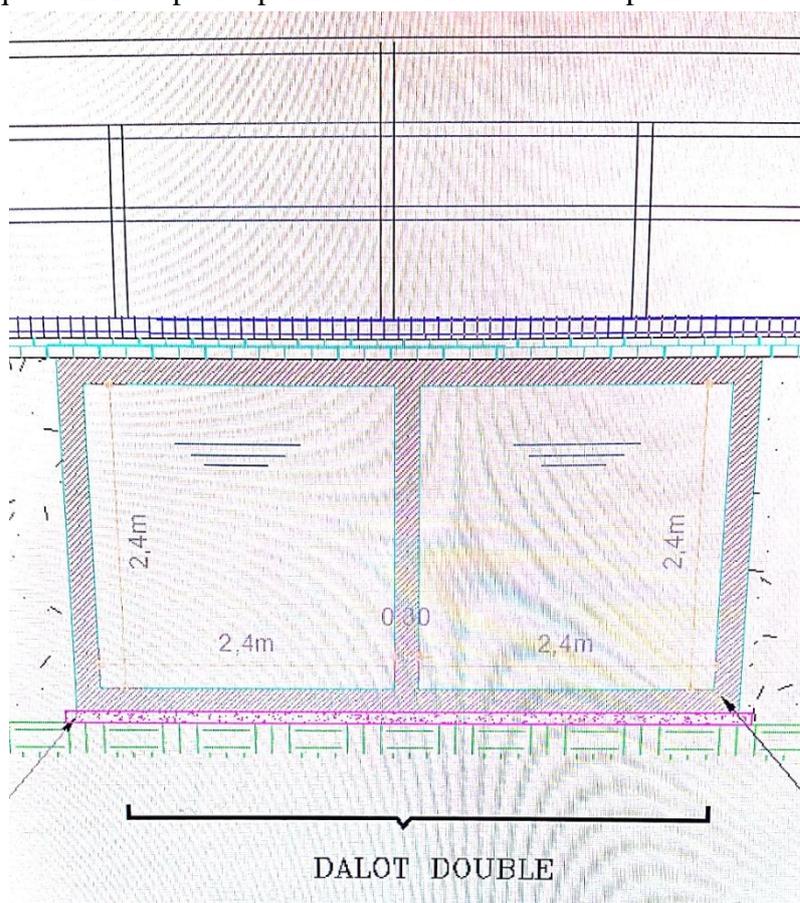
1-Propositions d'aménagement :

Pour protéger le centre contre les inondations de Chaâba Boutmim, le bureau d'étude propose les aménagements suivants selon deux variantes :

- **Variante 1:** la canalisation en béton via un canal rectangulaire de la Chaâba Boutmim le long du linéaire étudié soit **600 ml** (mètre linéaire);
- **Variante 2:** la canalisation en maçonnerie via un canal trapézoïdal de la Chaâba Boutmim le long du linéaire étudié soit **600 ml** (mètre linéaire);



Pour les deux propositions d'aménagement, l'ouvrage de franchissement existant sera remplacé par un ouvrage hydraulique dont la capacité permet le transit du débit de pointe: **dalot double** (2,4 x 2,4)m².



Finalement ils ont proposé de travailler avec trois schémas d'aménagement :

- Ouvrage d'entrée.
- Ouvrage hydraulique : dalot double (2.4 x 2.4) m².
- Une canalisation en béton de type rectangulaire en « U » de longueur 600ml (mètre linière).



2- recalcul de la hauteur de la canalisation rectangulaire en béton de type U:

Dans notre cas on traite le **régime permanent uniforme** (vitesse constante) à **surface libre** sur une ligne de courant.

Le recalcul des dimensions de la canalisation de type rectangulaire en U avec une longueur de 600ml.

Pour cela nous avons travaillé par la Formule de **Manning – Strickler**

$$Q_{100} = \frac{1}{n} \times \sqrt{I} \times \frac{A^{\frac{5}{2}}}{P^{\frac{2}{3}}}$$

Avec : Q_{100} : le débit centennal du bassin versant 1 ;

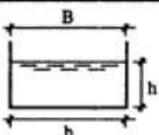
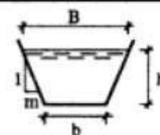
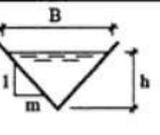
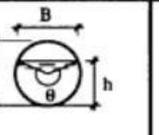
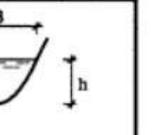
n : Coefficient de rugosité, on prend $n=75$.

A : Surface mouillée en m^2 ;

P : Périmètre mouillé en m ;

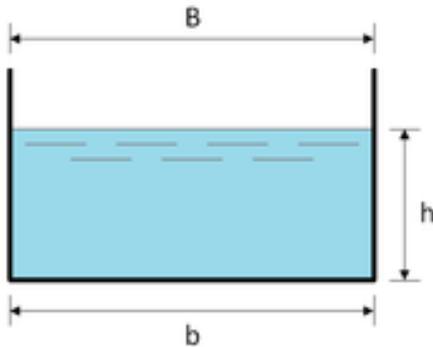
I : Pente moyenne en pourcentage.

« Différents Sections usuelles »

					
	Rectangle	Trapeze	Triangle	Cercle	Parabole
Surface S	$b h$	$(b + mh)h$	mh^2	$\frac{1}{8} (\theta - \sin \theta) D^2$	$\frac{2}{3} B h$
Périmètre mouillé P	$b + 2h$	$b + 2h\sqrt{1+m^2}$	$2h\sqrt{1+m^2}$	$\frac{1}{2} \theta D$	$B + \frac{8}{3} \frac{h^2}{B}$
Rayon hydraulique R_h	$\frac{b h}{b + 2h}$	$\frac{(b + mh) h}{b + 2h\sqrt{1+m^2}}$	$\frac{mh}{2\sqrt{1+m^2}}$	$\frac{1}{4} \left[1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right] D$	$\frac{2B^2 h}{3B^2 + 8h^2}$
Largeur B	b	$b + 2mh$	$2mh$	$(\sin \theta/2) D$ ou $2\sqrt{h(D-h)}$	$\frac{3}{2} \frac{S}{h}$
Profondeur hydraulique D_h	h	$\frac{(b + mh) h}{b + 2mh}$	$\frac{1}{2} h$	$\left[\frac{\theta - \sin \theta}{\sin \theta/2} \right] \frac{D}{8}$	$\frac{2}{3} h$

Pour le canal rectangulaire en « U » on a :

Application numérique :



$$Q_{100} = \frac{1}{n} \times \sqrt{I} \times \frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}}$$

$$A = b \times h$$

$$P = b + 2h$$

Dans notre cas on va garder les mêmes dimensions $b=4\text{m}$ et $I=0.5\%$, $n=75$, et on a changé seulement le débit de retour centennal $Q_{100}(\text{BV1}) = 29.66 \text{ m}^3/\text{s}$ qu'on a calculé.

Et on veut calculer la hauteur « h » de la canalisation étudiée :

$$29.66 = \frac{1}{75} \times \sqrt{0.005} \times \frac{(4 \times h)^{\frac{5}{3}}}{(4 + 2h)^{\frac{2}{3}}}$$

Finalement on a trouvé que $h=1.55\text{m}$ et on a ajouté comme une marge de sécurité (revanche) 15cm.

Donc la hauteur sera de **1.70m**.

On constate que la hauteur de l'ouvrage change avec le changement de débit de retour centennal car ils ont trouvé que $H=1.8\text{m}$ correspond au débit de retour $Q_{100}(\text{BV1})=32.44\text{m}^3/\text{s}$, et on a trouvé que $H=1.7\text{m}$ pour un débit de retour $Q_{100}(\text{BV1})=29.66\text{m}^3/\text{s}$

Conclusion générale:

Dans le cadre de ce stage on a pu manipuler et maîtriser l'outil ArcGIS dans la quelle on a apprendre comment délimiter et dégager l'ensemble d'information sur les différents bassins étudiés (réseau hydrographique, carte des pentes, carte hypsométrique, etc....) et de même sortir avec les caractéristiques tel que la superficie et le périmètre, dénivelé, indice de compacité, et la comparaison des caractéristiques obtenue avec l'autre étude qui était faite par la délimitation sur carte topographique.

On constate finalement que l'outil ArcGIS est la bonne moyenne pour la délimitation des grands bassins versants dont la superficie est supérieure à 100 Hectares et non pas utilisable pour les bassins versants de taille inférieure à 100 hectares (exemple le bassin versant 2).

On a passé au calcul hydrologique pour la détermination des débits de retour à partir des plusieurs formules empiriques (Rationnelle, Hazan-Lazarevick, Mac-Math, Fuller...).

On trouve que les débits centennales calculés nous amènent à modifier les dimensions des ouvrages hydrauliques proposés par le bureau d'étude qui s'intéresse à la protection contre l'inondation du centre SELFAT.

Références bibliographiques

Agence du Bassin Hydraulique de Sebou (2013): Rapport interne « Etude de protection contre les inondations de centre SELFAT dans la province de Sidi-Kacem (géologie, climatologie, situation démographique) », p 27.

Halima MAKHLOUFI et Samira EL OUACHANI (2016_2017): PFE sous titre « Etude d'inondations dans des bases de données SIG dans le bassin du Sebou, Centre Ait Yahia ou Alla », p 53.

Webographie:

- 1 <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- 2 <https://geograchid.blogspot.com>
- 3 <http://resources.arcgis.com/>
- 4 <http://www.esri.com/>

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES