



**Département des Sciences de la
Terre**
Licence Es-Sciences et Techniques
Eau et Environnement



**ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET SIMULATION
HYDRAULIQUE POUR LA DÉLIMITATION DES
ZONES INONDABLES PAR L'OUED ISSIL,
PROTECTION ET SOLUTIONS**
(MARRAKECH, MAROC)

Réalisé par : LAGHOUASLI Malika & AZRIF Khalid

Soutenu : Le 24 Juin 2019

Devant le jury composé de

Pr. SAIDI Med El Mehdi

FST- Marrakech,
Encadrant

Mr. RACHIDI Said

ABHT, Co-encadrant

Pr. BOURGEOINI Yamina

FST- Marrakech,
Examinatrice

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2019-2020



DEDICACES

Nous dédions ce travail

A nos chers parents qui ne cessent de nous donner avec amour le nécessaire pour que nous puissions arriver à ce que nous sommes aujourd'hui. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que nous avons toujours eus pour eux. Que Dieu vous protège et que la réussite soit toujours à notre portée pour que nous puissions vous combler de bonheur.

A tous les membres de nos familles, Veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de notre affection.

Aux personnes qui nous ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à nos côtés, et qui nous ont accompagné durant notre chemin d'études supérieures, nos aimables amis et collègues d'étude.





REMERCIEMENTS

Nous remercions avant tout Dieu qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Un grand merci à nos parents, pour leurs conseils ainsi que leur soutien inconditionnel, à la fois moral et économique

Dans le cadre de notre formation de licence « EAU et ENVIRONNEMENT », nous tenons à remercier tout le personnel de la faculté ainsi que les intervenants et les professeurs en charge des enseignements.

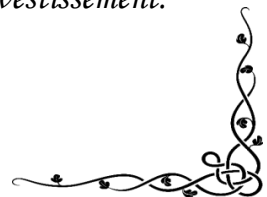
*Nous tenons à exprimer nos profondes gratitude et nos sincères remerciements à **Mr. Saïdi Mohamed el Mehdi** Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, pour nous avoir encadré, nous avoir prodigué les conseils pertinents et qui nous a aidé à réaliser notre projet dans les meilleures conditions possibles.*

*Nous tenons aussi à remercier tout particulièrement notre responsable de stage, **MR. Saïd Rachidi** qui nous a accompagnés tout au long de notre stage et a pris de son temps pour nous aider dans notre travail.*

*Nous voudrions également rendre un hommage particulier à **Mr. BRAHIM IGMOLLAN**, Professeur à la Faculté des Sciences et Technique de Marrakech, chef de département, pour son soutien et son aide.*

*Nos remerciements s'adressent également à **Mlle. BOURGEOINI Yamina** pour l'intérêt qu'elle a porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par ses propositions.*

Nous espérons que notre production sera à la hauteur de votre investissement.



SOMMAIRE

Liste des figures	5
Liste des tableaux	7
Liste des abréviations	8
Liste des annexes	8
Outils de travail	9
Présentation de l'ABHT	10
Introduction générale	11
Chapitre 1 : présentation de la zone d'étude	12
I. GENERALITES SUR LE BASSIN D ISSIL.....	12
1. situation géographique	12
2. la charge solide de l'oued.....	13
3. climat.....	13
4. étude pluviométrique	13
II. LA DELIMITATION DU BASSIN VERSANT	15
III. ETUDE HYDRAULIQUE DU BASSIN VERSANT	17
1. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES	17
2. CARACTERISTIQUES DU RELIEF	19
a) la pente de l'oued.....	19
b) hypsométrie	21
1. calcul des débits	24
a) temps de concentration.....	24
b) débits.....	26
c) ajustement statistique	32
chapitre 2 : simulation hydraulique et délimitation des zones d'inondation.....	37
I. METHODOLOGIE DU TRAVAIL	37
II. SIMULATION HYDRAULIQUE	43
III. protection, suggestion des solutions	50
Conclusion générale	55
Références bibliographique	56
Annexes	57

Liste des figures

FIGURE 1: SITUATION GEOGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT	- 12 -
FIGURE 2: LES PLUIES MOYENNES ANNUELLE DE TAHNAOUT 1971/2017	- 14 -
FIGURE 3: LES PLUIES MOYENNES SAISONNIERES DE TAHNAOUT 1971/2017	- 14 -
FIGURE 4: LES PLUIES MOYENNES MENSUELLES DE TAHNAOUT 1971/2017	- 15 -
FIGURE 5: CARTE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT D'ISSIL	- 16 -
FIGURE 6: CARTE DES PENTES DU BASSIN VERSANT DE L'OUED ISSIL	- 20 -
FIGURE 7: CARTE HYSOMETRIQUE DU BASSIN VERSANT DE L'OUED ISSIL	- 22 -
FIGURE 8: COURBE HYSOMETRIQUE DU BASSIN VERSANT DE L'OUED ISSIL	- 23 -
FIGURE 9 : AJUSTEMENT GRAPHIQUE DES DEBITS MAXIMAUX INSTANTANE SELON LES LOIS STATISTIQUES, A LA STATION DE TAHANAOUT	- 34 -
FIGURE 10 : L'INTERFACE DU LOGICIEL HEC-RAS	38
FIGURE 11 : CREATION D'UN NOUVEAU PROJET	39
FIGURE 12: TOPOGRAPHIE DE LA ZONE D'ETUDE REALISEE PAR GEOMETRE TOPOGRAPHE	39
FIGURE 13: CREATION DU MNT TIN DE LA ZONE ETUDIE	40
FIGURE 14 : CREATION DU MNT RASTER DE LA ZONE ETUDIE	40
FIGURE 15 : LES VALEURS UTILISEES POUR LE COEFFICIENT DE MANNING	41
FIGURE 16: FENETRE DES DONNEES HYDROMETRIQUES	42
FIGURE 17 : CONDITIONS AUX LIMITES ; PENTE AVAL, AMONT	42
FIGURE 18 : PONT SUR LA PARTIE AMONT DE LA ZONE ETUDIEE	43
FIGURE 19 : LA GEOMETRIE DU BASSIN DEVELOPPEE SOUS HEC RAS	44
FIGURE 20 : FENETRE DE SIMULATION	44
FIGURE 21 : SECTION ILLUSTRANT LE NIVEAU D'EAU MAXIMAL ATTEINT PAR LE DEBIT DECENNAL	45
FIGURE 22 : ETENDUE DE LA CRUE QUI CORRESPOND A UNE PERIODE DE RETOUR DE 10 ANS	45
FIGURE 23 : SECTION ILLUSTRANT LE NIVEAU D'EAU MAXIMAL ATTEINT PAR LE DEBIT VINGTENNALE	46
FIGURE 24 : ETENDUE DE LA CRUE QUI CORRESPOND A UNE PERIODE DE RETOUR DE 20 ANS	46
FIGURE 25 : SECTION ILLUSTRANT LE NIVEAU D'EAU MAXIMAL ATTEINT PAR LE DEBIT CINQUANTENNALE	47
FIGURE 26 : ETENDUE DE LA CRUE CORRESPONDANT A UNE PERIODE DE RETOUR DE 50 ANS	47
FIGURE 27 : SECTION ILLUSTRANT LE NIVEAU D'EAU MAXIMAL ATTEINT PAR LE DEBIT CENTENNAL	48

FIGURE 28 : ETENDUE DE LA CRUE CORRESPOND A UNE PERIODE DE RETOUR DE 100 ANS	48
FIGURE 29 : VARIATION DE LA VITESSE D'ÉCOULEMENT EN FONCTION DE LA DISTANCE A PARTIR DE L'EXUTOIRE	49
FIGURE 30: SECTIONS ILLUSTRANT LES NIVEAUX D'EAU DU TRONÇON INTERIEUR DE LA PARTIE RIVE DROITE	52
FIGURE 31 : BERGE DROITE DU TRONÇON INTERIEUR DE L'OUED	53
FIGURE 32 : EXEMPLE DE MUR DE PROTECTION EN GABION SUR OUED ISSIL.....	53
FIGURE 33 : VEGITATION DE LA BERGE GAUCHE.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

Liste des tableaux

TABLEAU 1: LES COORDOONEES DE LAMBERT DE L EXUTOIRE	- 13 -
TABLEAU 2:LES TRANCHES D'ALTIUDES ELEMANTAIRE DU BASSIN VERSANT.....	- 23 -
TABLEAU 3 : RECAPITULATIF DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN VERSANT D'ISSIL.	- 24 -
TABLEAU 4 : RECAPITULATIF DU TEMPS DE CONCENTRATION DU BASSIN VERSANT D'ISSIL SELON LES DIFFERENTES FORMULES.....	- 26 -
TABLEAU 5:DEBITS OBTENUS PAR LA FORMULE MALLET-GAUTHIER.	- 28 -
TABLEAU 6: DEBITS OBTENUS PAR LA FORMULE DE FULLER II.	- 29 -
TABLEAU 7 : PARAMETRES REGIONAUX D'HAZAN LAZAREVIC.	- 30 -
TABLEAU 8: DEBITS OBTENUS PAR LA FORMULE DE HAZAN LAZAREVIC.	- 31 -
TABLEAU 9:COEFFICIENTS DE MONTANA A MARRAKECH VILLE.	- 32 -
TABLEAU 10:COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENTS PAR SETRA.	- 32 -
TABLEAU 11: DEBITS CALCULES PAR LA METHODE RATIONNELLE	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
TABLEAU 12:AJUSTEMENTS NUMERIQUES DES LOIS AUX DEBITS MAXIMAUX ANNUELS POUR UNE PERIODE DE 100 ANS.	- 35 -
TABLEAU 13 : DEBITS RETENUS PAR LA LOI DE GEV.	- 36 -
TABLEAU 14: DEBITS CALCULES PAR FRONCOU-RODIER.....	- 37 -
TABLEAU 15:RECAPITULATIF DES DEBITS DE POINTE DES CRUES POUR UNE PERIODE DE RETOUR T.	- 37 -
TABLEAU 16:LES DIFFERENTES CARACTERISTIQUES DU PONT	43

Les abréviations

ABHT	Agence du Bassin Hydraulique du Tensift
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Centers River Analysis System
MNT	Modèle Numérique de Terrain
TIN	Les réseaux triangulés irréguliers
Bv	Bassin versant

Liste des annexes

Annexe 1 : Série des débits maxima instantanés.

Annexe 2 : Série des pluies mensuelles & annuelles.

Outils de travail

HYFRAN PLUS : L'ajustement des fonctions de distribution est réalisé à l'aide du logiciel Hyfran (Bobée et al 1999) conçu par l'Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement (INRSETE). Le critère d'information bayésien est utilisé pour déterminer la distribution qui s'ajuste le mieux aux données étudiées.

HEC-RAS : HEC-RAS est un progiciel d'analyses hydrauliques désigné à modéliser les écoulements à surface libre dans les canaux naturels et artificiels avec la prise en compte des ouvrages de franchissement. Il permet de simuler les écoulements graduellement variés en régime transitoire et d'effectuer les calculs de lignes d'eau en régime dynamique en simulant les différents obstacles le long du cours d'eau. (HEC-RAS, 2016).

ArcGIS : est une suite de logiciels d'information géographique (ou logiciels SIG) développés par la société américaine Esri (Environmental Systems Research Institute, Inc.). Arc GIS est composée de trois parties (Applications ou logiciels) essentiels :

- Arc Map : Permet d'éditer les fichiers en format géodatabase
- Arc Catalog : Permet la gestion des données c'est –à-dire d'obtenir le maximum d'information sur l'objet édité. Il d'agit d'un système de gestions de bases de données (SGBD).
- Arc ToolBox : Composée d'un ensemble d'outils de transformation des données.

Global Mapper : est plus qu'un simple outil de visualisation capable d'afficher les images raster, les données d'altitude et les données vectorielles les plus répandues. Il **convertit, édite, imprime, acquière des données GPS**, et vous permet d'utiliser des fonctionnalités SIG sur vos jeux de données de manière peu onéreuse et simple. **Global Mapper** permet aussi, en son sein, **un accès direct à la totalité de la base de données TerraServer** d'imagerie satellitaire et de cartes topographiques de l'USGS ainsi que la **visualisation des données d'altitudes en vrai 3D** avec un drapage de n'importe quelles images raster ou données vectorielles.

Présentation de l'ABHT

Cadre administratif de l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift.

Cadre administratif de l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift. Au Maroc, la planification des ressources en eaux a été amorcée dès les années 1980 et améliorée en 1995 à travers le décret de la loi de l'eau 10-95 qui a donné naissance aux Agences du Bassin Hydraulique « ABH » qui sont au nombre de neuf.

Ces agences ont pour but d'évaluer, de planifier et de gérer les ressources en eaux au niveau des bassins hydrographiques et cela par l'élaboration et la mise en œuvre des Plan Directeurs d'Aménagements Intégrés des Ressources en Eaux. « PDAIRE ».

L'ABHT est instaurée par le décret du 14 Novembre 2000, en application de l'article 20 de la loi sur l'Eau, afin d'assurer une gestion intégrée et concertée des ressources en eau pour un développement durable du bassin hydraulique du Tensift.

Objectifs de création des Agences de Bassins Hydrauliques :

- Protection et conservation quantitative et qualitative des ressources en eau.
- Planification cohérente et obligatoire à l'échelle du bassin hydraulique.
- Utilisation rationnelle et optimale de l'eau.
- Gestion intégrée, décentralisée et forcée des ressources en eau et du domaine public hydraulique.

ABHT est chargée de :

- Réaliser les mesures et les études nécessaires à l'évaluation, la planification et la gestion des ressources en eau.
- Réaliser les mesures de qualité de l'eau et appliquer les dispositions réglementaires relatives à la protection des ressources en eaux et à la restauration de leur qualité.
- Elaborer le « PDAIRE » et de veiller à son application.

Introduction générale

Les inondations représentent un risque naturel qui peut causer des pertes en vies humaines, des dégâts matériels et la dégradation de l'environnement. A l'échelle du bassin méditerranéen, ce risque vient en deuxième rang derrière le risque sismique, mais il occupe en revanche le premier rang sur le plan de fréquences d'occurrences. La modélisation mathématique est un outil scientifique parmi d'autres, qui est de plus adopté pour simuler et comprendre les phénomènes hydrologiques et hydrauliques. En outre, les systèmes d'information géographique sont désormais indispensables à la bonne gestion dans ce domaine comme dans d'autres.

Notre zone d'études est définie par un exutoire situé dans la zone du pied montagne, juste à l'entrée de la plaine, son climat semi-aride, son environnement hydro-géomorphologique et pluviométrique favorise le déclenchement des crues éclaires caractérisées par des grandes vitesses et des temps de montée assez courts.

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet de développement élaboré par l'ABHT dont l'objectif est l'utilisation de la modélisation hydrologique pour le suivi continu de la situation hydrologique sur le bassin versant de l'Oued Issil et la réalisation d'un plan d'aménagement surtout en période de crues, par l'utilisation combinée des logiciels HEC-RAS, Arc GIS, Global Mapper, Hyfrans plus. Dans ce travail une étude hydrologique du bassin de l'Oued Issil a été effectuée à partir des données disponibles à l'ABHT.

Notre projet comporte trois chapitres

- Le premier s'occupe de la présentation générale de la zone étudiée.
 - Le deuxième chapitre, il est consacré à l'étude hydrologique afin d'extraire les débits de pointes pour les différentes périodes de retour moyennant l'exploitation des lois statistiques (Gumbel, log de Person III, gamma,...), pour délimiter les zones inondables.
 - Le dernier chapitre est consacré pour la proposition des solutions de protection contre les risques d'inondations tout en long du tronçon d'Issil.
-
- Fournir les aides financières et l'assistance technique dans le domaine de la pollution des ressources en eau.
 - Gérer et contrôler l'utilisation des ressources en eau mobilisées.
 - Proposer et exécuter les mesures adéquates pour assurer l'approvisionnement en eau en cas de pénurie d'eau ou pour prévenir les risques d'inondations.
 - Réaliser les infrastructures nécessaires à la prévention et à la lutte contre les inondations.

Chapitre 1 : présentation de la zone d'étude

Un bassin versant est l'unité hydrologique de référence. C'est une portion de territoire où les eaux s'écoulent en direction d'un exutoire qui peut prendre la forme d'une cour d'eau, d'un lac ou d'un océan.

Chaque bassin versant est unique, par sa taille, sa forme, son orientation, la densité de son réseau hydrographique, le relief, la nature du sol, l'occupation du et (cultures, haies, forêts, plans d'eau...), son climat..., mais également l'urbanisation et les activités humaines.

Sa délimitation peut être faite par les limites naturelles à savoir les lignes de crête ou les lignes de partage des eaux.

Dans cette partie nous allons nous baser sur le logiciel *global mapper* pour qu'on puisse délimiter le bassin et déterminer les différentes caractéristiques.

I. Généralités sur le bassin dissil

1. Situation géographique

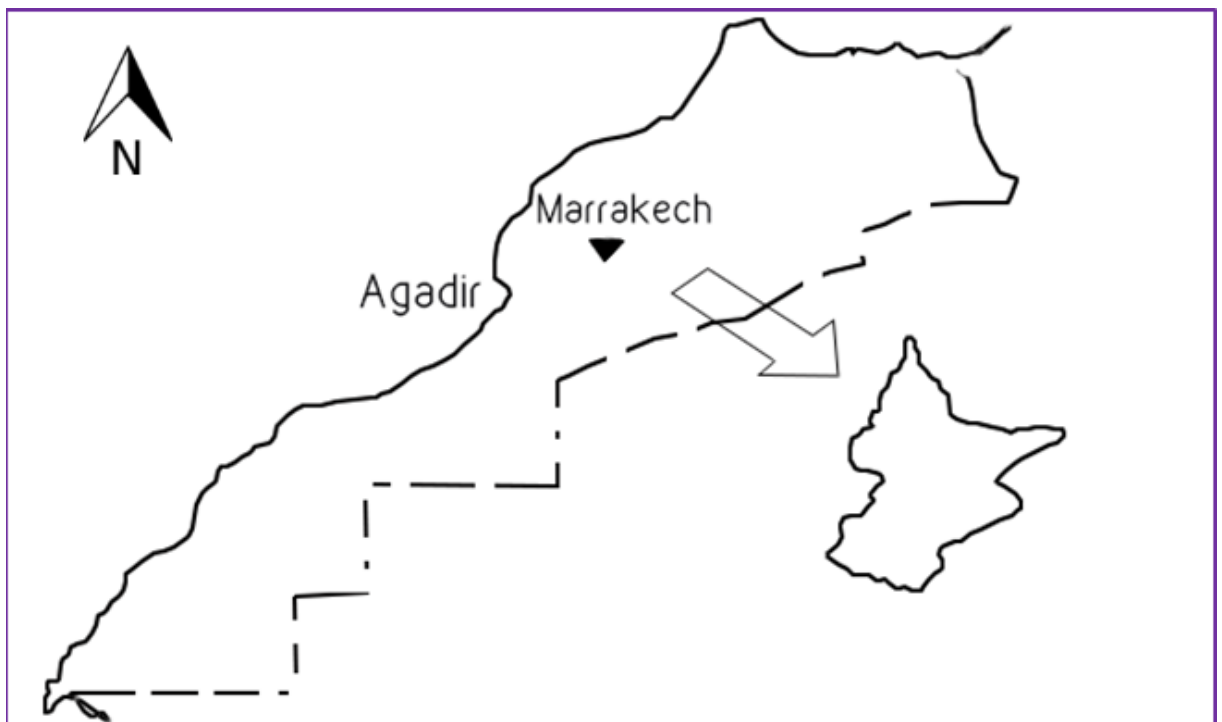


Figure1: situation géographique du bassin versant

Oued issil prend naissance dans le haut atlas à des altitudes avoisinant 2300m, Il coule sur 48 km dans la plaine de el Houz depuis son origine jusqu'à oued Tensift.

La partie montagneuse du bassin versant est caractérisée par des pentes importantes, un réseau hydrographique dense et bien ramifié.

Pour notre projet on s'intéresse à l'étude du bassin versant de l'oued Issil située dans la zone du pied amont juste à l'entrée de la plaine du Haouz dont les coordonnées Lambert sont :

Tableau 1: les coordonnées Lambert de l'exutoire

LOCALITE	X	y
Exutoire	266500	90500

2. La charge solide de l'oued

Les galets d'issil sont surtout schisteux donc aplatis à arrêtes émousses, en provenance essentiellement des formations viséennes de l'arrière-pays, mais de taille parfois importante 50 cm, des galets de quartzite et des roches cristallines claires de taille, comme celle des schistes, on y note aussi des Galets de grès.

3. Climat

Le climat de la région est de type semi-aride, avec des amplitudes thermiques importantes entre l'hiver et l'été (5° et 45°). La pluviométrie annuelle moyenne est de 365 mm, avec des variations importantes interannuelles et intersaisons. Des violents orages éclatent pendant la saison chaude, pouvant atteindre des hauteurs de pluie de 50 mm en une heure.

4. Etude pluviométrique

4.1. Pluies annuelles :

Au cours de la durée qui s'étend depuis 1971 jusqu'à 2017 La pluviométrie est marquée par une forte irrégularité interannuelle, ce qui traduit l'appartenance de la zone de l'étude au climat aride à semi-aride. Sauf qu'il y a des années exceptionnellement pluvieuses, ce sont les années 1973, 1988, 1995, 2008 et 2014

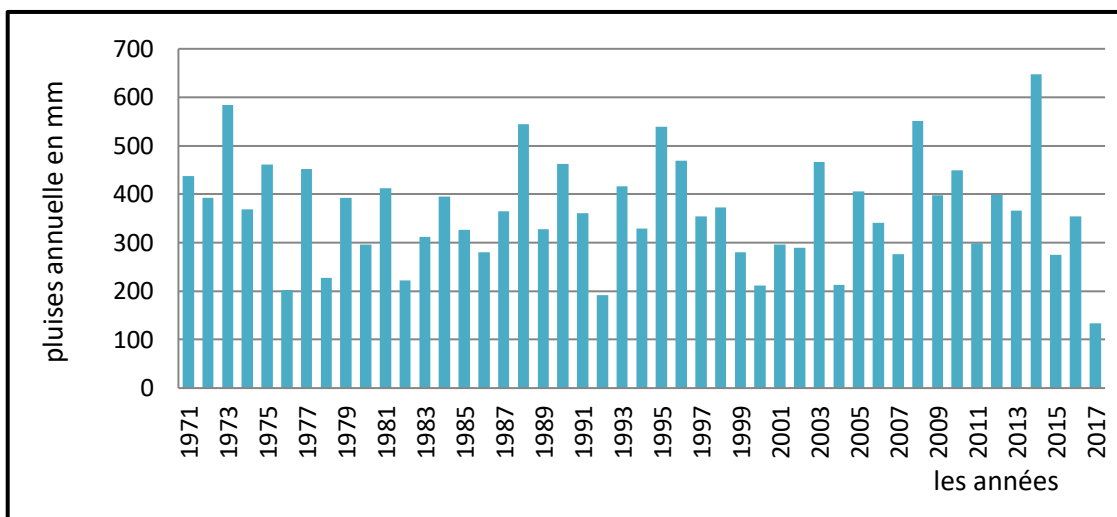


Figure 2: les pluies moyennes annulle de Tahnaout, période 1971/2017

4.2. Pluies saisonnières

La période saisonnière pluviométrique est devisée en 3 inter périodes :

- Une période plus pluvieuse : saisons printemps et hiver, la pluie atteint 40 à 45 mm
- Une période moyennement pluvieuse : saison d’automne 30 mm
- Une période sèche : saison d’été moins de 10 mm

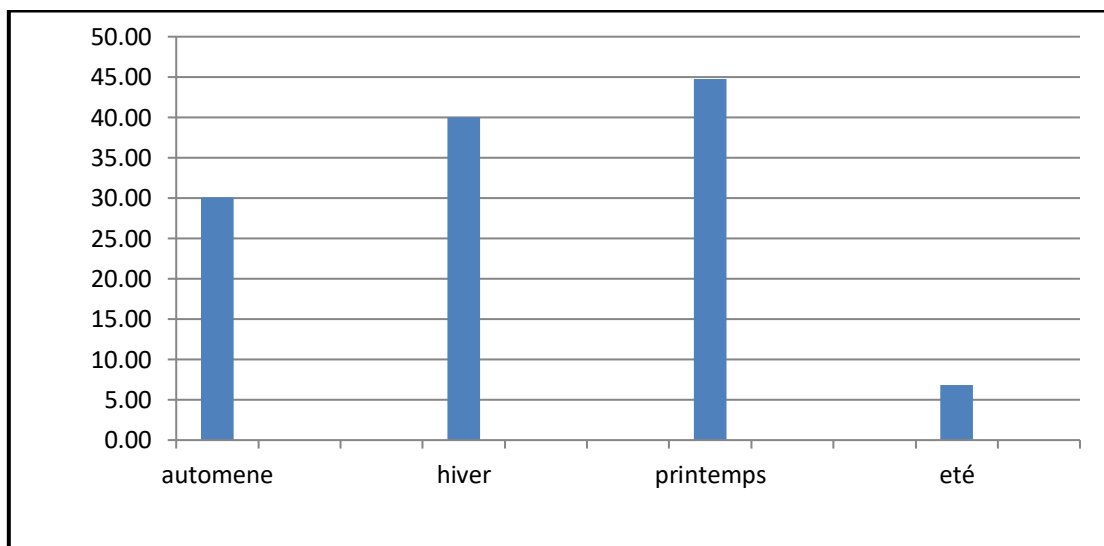


Figure 3:les pluies moyennes saisonnières de TAHNAOUT 1971/2017

4.3. Pluies mensuelles

La hauteur des précipitations croit progressivement à partir du mois de septembre jusqu'à ce qu'elle atteigne son maximum au mois d'avril, elle décline pour atteindre son minimum au mois juillet à partir duquel elle reprend sa remontée.

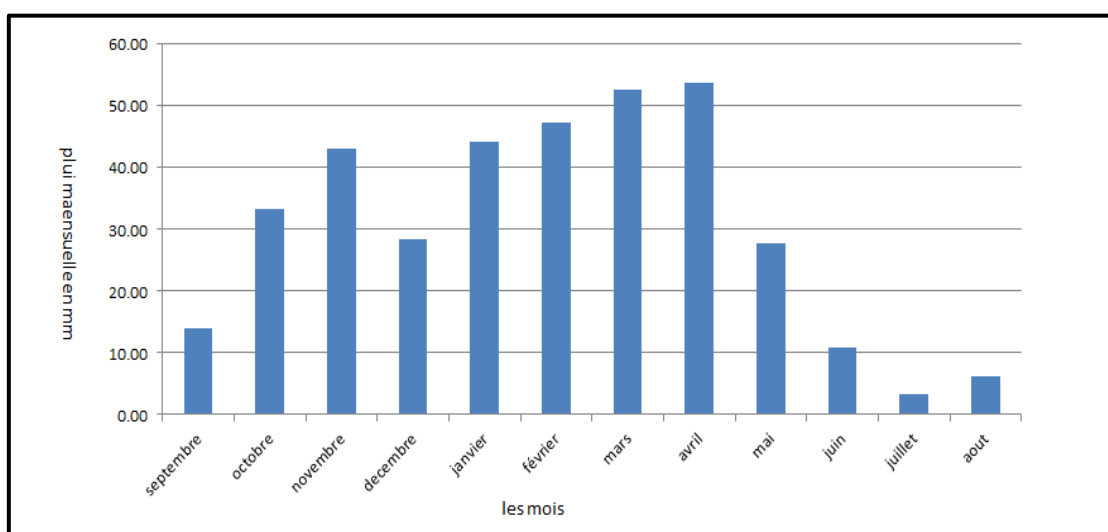


Figure 4: les pluies moyennes mensuelles de TAHNAOUT 1971/2017

II. La délimitation du bassin versant

Données :

Les coordonnées de Lambert de l'exutoire du bassin versant (x=266500, Y=90500)

Méthode de la délimitation du bassin versant :

1. La Conversion des coordonnées de l'Ambert en coordonnées géographiques (latitude, longitude).
2. Importation de ces coordonnées en Google earth, pour chercher l'exutoire.
3. Création d'un polygone pour le tronçon de l'oued après avoir localisé l'exutoire, et on enregistre ce fichier en format .kmz
4. On exporter le fichier dans global mapper.
5. Utiliser le logiciel global mapper, En téléchargeant le model MNT correspond au polygone.
6. La dernière étape de la délimitation sera effectuée à l'aide du logiciel arc gis.

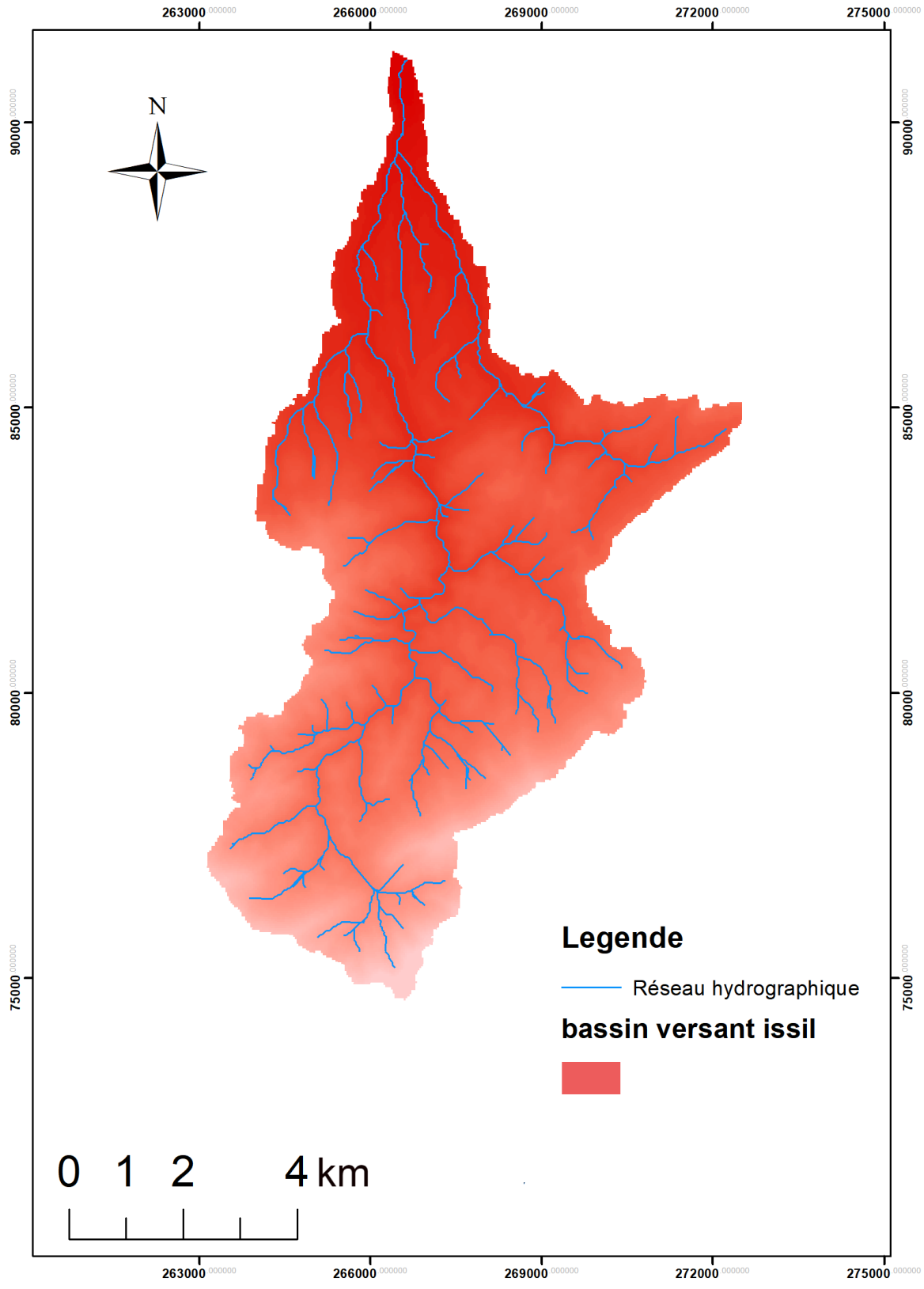


Figure 5: Carte du réseau hydrographique du bassin versant d'issil

III. Etude hydraulique du bassin versant.

Cette partie est consacrée à une description générale du bassin versant, afin de donner les indications géographiques, physiographiques, bases indispensables à la compréhension future des mécanismes hydrologiques. En effet l'altitude, la pente et la forme d'un bassin versant reliées à la lithologie renseignent sur le type de réponse hydrologique du bassin. Les principales caractéristiques physiographiques et géomorphologiques d'un bassin versant ont une importance majeure car elles interviennent, et souvent d'une façon combinée, dans les modalités de l'écoulement superficiel.

Les caractéristiques physiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage. Le comportement hydrologique d'un bassin versant est influencé par les facteurs physiographiques qu'on va détailler par la suite.

1. Caractéristiques géométriques

- **Superficie :**

Peut se mesurer par le planimètre ou les techniques de digitalisation.

✓ surface mesuré (km²) = **66.42**

- **Périmètre :**

Est la longueur (km) de la ligne de contour du bassin la mesure est faite à l'aide d'un curvimètre ou par logiciel.

✓ périmètre mesuré (km) = **50**

- **Forme :**

Conditionne le comportement hydrologique en utilisant l'indice de forme de GRAVELLUS.

- **L'INDICE DE GRAVELLUS :** sert à qualifie la forme du bassin versant, plus KG est faible, plus la forme est ramassée et plus le temps de rassemblement des eaux est court.

$$KG = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} = 1.7$$

Valeur supérieure à 1 : forme allongée

Avec

- P : périmètre du bassin (km)
- A : surface du bassin versant (km²)

• **Longueur du cour d'eau**

La longueur du cour d'eau principale renseigne sur le temps de transit de l'eau pour atteindre l'exutoire

✓ -longueur du cour d'eau principale (km) : 19

• **L'indice d'Horton**

Exprime le rapport de la largeur moyen du bassin à la longueur de la cour d'eau principal :

$$Kh = \frac{A}{Lc^2} = 0.18$$

Confirme la forme allongée tant que :

- KH < 1 forme allongée
- KH > 1 forme ramassée

• **Rectangle équivalent**

Permet de comparer le comportement hydrologique du bassin versant entre eux, il s'agit d'une transformation géométrique qui a subit le bassin a un rectangle ayant le même périmètre et la même surface.

longeur

$$L = \frac{Kc\sqrt{S}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2} \right] = 20.53$$

Largeur

$$I = \frac{Kc\sqrt{S}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2} \right] = 2.97$$

Avec :

- K_c : indice de compacité
- S : surface

- **Dénivelée**

$$D = H_{max} - H_{min} = 1512$$

Avec :

- H_{max} : altitude maximale du bassin versant (2289 m)
- H_{min} : altitude minimale du bassin versant (777 m)

2. Caractéristiques du relief

a) La pente de l'oued

La pente est un paramètre important dans l'aménagement d'un bassin versant, elle renseigne plus que le profil, sur la plus ou moins grande aptitude au ruissellement des terrains.

- **La pente moyenne**

Du cours d'eau I_{moy} est définie par

$$I_{moy} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} = 7.96$$

Avec :

- H_{max} : Altitude maximale du bassin versant en m.
- H_{min} : Altitude minimale du bassin versant en m.
- L : Longueur du cours d'eau principal en m.

- **La carte de pente**

La carte des pentes est déduite à partir du Model Numérique de Terrain (MNT), à partir de cette carte on peut déduire si on a des pentes faibles, moyennes ou bien fortes.

A partir de la carte des pentes on peut déduire que les pentes au niveau du bassin versant d'issil varient entre faible et grande (0° à 45°).

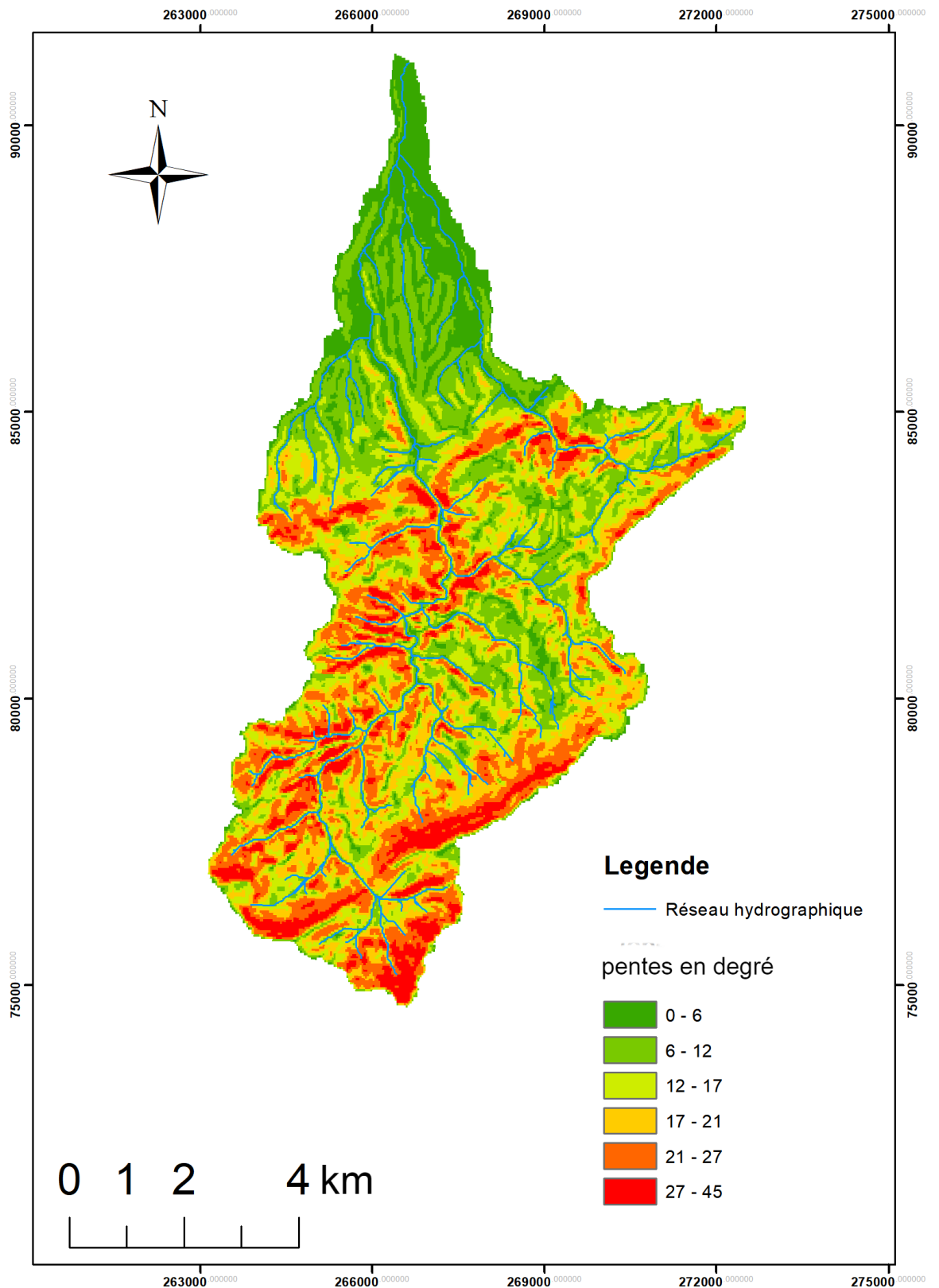


Figure 6: Carte des pentes du bassin versant de l’oued issil

b) Hypsométrie

• La carte et la courbe hypsométrique

Les cartes hypsométriques réunissent tous les points de même altitude. La plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont fonction de l'altitude, alors il est intéressant de réaliser cette étude.

La courbe et la carte traduisent la répartition des altitudes à l'intérieur de la zone étudiée.

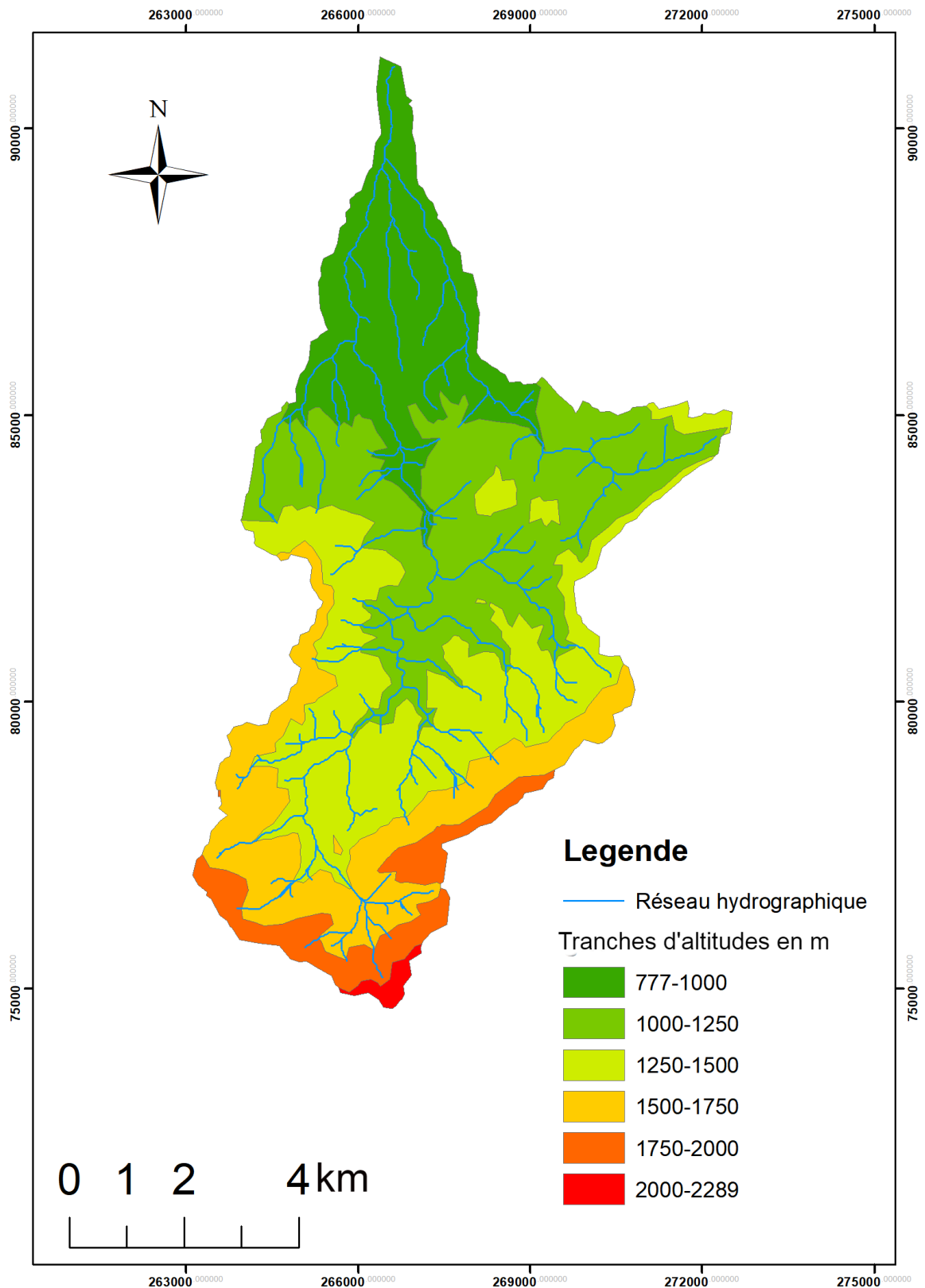


Figure 7: Carte hypsométrique du bassin versant de l'oued issil

Tableau 2: les tranches d'altitudes élémentaires du bassin versant

Altitude	Superficie		% au-dessus de la limite inférieure
	En km ²	En %	
777-1000	13.42	20.26	100
1000 – 1250	20.34	30.69	79.74
1250 -1500	17.48	20.46	49.06
1500 -1570	10.40	15.68	22.6
1570- 1200	4.16	6.25	6.92
2000- 2289	0.45	0.67	0.67

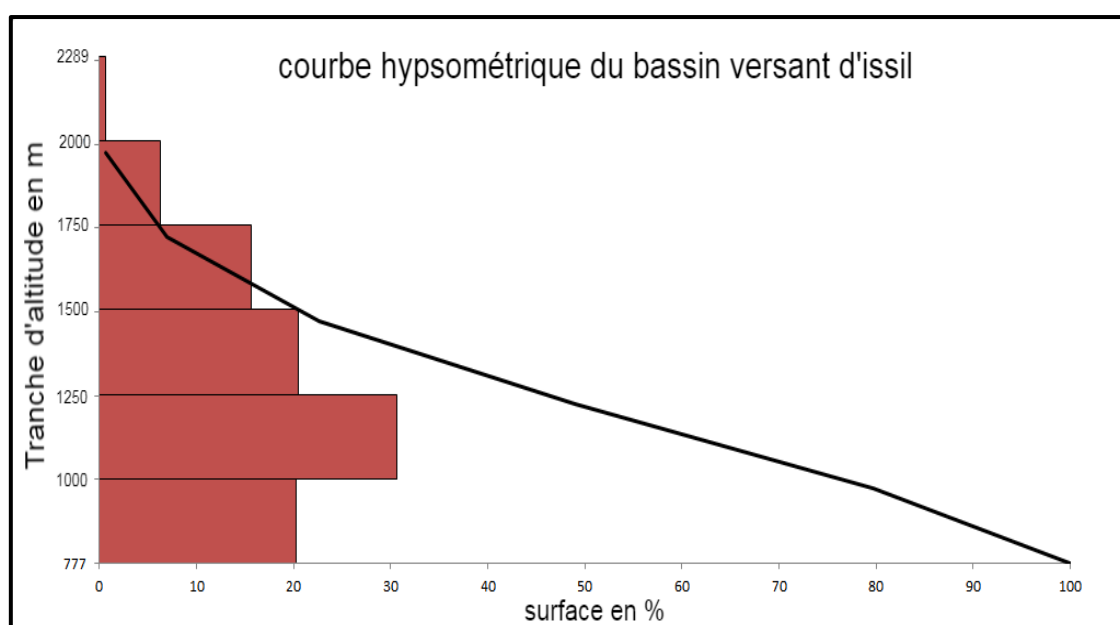


Figure 8: Courbe hypsométrique du bassin versant de l'oued issil

Tableau 3 : Récapitulatif des caractéristiques physiques du bassin versant d'issil.

Paramètres	Valeur
Surface (km²)	66.42
Périmètre (km)	50
<i>Hmax (m)</i>	2289
<i>Hmoy (m)</i>	1215
<i>Hmin (m)</i>	777
Dénivelée (m)	1512
Pente moye (%)	7.96
Longueur du rectangle équivalent (km)	20.53
Largeur du rectangle équivalent (km)	2.97
Indice de compacité	1.7
Horton	0.18

Les valeurs obtenues d'après le calcul de l'indice de compacité et l'indice d Horton est confirmé la forme allongée du bassin versant étudié. Cette forme influence l'acheminement de l'eau a l'exutoire en considération avec la pente.

3. Calcul des débits

Cette étude effectuée dans le but de déterminer les débits de pointe des crues concernant les temps de retour (10, 20, 50, 100 ans), on se base sur les différentes caractéristiques du bassin versant (voir tableau 3)

a) Temps de concentration

Se définit comme le temps mis par une goutte d'eau tombée sur le point le plus éloigné de l'exutoire pour y parvenir. Cette valeur est influencée par diverses caractéristiques morphologiques dont principalement : la taille, la forme, le relief du bassin.

Tc peut être calculé par différentes formules, sont les formules empiriques :

○ La formule de Ventura :

$$TC = 7,632 \times S^{0.5} \times I^{-0.5} = 3.67$$

- Tc : Temps de concentration en (h).
- S : Superficie du bassin versant en (km²).
- I : Pente moyenne du bassin

○ La formule de Giandotti :

$$Tc = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{D}} = 1.96$$

- Tc : Temps de concentration en h.
- S : Surface du bassin versant en km².
- L : longueur du cours d'eau principal en km.
- D : Dénivelée maximale du bassin versant en m.

○ Van Te Chow :

$$Tc = 7.38 \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0.64} = 1.82$$

- Tc : Temps de concentration en h.
- I : Pente moyenne du cours d'eau principal en m /m.
- L : Longueur du cours d'eau principal en km.

○ **La formule de KIRPICH :**

$$T_c = 0,01947 \times L^{0.64} \times I^{-0.385} = 1.2$$

- Tc : Temps de concentration en h.
- L : Longueur du cours d'eau principal en m.
- I : Pente moyenne du cours d'eau principal.

○ **La formule Espagnole :**

$$T_c = 18 \times L^{0.77} \times I^{-0.1925} = 4,71$$

- Tc : Temps de concentration en h.
- L : longueur du cours d'eau principal en km.
- I : Pente moyenne du cours d'eau principal en m /m.

❖ **Choix de temps de concentration :**

Tableau 4 : Récapitulatif du temps de concentration du bassin versant d'issil selon les différentes formules.

Formule	Temps de concentration (h)
La formule de Ventura	3.67
La formule de Giandotti	1.96
Van Te Chow	1.82
La formule de KIRPICH	1.7
La formule Espagnole	4.71

On élimine les valeurs extrêmes très grandes ou très petites, on calcule la moyenne des valeurs centrales.

$$tc = \frac{1.96+1.82+1.7}{3} = 1.82$$

b) Débits

Après avoir effectué l'analyse des données pluviométrique et l'étude physiographique des bassins versants objet de notre étude, nous allons procéder au calcul des débits en utilisant les méthodes empiriques usuelles. Les méthodes de calcul recensées en utilisant différentes formules (empiriques, semi empiriques ou régionales)

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

Petits bassins versants (<100 ha)

- Rationnelle
- Mac-Math

Grands bassins versants (>100 ha)

- Rationnelle
- Maillet Gauthier
- Fuller II
- Hazan Lazarevic

Notre zone d'étude contient un bassin versant qui est supérieurs à 100 ha, donc on va utiliser les méthodes suivantes :

•MAILLET GAUTHIER

Enoncé de la formule

L'énoncé de la formule de Mallet Gauthier est comme suit :

$$Q(T) = 2 \times K \times \log_{10}(1 + a \times H) \times \frac{S}{\sqrt{L}} \times \sqrt{(1 + 4 \times \log_{10}T - \log_{10}S)}$$

- Q_T : Débit de pointe pour
- T : La période de retour T (m^3/s).
- H_T : Pluie moyenne annuelle en mm H
- T : Période de retour en ans

- L : Longueur du cours d'eau principal en km.
- S : Superficie du BV en km².
- a : Paramètre variant de 20 à 30. On prend 20 pour le Maroc.
- K : Paramètre régional variant de :
 - 0,5 : grands bassins versants à faible pente
 - À 5. Petits bassin versants à forte pente. On prend 3 pour le bassin versant étudié

➤ **Débits obtenus par Mallet Gauthier**

Tableau 5: Débits obtenus par la formule MALLET-GAUTHIER.

Paramètres		Les débits de fréquences rares obtenus par Mallet Gauthier			
T		10	20	50	100
S (km ²)	66.42	104.94	123.23	143.88	157.72
H(mm)	365				
L (km)	19				
K	On prend 2 pour le Maroc				
A	20				

• **FULLER**

Enoncé de la formule

L'énoncé de la formule de Fuller est comme suit

$$Q(T) = \frac{4}{3} \times \frac{N}{100} \times S^{0.8} \times (1 + 2.667 \times S^{-0.3}) \times (1 + C \times \log(T))$$

- Q_T = débit de pointe de période de retour T en m³/s.
- T = Période de retour en ans.
- S = superficie du bassin versant en km².
- C = coefficient régional fonction du climat varie de 0.7 à 3.5.

Valeur de c	Region
0,7 à 0,8	Régions humides
0,8 à 2	Régions arides
3 à 3,5	Oueds Sahariens

- N = coefficient régional fonction de relief varie de 80 à 100.

Valeur de N	Région
80	Plaines
85	Relief accidenté
100	Montagne

➤ **Débits obtenus par Fuller**

Tableau 6: Débits obtenus par la formule de FULLER II.

Paramètres		Les débits de fréquences rares obtenus par Fuller			
T		10	20	50	100
S (km ²)	66.42	102.9	116.6	134.8	148.6
A	0.8				
N	85				

• **HAZAN LAZAREVIC**

Enoncé de la formule

La formule d'Hazan Lazarevic a été développée au Maroc. Elle donne le débit millénaire en fonction de la superficie du bassin versant. Sa formulation est comme suit :

$$Q(1000\text{ans}) = k1 \cdot S^{k2}$$

- S = surface en km².

- T = période de retour en ans.

- K1 et k2 = paramètres dont les valeurs sont résumées dans les tableaux ci-dessous

Tableau 7 : Paramètres régionaux d'Hazan Lazarevic.

Zone		Pluviometrie mm	K1	K2
Rif	Rif Central	1000 - 1300	15.53	0.776
	Rif Occidental	800 - 1000	9.78	0.793
	Rif Oriental	600 - 800	7.58	0.808
Moyné Atlas Saharien		700 - 900	14.94	0.636
		500 - 700	13.51	0.613
		400 - 500	13.47	0.587
Haut Atlas Saharien		200 - 400	9.38	0.742

On prendra celles du Haut Atlas saharien.

Les débits de récurrences autres que le millénial, sont calculés à partir de celui-ci par la formule initiale de Fuller :

$$Q(T) = \frac{[Q(1000) \times (1 + a \times \log(T))]}{1 + \log(1000)}$$

- Q(T) : Débit de pointe de période de retour T ;

- a : coefficient régional

➤ **Débits obtenus par hazan lazarevic**

Les débits de fréquences rares obtenus par Hazan-Lazarevic sont ainsi :

Tableau 8: Débits obtenus par la formule de Hazan Lazareviç.

Paramètres		Les débits de fréquences rares obtenus par hazan lazareviç			
T		10	20	50	100
a	2				
K1 et k2	9.38 et 0.742	90.4	108.6	132.6	150.7

•METHODE RATIONNELLE

Expression De La Formule :

La formule rationnelle est généralement utilisée pour des petits bassins versants de moins de 20 Km². Elle a l'expression suivante dans laquelle il faut homogénéiser les unités :

$$Q_p = \frac{C \times I(T, t_c) \times A}{3,6} \quad \text{sachant que} \quad I(T, t_c) = a(T)t^{-b}(T)$$

- Q_T : débit de pointe d'une crue de période de retour donnée en m³/s.
- C : coefficient de ruissellement du bassin versant.
- S : superficie du bassin versant en Km².
- t_c : temps de concentration en heures.
- a et b : les paramètres de montana
- I (T, t_c) : intensité de la précipitation pour une durée de précipitation égale au temps de concentration (en mm/h)
- A : surface du BV

Tableau 9:Coefficients de Montana à Marrakech ville.

T (ans)	A	B
2	2,967	0,639
5	4,944	0,620
10	6,270	0,615
20	7,545	0,612
50	9,197	0,610
100	10,437	0,608

Le tableau des coefficients de ruissellements recommandé par le SETRA (Service des études sur le transport, les routes et leurs aménagements : organisme français) pour la crue décennale est comme suit :

Tableau 10:Coefficients de ruissellements par SETRA.

COUVERTURE VEGETALE	MORPHOLOGIE	PENTE MOYENNE %	TERRAIN AVEC SABLE GROSSIER	TERRAIN ARGILEUX OU LIMONEUX	TERRAIN ARGILEUX COMPACT
Bois	Presque plat	0 - 5 %	0,10	0,30	0,40
	Onduleux	5 – 10 %	0,25	0,35	0,50
	Montagneux	10 – 30 %	0,30	0,50	0,60
Pâturage	Presque plat	0 - 5 %	0,10	0,30	0,40
	Onduleux	5 – 10 %	0,15	0,36	0,55
	Montagneux	10 – 30 %	0,22	0,42	0,60
Culture	Presque plat	0 - 5 %	0,30	0,50	0,60
	Onduleux	5 – 10 %	0,40	0,60	0,70
	Montagneux	10 – 30 %	0,52	0,72	0,82

➤ **Les débits obtenus par la méthode rationnelle**

Tableau 11 : Débits calculés par la méthode rationnelle

Paramètres		Les débits de fréquences rares obtenus par la méthode rationnelle							
T		10		20		50		100	
Coefficients de Montana à Marrakech		A	B	A	b	a	b	A	B
		6.270	0.615	7.545	0.612	9.197	0.610	10.437	0.608
I(T,tc)		21		25.8		31.8		36	
A	66.42	116.2		142.8		176		199.3	
C	0.3								
tc	1.82h								

c) Ajustement statistique :

Cette méthode est basée sur les données des débits instantanés maximums annuelles de la station hydrologique Tahnaout qui est très proche du bassin versant Rheraya. Ce dernier présente les mêmes caractéristiques du point de vue climat et position géographique.

L'ajustement statistique faite à l'aide des différents modules de probabilité réalisé par **Hyfran plus**, pour retenir le meilleur résultat.

Les résultats graphiques d'ajustement permettent de donner une idée préjugée du degré de corrélation avec la distribution de la variable étudiée.

Ensuite en se base sur les résultats de l'analyse numérique qui classe les différentes lois utilisées selon les critères d'AIC et BIC en attribuant les plus faibles valeurs aux lois représentant les meilleurs résultats d'ajustement.

Pour notre étude les débits sont ajustés à l'aide des lois GEV, GUMBEL et log normal a 3 paramètres.

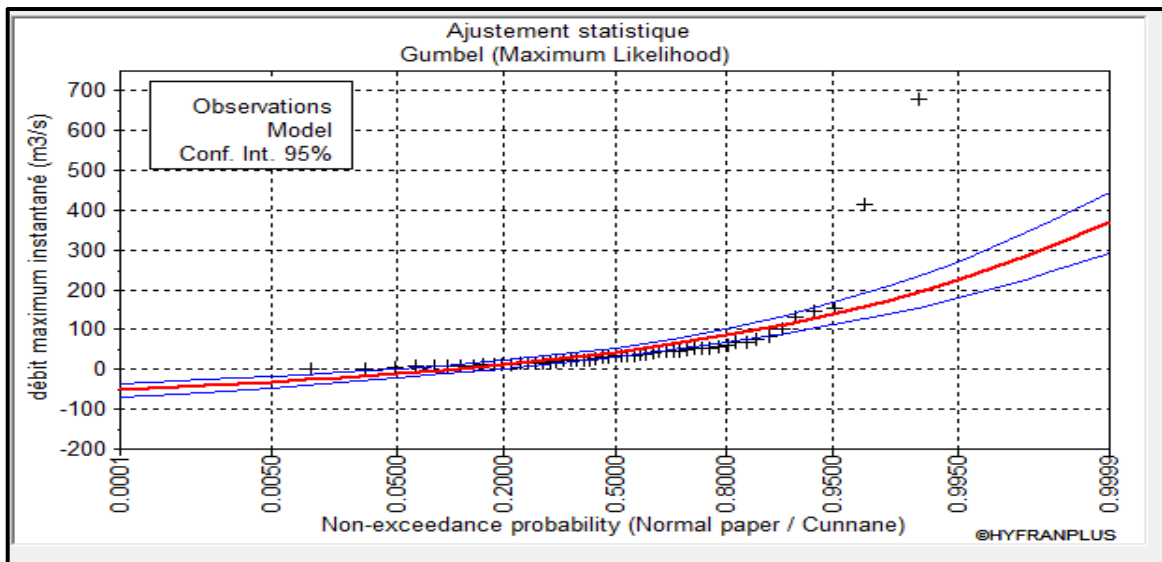
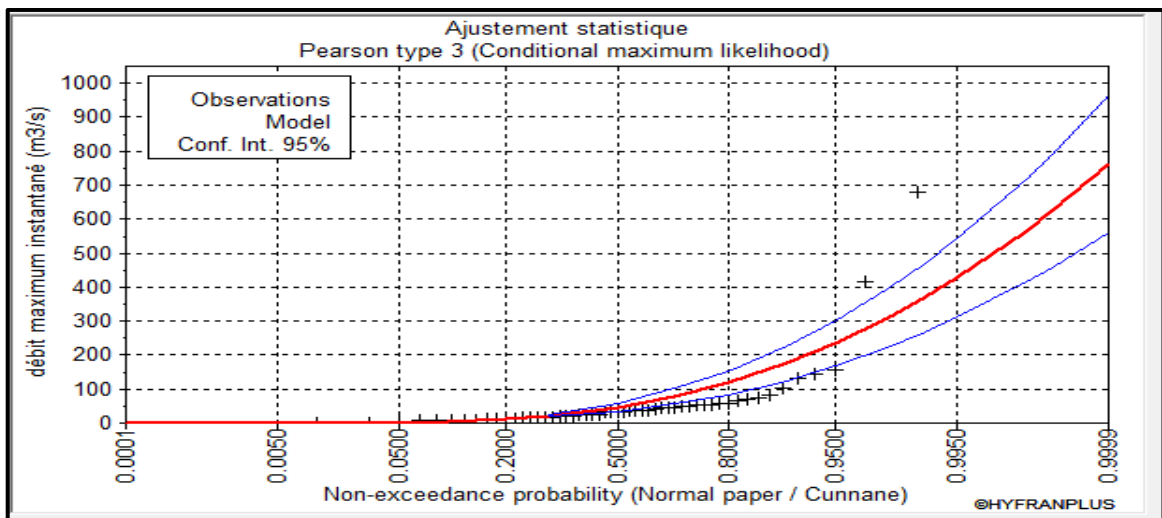
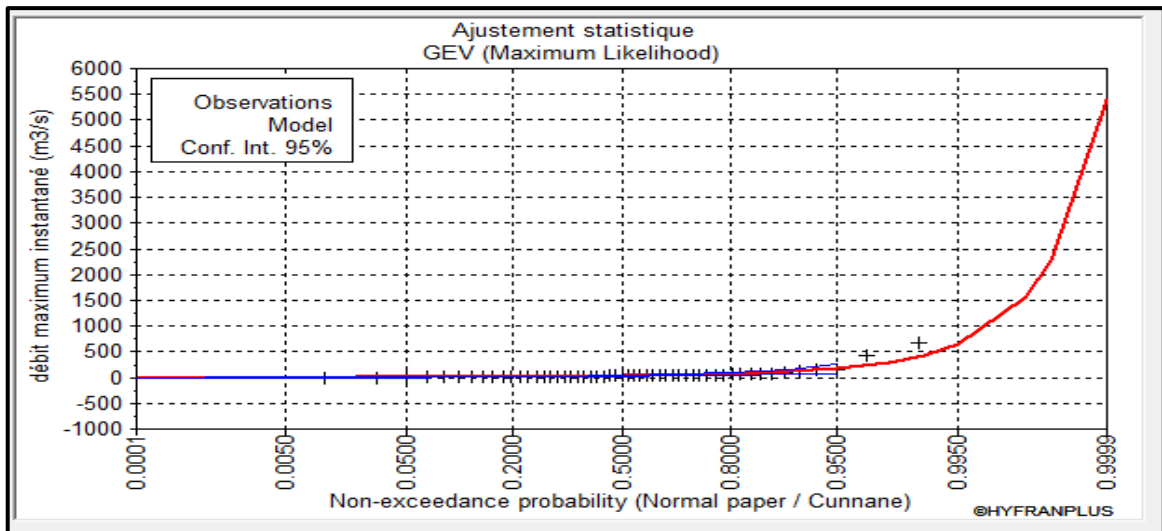


Figure 9 : ajustement graphique des débits maximaux instantané selon les lois statistiques, à la station de Tahanaout

• **Résultat d'analyse visuel :**

La loi GEV présente le meilleur résultat d'ajustement

Tableau 12: Ajustements numériques des lois aux débits maximaux annuels.

Méthode	AIC	BIC
GEV (maximum de vraisemblance)	527.316	533.227
Log normal 3 paramètres (maximum de vraisemblance)	529.939	535.850
Loi de Gumbel (maximum de vraisemblance)	568.819	669.760

• **Résultat d'analyse numérique :**

La loi GEV a les plus faibles valeurs des critères AIC et BIC alors qu'elle présente les meilleurs résultats d'ajustement.

➤ **Débit maximum annuelles retenus par la loi de GEV :**

Tableau 13 : Débits retenus par la loi de GEV.

Nom du bassin versant	Débits retenus par la loi GEV (m3/s)			
	Issil (station hydrologique tahanout)	10	20	50
	112	173	296	438

•Méthode de transposition

Oued Issil est un bassin versant non jaugé alors que les débits ne sont pas mesurés, nous allons donc les calculés par la méthode de transposition à l'aide de la méthode de transposition des débits du bassin de Rheraya avec la formule de **FRANCOU-RODIER**

Enonce de la formule :

$$\frac{QT}{10^6} = \left(\frac{S}{10^8}\right)^{\left(1-\frac{KT}{10}\right)}$$

Sachant que

$$K = 10 \times \left[1 - \left(\frac{\ln \frac{Q}{10^6}}{\ln \frac{S}{10^8}} \right) \right]$$

- QT débit de pointe de période de retour T en m3/s.
- T Période de retour en ans.
- S = superficie du bassin versant en km².
- KT = coefficient régional fonction du climat
- Q = Débit connu en m³/s (bassin versant de Rheraya)

➤ **Les débits obtenus par FRONCOU-RODIER.**

Tableau 14: Débits calculés par FRONCOU-RODIER.

T	BV RHIRAYA		kp	BV ISSIL	
	Surface Km ²	Débit M3/s		Surface Km ²	Débits calculé
10	225	112	3.01	66.42	47.70
20		173	3.34		76.75
50		296	3.76		138.11
100		438	4.06		212.02

Tableau 15:Récapitulatif des débits de pointe des crues pour une période de retour T.

METHODE	Débits de point des crues des périodes de retour T			
	10	20	50	100
MAILLET GAUTHIER	104.94	123.23	143.88	157.22
HAZAN LAZAREVIC	90.44	108.59	132.59	150.74
FULLER II	102.88	116.64	134.84	148.60
RATIONELLE	116.23	142.80	176.01	199.26
FRANCOU RODIER	47.70	76.75	138.11	212.02

Les différentes formules empiriques sont basées sur des coefficients qui sont plus au moins adaptés à la région étudiée, alors que les méthodes de transposition sont calculées à partir des données réelles (les débits max instantanés) de la station de Tahanaout

Chapitre 2 : simulation hydraulique, délimitation des zones d'inondation

La modélisation de la propagation de la crue dans la zone a été effectuée dans le but de déterminer les niveaux des Plus Hautes Eaux atteints de manière à délimiter les zones inondables.

I. Méthodologie du travail :

- **Le logiciel Hec ras**

HEC-RAS est un logiciel intégré pour l'analyse hydraulique qui permet de simuler les écoulements à surface libre. IL a été conçu par Hydrologic Engineering Center du U.S Army Corps of Engineerings. Basés sur un schéma de différence finie implicite (schéma de priessman)

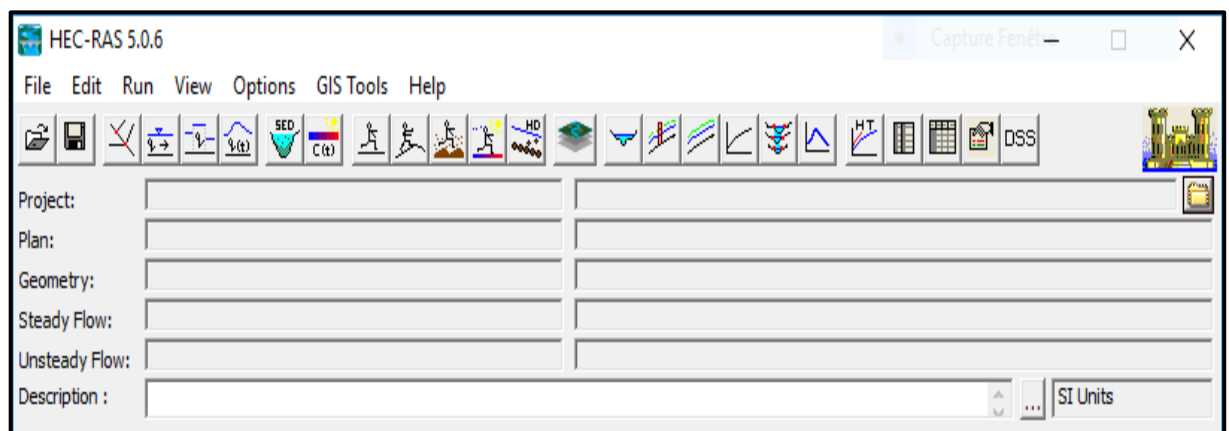


Figure 10 : l'interface du logiciel HEC-RAS

- **Création du projet HEC RAS**

Après l'ouverture de logiciel HEC RAS, la barre de menu comprend toutes les fonctions, le menu

File permet d'ouvrir et créer et sauvegarder un projet qu'on veut traiter :

Le fichier Projet contient le titre et la description du projet, le système d'unité utilisé et les liens vers tous les fichiers qui lui sont associés. Il comporte l'extension .PRJ

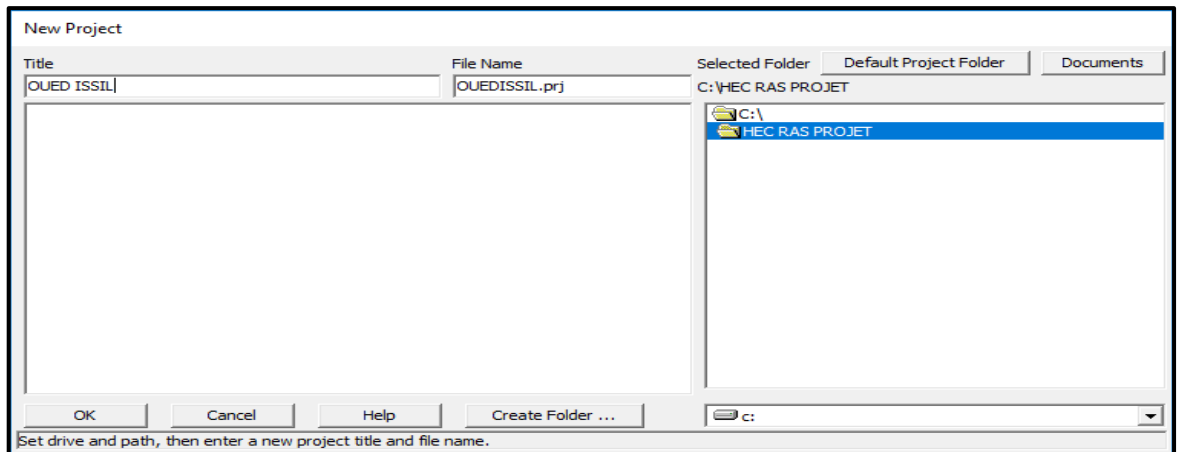


Figure 11 : création d'un nouveau projet

- **Préparation des données topographiques (création de la géométrie de l'Oued)**

Pour faire une simulation hydraulique on aura besoin de la topographie de la zone étudié d'oued issil, La qualité de la modélisation dépend étroitement de la qualité des données topographiques. Pour cela la précision des mesures et la résolution sont deux facteurs indispensables pour avoir une qualité fiable des données géométriques

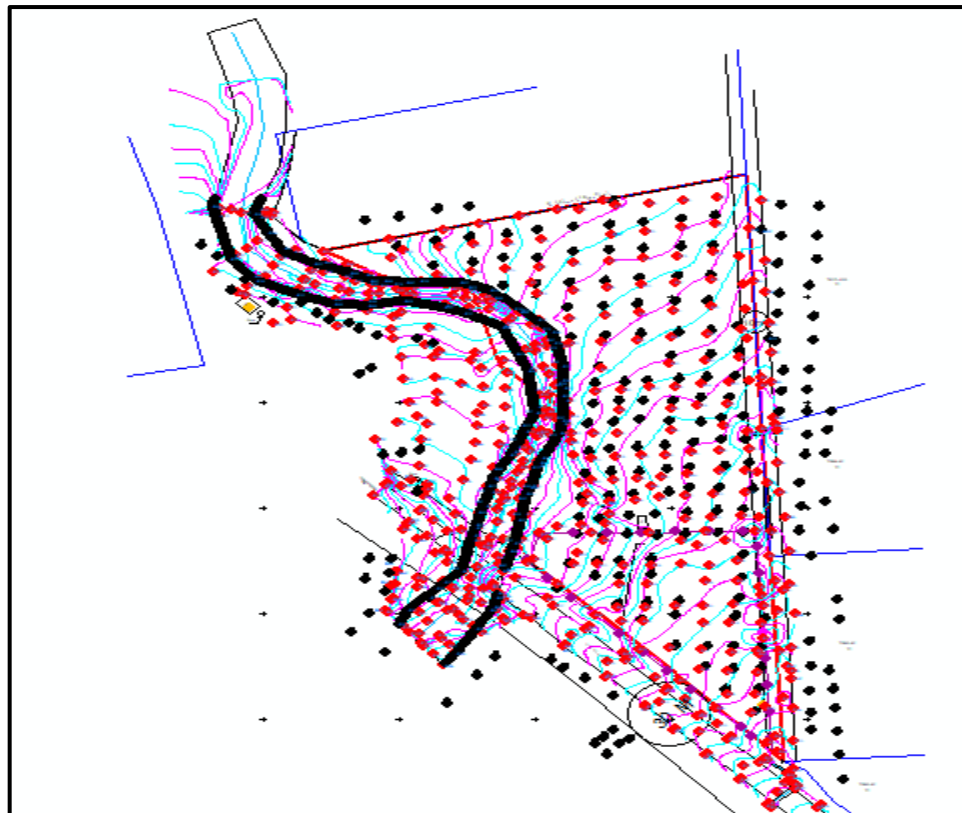


Figure 12: Topographie de la zone d'étude réalisée par géomètre topographe

La préparation des données géométriques est réalisée à l'aide du logiciel ARC GIS. Le model MNT TIN est considéré le meilleur fond topographique pour le modèle hydraulique HEC RAS afin de bien représenter le terrain à grande échelle.

Après la conversion des données en format MNT TIN, En passe à la MNT raster avant d'enregistrer le fichier géométrie.

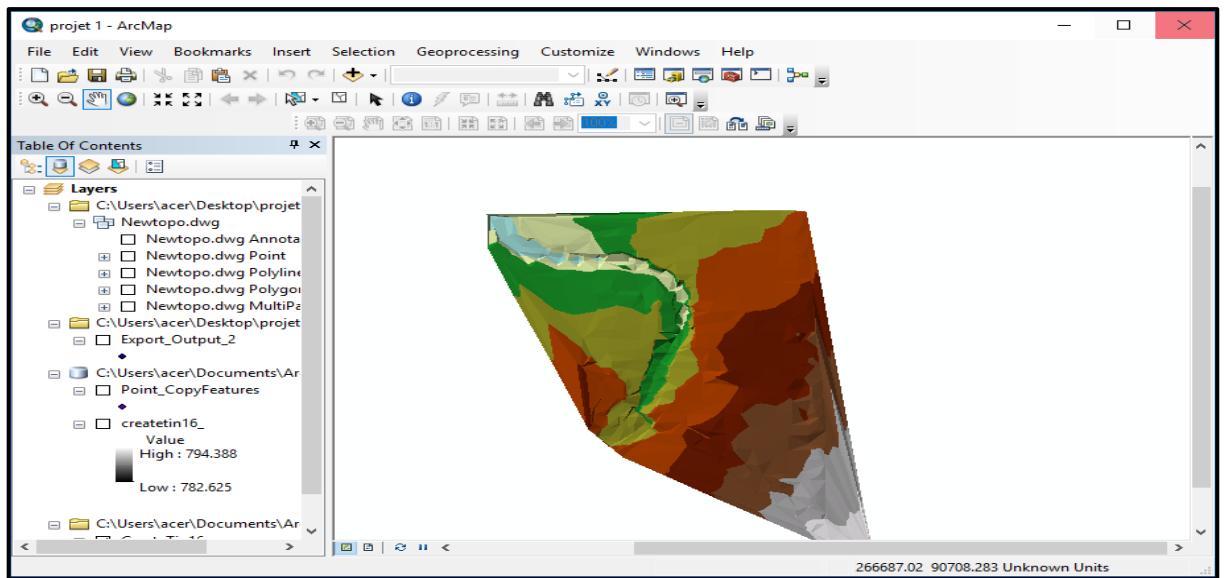


Figure 13: création du MNT TIN de la zone étudié

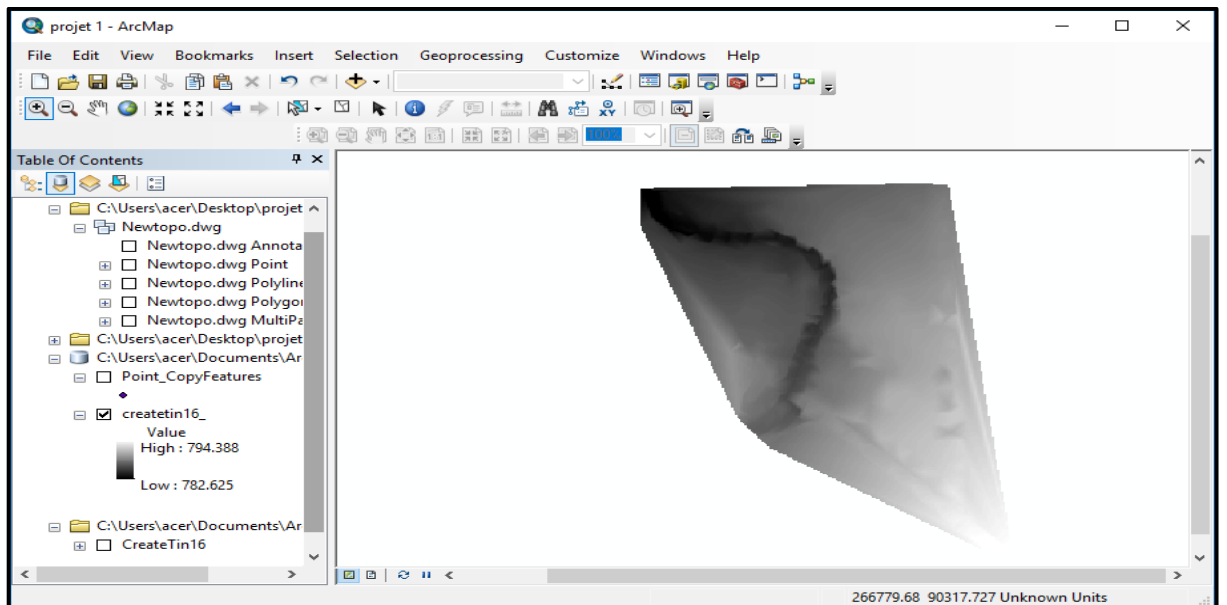


Figure 14 : création du MNT RASTER de la zone étudié

- **Choix des paramètres hydrométriques et conditions aux limites**

- **Coefficient de Manning**

Les valeurs des coefficients de Manning ont été déterminées sur la base des observations de terrain, en se reportant aux tableaux de références données dans la littérature.

Channel n Values have a light green background

River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1 846	n	0.035	0.03	0.035
2 822	n	0.035	0.03	0.035
3 821	Bridge			
4 777	n	0.035	0.03	0.035
5 739	n	0.035	0.03	0.035
6 699	n	0.035	0.03	0.035
7 651	n	0.035	0.03	0.035
8 612	n	0.035	0.03	0.035
9 575	n	0.035	0.03	0.035
10 525	n	0.035	0.03	0.035
11 494	n	0.035	0.03	0.035
12 449	n	0.035	0.03	0.035
13 419	n	0.035	0.03	0.035
14 353	n	0.035	0.03	0.035
15 290	n	0.035	0.03	0.035
16 242	n	0.035	0.03	0.035
17 191	n	0.035	0.03	0.035
18 145	n	0.035	0.03	0.035
19 95	n	0.035	0.03	0.035
20 46	n	0.035	0.03	0.035

Figure 15 : les valeurs utilisées pour le coefficient de Manning

- **Débit et conditions aux limites**

L'étape qui suit la préparation de la géométrie c'est de spécifier les débits utilisés pour les différentes périodes de retour (10, 20, 50,100).

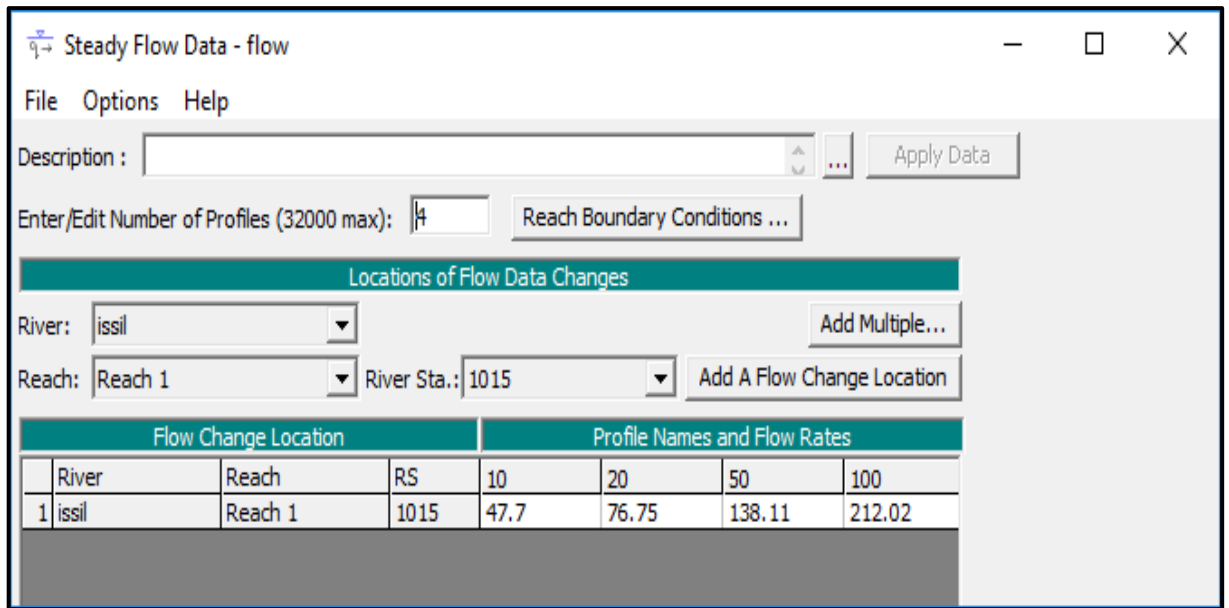


Figure 16: fenêtre des données hydrométriques

Le modèle est encadré par deux conditions aux limites amont et aval définies comme étant les plans d'eau correspondant à une pente hydraulique égale à la pente du lit de l'oued.

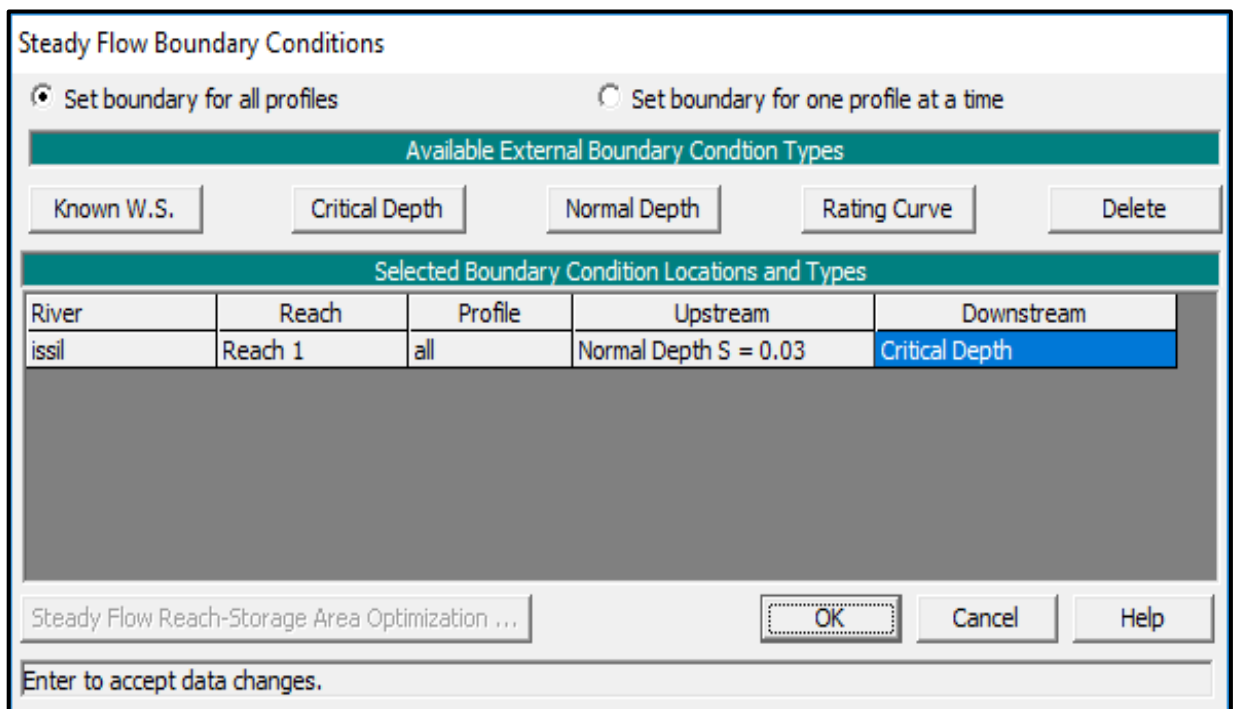


Figure 17 : conditions aux limites ; pente aval, amont

• *Ouvrage et ponts*



Figure 18 : pont sur la partie amont de la zone étudiée

Tableau 16:les différentes caractéristiques du pont

Caractères	ouverture	hauteur	largeur	épaisseur	poteaux
Mesure (m)	9	1.50	10	0.60	0.60

• **La géométrie :**

Après avoir préparé la topographie au format Raster ou TIN (Triangulated Irregular Network), on procède à exporter les données géométriques vers HEC-RAS sous forme d'un fichier , pour la création et la digitalisation des entités nécessaires : les traçons étudiés du réseau hydrographique, les lignes de berges, les lignes d'écoulement, et les profils en travers (Cross sections). Et là où on peut compléter en introduisant le coefficient de Manning, les conditions aux limites, les débits ainsi que les ouvrages.

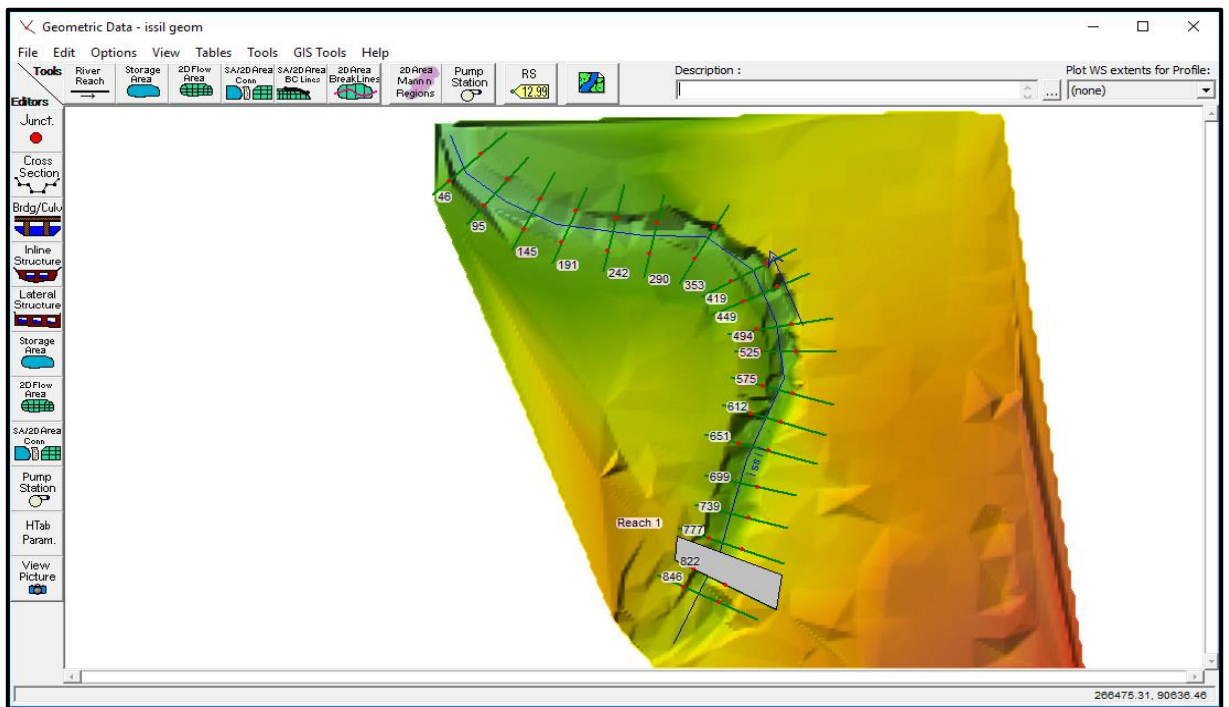


Figure 19 : la géométrie du bassin développée sous HEC ras

II. Simulation hydraulique

La simulation de l'étendue des crues correspond aux périodes de retour ($T=10, 20, 50, 100$) est effectuée une fois qu'on traite toutes les données (débits retenus, coefficient de Manning, conditions au limites, insertion de pont).

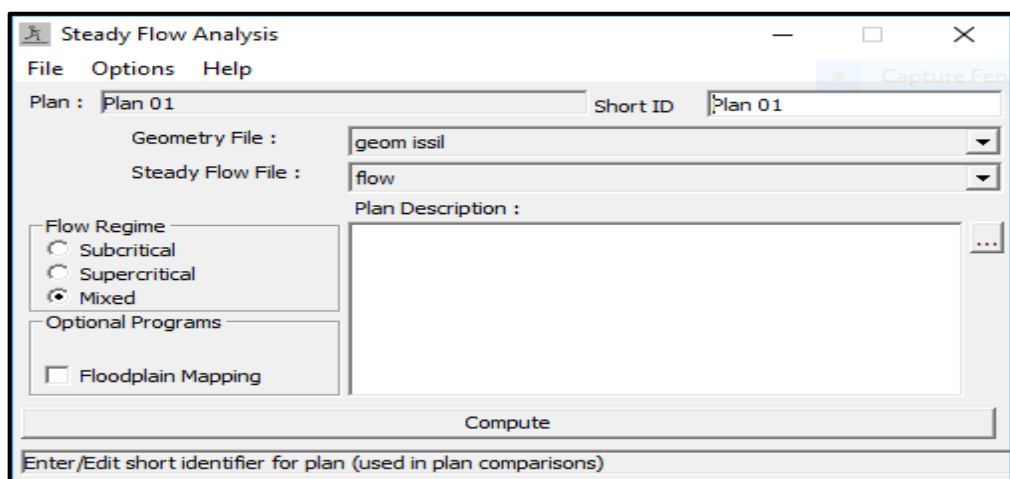


Figure 20 : fenêtre de simulation

• Discussion des résultats :

➤ Temps de retour 10 ans :

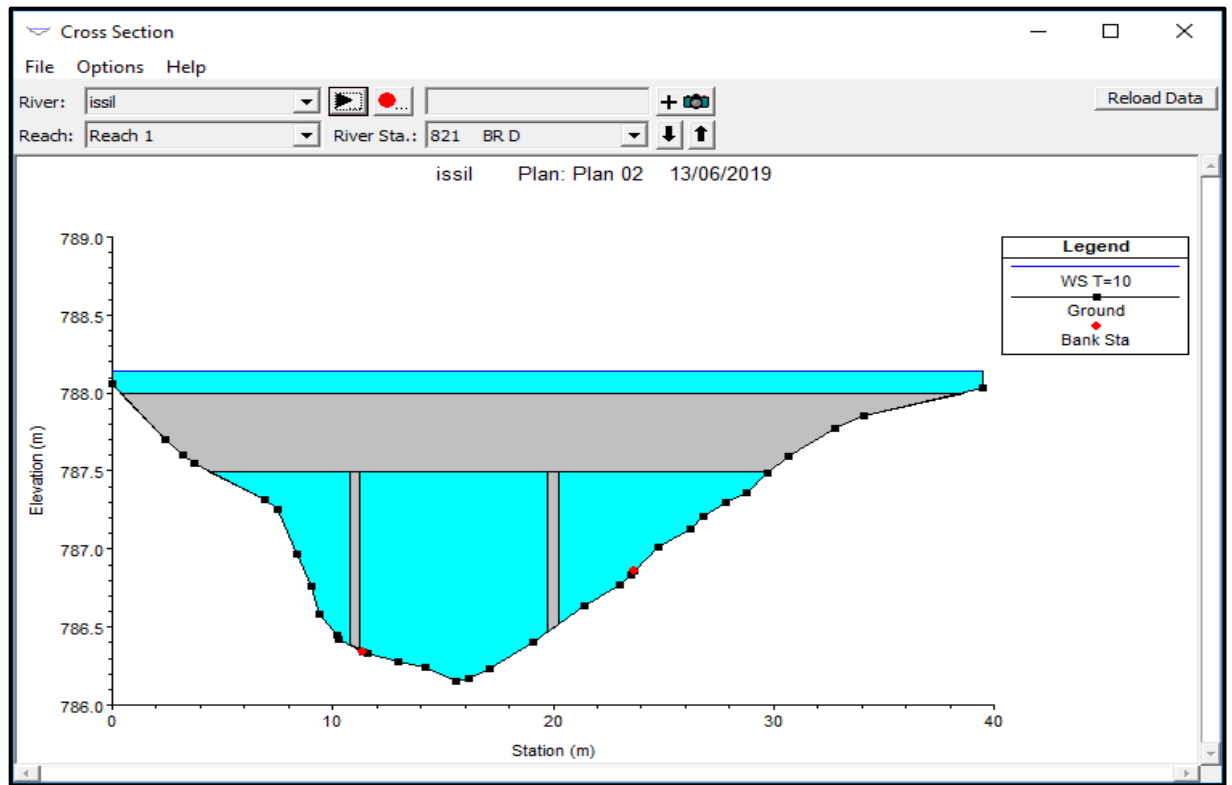


Figure 21 : section illustrant le niveau d'eau maximal atteint par le débit décennal



Figure 22 : étendue de la crue qui correspond à une période de retour de 10 ans

Pour la crue décennale on remarque qu'il n'y a aucun débordement dans la partie amont rive droite, en revanche on observe un faible débordement dans la partie amont rive gauche et la partie amont de l'oued. la vitesse maximal varie entre 1m/s et 4,7 m/s la lame d'eau maximal atteint jusqu'à 1 m de hauteur.

➤ **Temps de retour 20 ans :**

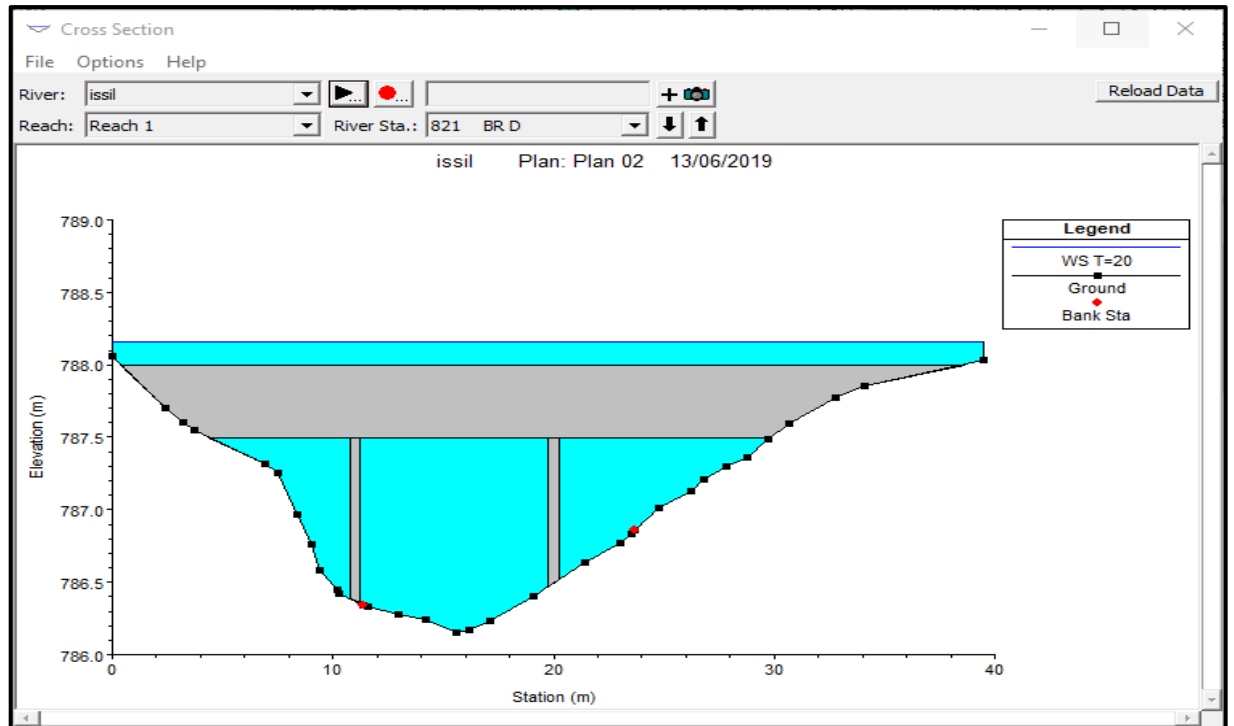


Figure 23 : section illustrant le niveau d'eau maximal atteint par le débit vingtennale



Figure 24 : étendue de la crue qui correspond à une période de retour de 20 ans

Pour la crue vingtennale on remarque qu'il n'y a aucun débordement dans la partie amont rive droite, à l'opposé on observe que le débordement devient plus important dans la partie amont rive gauche et la partie amont de l'oued. La vitesse maximale varie entre 1.2 m/s et 5m/s. La lame d'eau maximale est 1.6 m de hauteur.

➤ **Temps de retour 50 ans :**

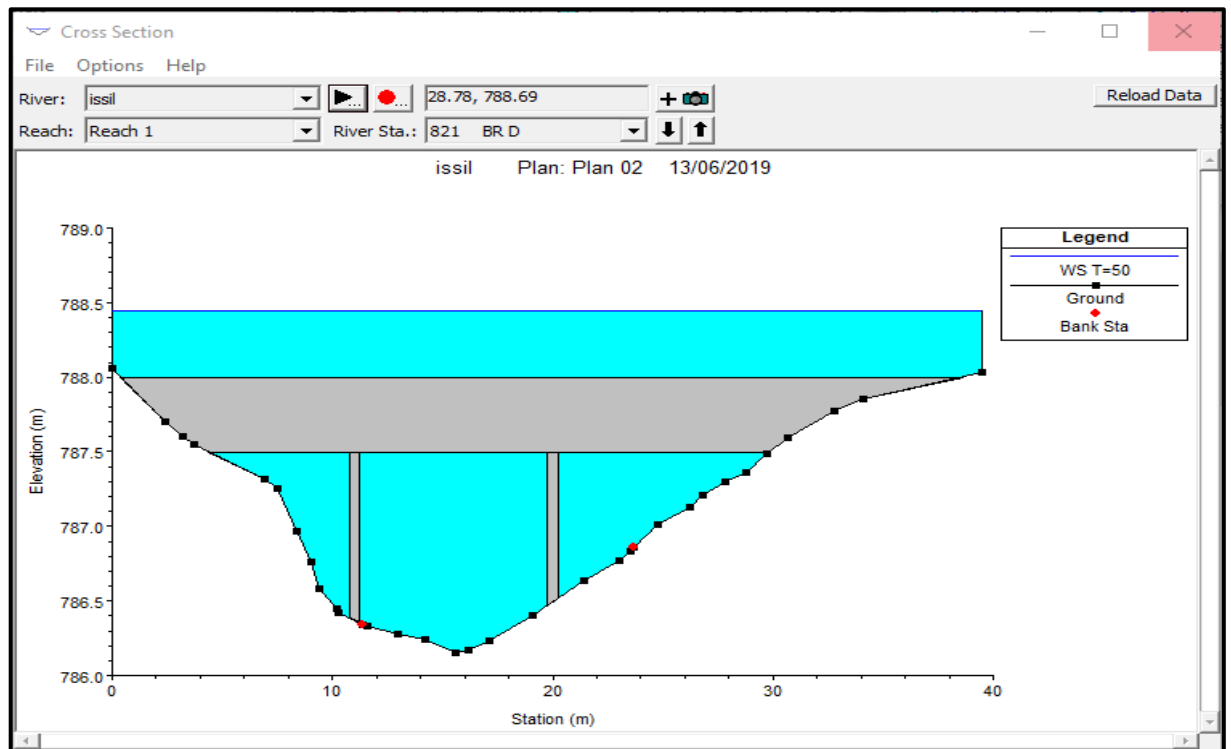


Figure 25 :section illustrant le niveau d'eau maximal atteint par le débit cinquantennale

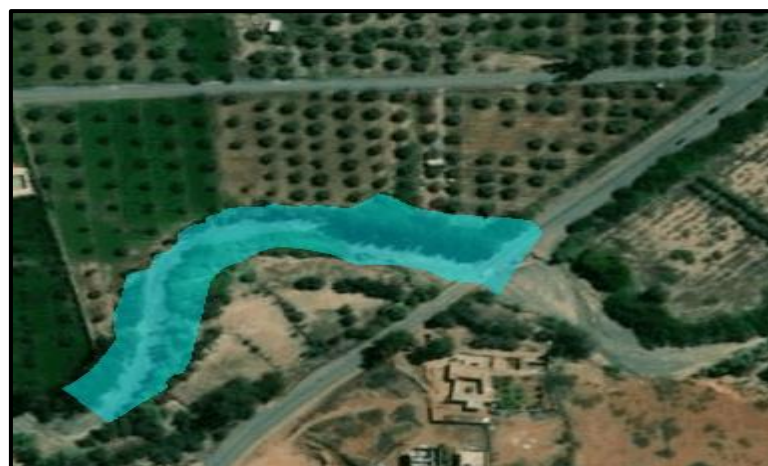


Figure 26 : étendue de la crue correspondant à une période de retour de 50 ans

Le passage de la crue cinquantennale engendre l'augmentation de débordement sur la partie amont et pour les rives gauche et droite de la partie aval, au niveau du tronçon intérieur de la partie rive droite le canal transite le débit de la crue cinquantennale sans débordement, la vitesse de l'écoulement varie entre 1.6 m/s et 5.4 m/s, la lame d'eau maximal est atteint jusqu'à 2.1 m de hauteur.

➤ **Temps de retour 100 ans :**

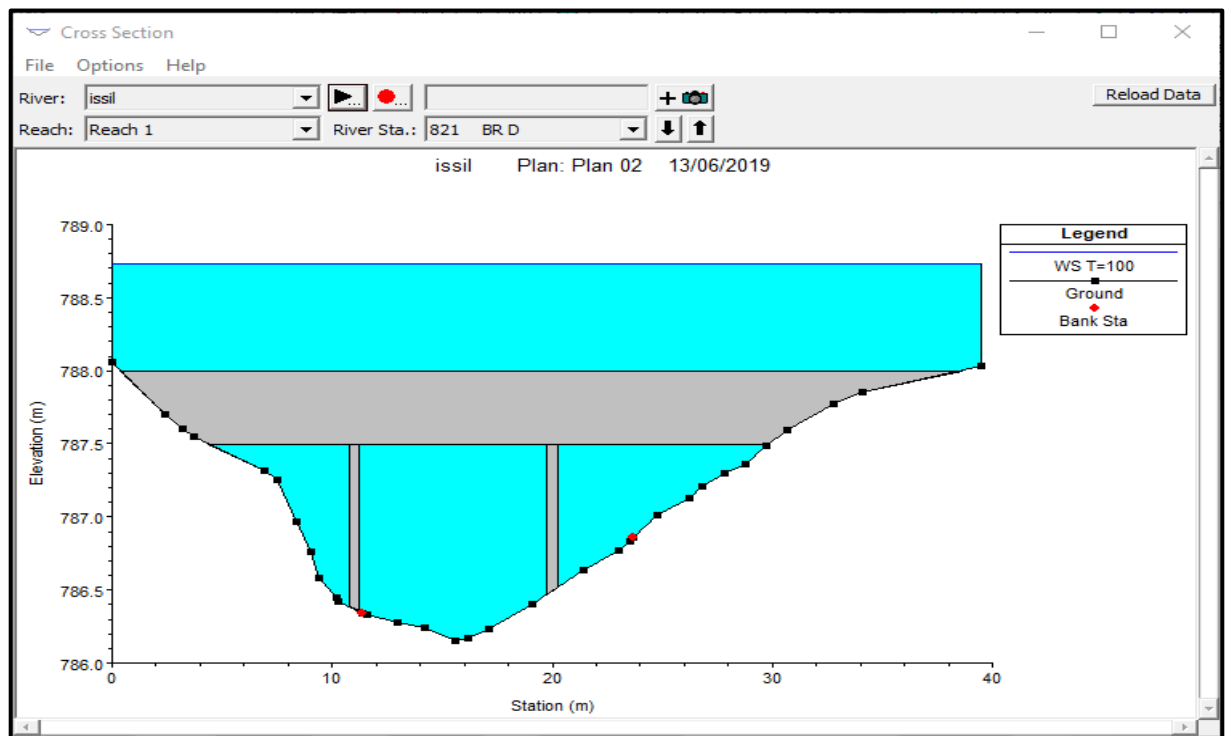


Figure 27 : section illustrant le niveau d'eau maximal atteint par le débit centennal



Figure 28 : étendue de la crue correspond a une période de retour de 100 ans

L'intervalle de débordement est élargi mais la partie du tronçon intérieur de la partie rive droite reste toujours intacte.

La vitesse de l'écoulement varie entre 1.8 m/s et 6.2 m/s, la lame d'eau maximale est de 2.3 m de hauteur.

• Vitesse d'écoulement :

On observe presque la même allure pour tous les niveaux d'eau. La vitesse augmente avec le niveau d'eau. La variation de vitesse est fonction de la topographie de terrain.

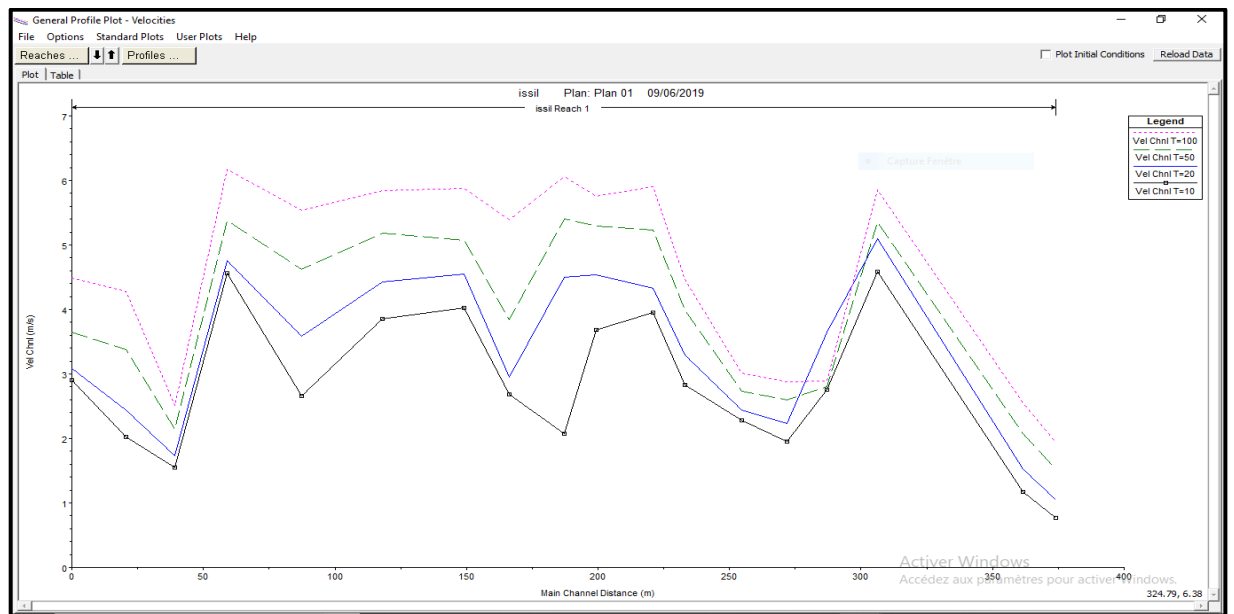


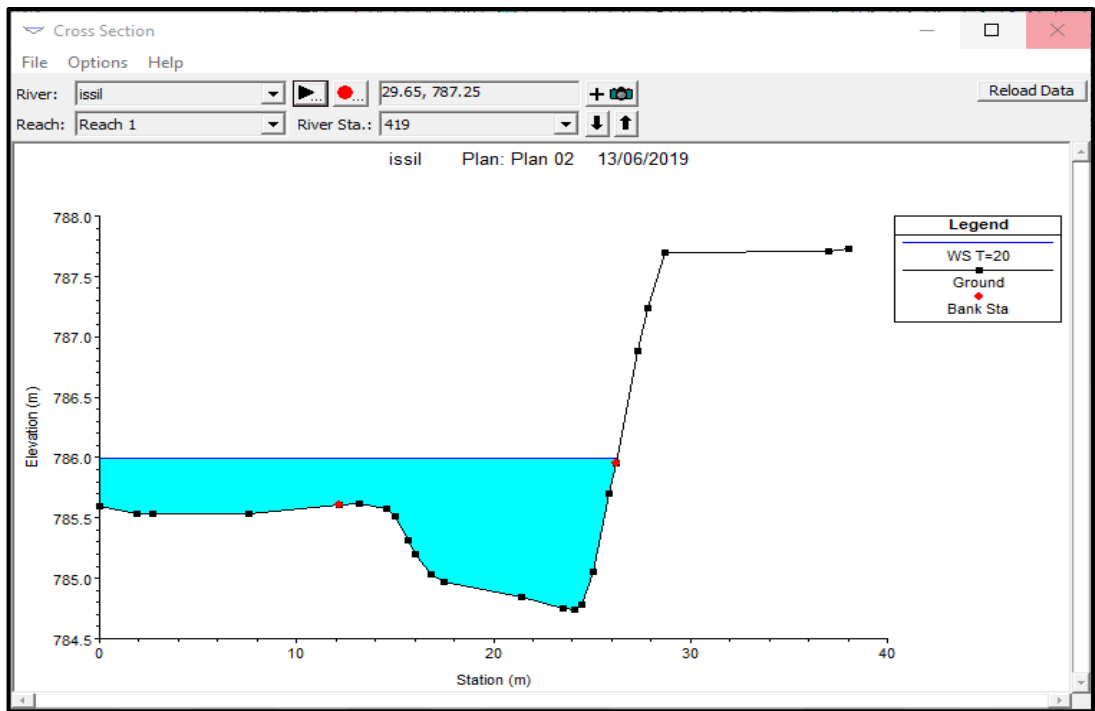
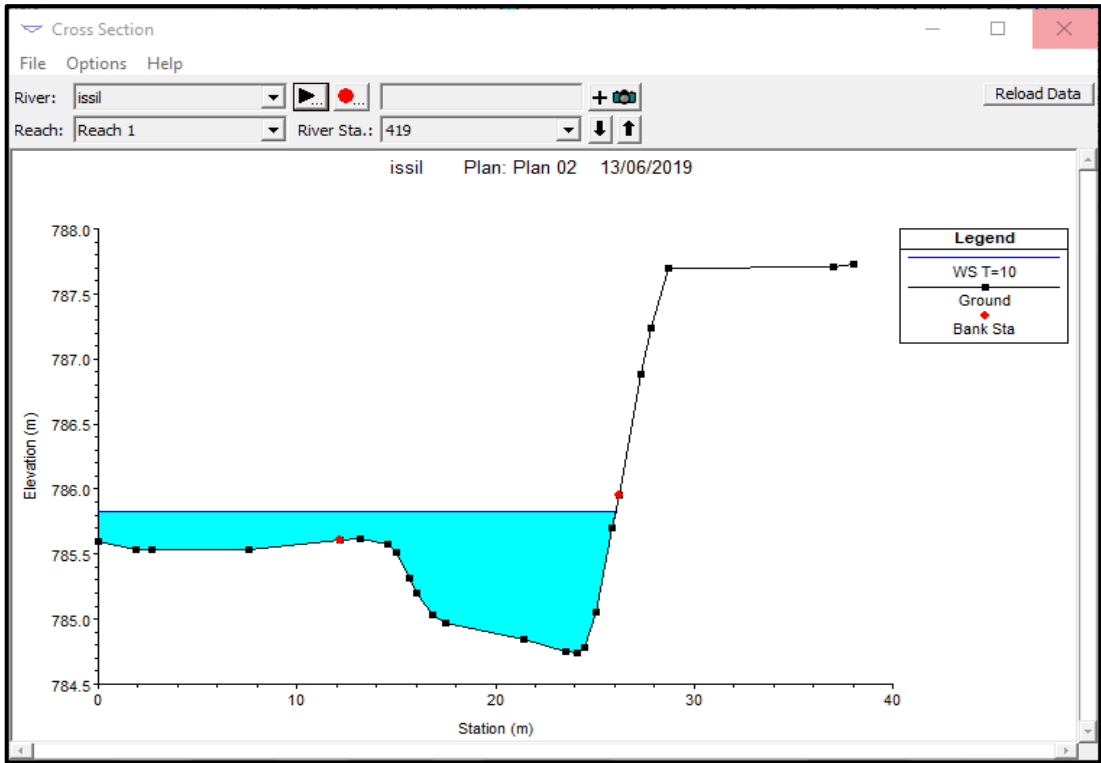
Figure 29 : variation de la vitesse d'écoulement en fonction de la distance à partir de l'exutoire

Nous avons déterminé trois zones fortement menacées par le risque d'inondation, qui sont des zones agricoles dans la rive gauche de l'oued à l'aval et l'amont, la rive droite sauf le tronçon dans sa partie intérieure. Les cartes obtenues ont permis aussi de visualiser la répartition de la profondeur des eaux, ce qui nous a aidé à proposer des aménagements (murs de protections et ouvrages de franchissements).

III. protection, suggestion des solutions

Le but final de cette étude est la proposition des solutions d'aménagement pour protéger les zones à risque d'inondation. L'analyse des résultats de la modélisation hydraulique et de la délimitation des zones inondables a montré un rapprochement entre les différents débits simulés, l'écart en altitude du plan d'eau ne dépasse pas 130 cm entre le Q10 et le Q100. Nous considérons donc le débit centennal comme débit de projet, et nous proposons les aménagements et les mesures suivant :

Vu que l'eau ne déborde pas sur la berge droite de l'oued.



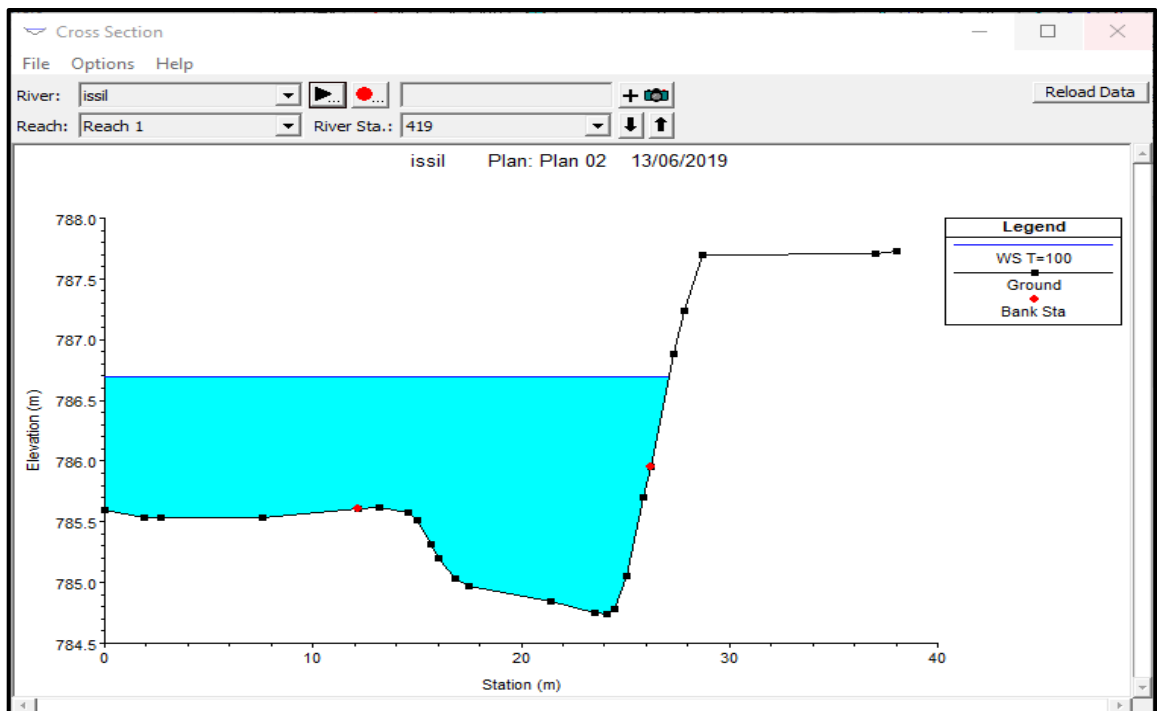
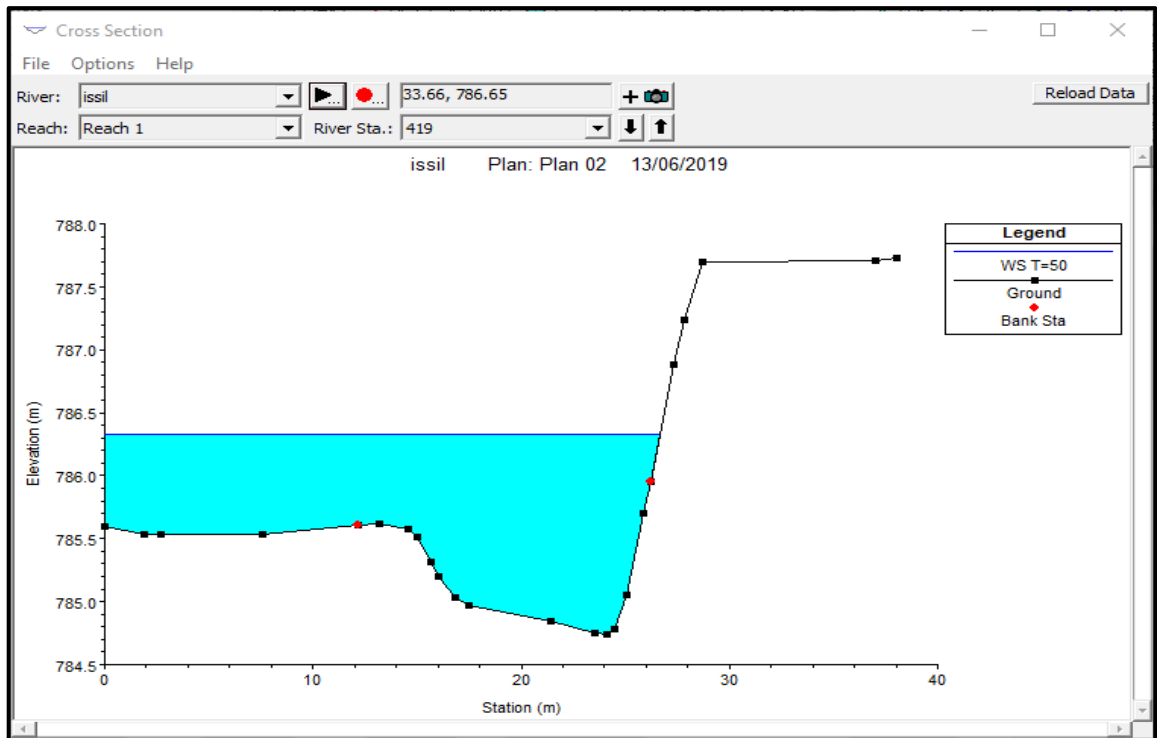


Figure 30: sections illustrant les niveaux d'eau du tronçon intérieur de la partie rive droite



Figure 31 : berge droite du tronçon intérieur de l'oued

Nous recommandons la construction d'un mur de protection le long de la berge gauche de l'oued, ou bien la surélévation des parties à basse topographie avec la simulation hydraulique. Cette méthode vise à augmenter la capacité maximale d'évacuation des eaux en période de crue, influe sur la vitesse d'écoulement de l'eau et réduit la surface inondable.



Figure 32 : exemple de mur de protection en gabion sur oued issil

Pour les terrains agricoles inondables a la berge gauche de l'oued , il s'agit des zones de topographie basse qui doivent être utilisées avec restriction : interdiction construction. Les inondations détruisent près que tous les champs et menacent les ménages. A ce propos, il est important, de

- mettre en place des cellules de surveillance et d'alerte des inondations pour le relais des informations relatives aux alertes.

- éviter le labour en mottes fines (plus elles sont grosses, plus la rugosité et la porosité du sol sont bonnes).

- créer des talus, des fossés ou des haies basses perpendiculaires à la pente pour favoriser l'infiltration.

Conclusion générale

L'étude de protection contre les inondations est un travail méthodique, qui consiste à suivre une procédure bien déterminée. Elle commence par le diagnostic du site d'étude dans le but de dégager l'ensemble des informations et caractéristiques nécessaires. Ensuite, une étude hydrologique est envisagée pour décrire le transfert pluie-débit au sein du bassin concerné, L'exploitation des débits de pointe obtenus dans une étude hydraulique permet de décrire la propagation des crues dans les tronçons concernés sous différents aspects : hauteur, débit, vitesse... Ces informations constituent la base de la délimitation des zones menacées par le risque d'inondation. Sur la base des résultats issus des études précédentes, la phase finale consiste à prendre les mesures adéquates pour la protection de la localité étudiée contre les débordements lors des crues. Pour notre cas, les études réalisées ont permis de délimiter trois zones inondables au niveau du tronçon de l'oued issil.

- La rive gauche de l'amont et l'aval
- La rive droite, partie amont.
- La rive droite, partie aval.

Nos suggestions pour l'aménagement de ce tronçon :

- Mur de protection en gabion de longueur de 3m, vu que la hauteur de la lame d'eau est atteint 2.4m lors de la crue centennale.
- Étant donné que l'eau ne déborde pas sur la partie intérieure du tronçon rive droite, de hauteur 2.5m. On a suggéré une surélévation du rive gauche avec la réalisation d'une simulation hydraulique

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABHT. (2004), Atlas des zones inondables. Rapport interne, 162 p.

OUAHIDY, A & CHOUKRI, M. (2018). Délimitation des zones inondables à la commune de Sidi El Ghandour province de Khmissat. Mémoire de fin d'études de licence. Faculté des Sciences et Techniques, Marrakech, 52 p.

BENKIRANE, M & AGOUZOUL, S. (2015). Évaluation de la qualité des ressources en eau dans la zone d'action de l'Agence du Bassin Hydraulique Tensift El Haouz. . Mémoire de fin d'études de licence. Faculté des Sciences et Techniques, Marrakech, 82 p.

HDID, F & RAFIK, H. (2018). Etude hydrologique et simulation hydraulique pour la délimitation des zones inondables au niveau de la localité de TLET IGHOU, PROVINCE D'AL YOUSSEFIA, (Maroc). . Mémoire de fin d'études de licence. Faculté des Sciences et Techniques, Marrakech, 50 p.

Annexes

Annexe 1 : Série des débits maximaux instantanés.

N°IRE : 1565/53

période de : 1962 à 2014

Station : TAHANNAOUT RHERAYA.

Unité : m³/s

Année	Qimax (m ³ /s)	Année	Qimax (m ³ /s)
1962	34.5	1988	59
1963	13	1989	103
1964	35.7	1990	26.2
1965	37.3	1991	67.6
1966	54.3	1992	24.6
1967	56.4	1993	45.7
1968	9.26	1994	680
1969	8.69	1995	68.2
1970	24.2	1996	15.6
1971	15.6	1997	31.55
1972	42.3	1998	46
1973	48	1999	414
1974	12	2000	0.649
1975	16.2	2001	15
1976	9.42	2002	22.25
1977	21.6	2003	18.515
1978	9.64	2004	0
1979	39	2005	131
1980	36	2006	11.7
1981	33.73	2007	12.9
1982	22.5	2008	54.7
1983	30.9	2009	7.7
1984	23.4	2010	47.7
1985	54	2011	5.6
1986	154.9	2012	83.1
1987	145.8	2013	44.8
		2014	75.7

Annexe 2 : Série des pluies mensuelle & annuelle.

N° de station : 7512

période de : 1971 à 2017

Station : TAHANNAOUT RHERAYA.

Unité : mm

annee	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	
1971	1.2	12.6	4.7	7.5	69.1	77.5	60.8	34.3	63.4	60.7	3.5	0	437.6
1972	13.3	51.8	69.7	38	28.3	31.4	79.3	55.5	10.6	11.2	0	3.7	392.8
1973	0	28.6	82.3	85.1	11.3	103.6	112.5	136.1	4.5	19.3	0	1.2	584.5
1974	17.8	21.4	6.2	8.2	42	20.4	46.4	149.7	42	10.2	0.5	4.6	369.4
1975	29.8	0	23.4	8.5	23.2	60.6	58.1	128.8	111.3	0	0	17.8	461.5
1976	11.4	71.3	0	38.4	0	41.2	32.1	5.2	0	3.3	0	0	202.9
1977	55.3	51.6	45.2	58.9	73.6	21.9	1.6	69.9	28.3	37.4	0	8.8	452.5
1978	4.4	32.4	1.5	83.1	0	62.7	9.1	20	14	8.9	3.5	0	227
1979	20	120.1	4.4	4.4	40.9	56.1	85.8	54.2	0	6.4	0	0	392.3
1980	0	56.1	61.3	3.9	17.2	61	46.4	38.4	3.7	6.6	0	2.1	296.7
1981	12.9	18	0	16	70	44.6	22.5	135.5	70.8	1.6	20.4	0	412.3
1982	5.5	8.1	23.5	20.2	1	77.5	30.2	33.1	21.4	0	0	1.3	221.8
1983	0.7	18.2	29.5	22.9	23.9	1.5	71.2	46.1	96.2	0	1.4	0	311.6
1984	7.5	7.9	54.9	0	196.2	18.4	10	56.2	37	1.1	6.3	0	395.5
1985	0	8	32.8	42.7	63.3	57.9	38.5	19.7	37.9	22.1	4.1	0	327
1986	3.7	22.7	58.2	0	28.5	113.3	26.6	4	5	11.9	0	6.2	280.1
1987	12.1	50.3	43.5	22.5	87.2	70.4	29.1	4.5	19.9	2	23.2	0.3	365
1988	1.3	63.5	133	0	33	51.5	120.9	95.6	6.3	5.4	6	28.1	544.6
1989	1.8	65.4	28.2	62	44.3	0	43.4	24.4	28	18	3.9	8.4	327.8
1990	14.5	2.1	4.6	49.5	0	159.4	179.9	21.2	4.7	9.5	8.7	7.9	462
1991	28.1	20.8	11.3	23.1	0	46.4	83.2	70.5	11.5	58.4	0.7	6.6	360.6
1992	4.8	46.3	11.6	5	23.7	28	28.2	26.4	16.9	0	0	1.3	192.2
1993	2.7	22.1	92.4	30.1	85.4	119.4	46.5	5.2	12	0	0	0.2	416
1994	1.3	30.3	8.3	0	0	89.1	56	138.6	0	6	0	0	329.6
1995	12.9	26.3	28.8	48.9	142.4	58.2	161.7	8.7	32.8	18.3	0	0	539
1996	6.9	7.8	60.5	89.6	55.7	6.4	45.6	169.5	20.2	7.1	0.1	0	463.4
1997	82.4	36.8	48.2	71	10.8	13.2	21.6	27.2	41	1.4	0	1.2	354.8
1998	10.6	15	0	58.9	95	86.4	68.9	4.9	17.9	0.5	0	14.8	372.9
1999	3	101.1	28.3	33.2	9.4	0	2.6	61.2	41.4	0	0	0	280.2
2000	2.2	42.9	11.2	40.6	43.3	10.6	17.1	23.7	6.3	13.8	0	0.4	212.1
2001	3.6	1	13.9	23.9	0.7	3.8	67.7	129.7	32.7	19.2	0	0	296.2
2002	2.2	4.2	73.2	23.2	26.4	12.2	38.5	34.6	14.2	40.1	1.5	19.4	289.7
2003	5.7	79.7	107	31.6	0	29.4	56.6	59.9	78.3	14	3.2	1.5	466.9
2004	18.2	31.5	27.2	29.3	2.9	49.3	22.6	4.9	3.3	3.9	0.9	19.2	213.2
2005	0	58.6	19.9	25.6	115	52.1	6.9	92.1	10.5	21.2	1.8	1.9	405.6
2006	8.2	55.6	22.5	48.1	6.8	49.4	2.4	87.1	49.6	2.2	0.8	9	341.7
2007	4	12.7	106.7	11.5	49.4	21	10.5	3.4	53.3	0	0	4	276.5
2008	48.3	83.8	58.5	31.9	95	96.4	91.4	1.9	17.4	19.9	5.7	0.4	550.6
2009	49	3.6	1.1	36.1	78.5	81.6	46.2	2.8	35.6	8.8	13.8	40.3	397.4
2010	26.8	47.2	34.4	7.8	18.6	1.9	61.9	132.7	92.2	23.1	0	2.5	449.1
2011	6	17.5	69.6	0.6	23.1	13.4	21.6	124	3.1	0	0.3	19	298.2
2012	66.5	60.5	80.6	13.5	38.6	34.1	49	49.1	6.2	1.1	0	0.5	399.7
2013	17.1	6.4	15.8	13.3	101.9	35.4	101.8	41.7	28.2	0.4	0	3.7	365.7
2014	23.7	1	203.2	15.2	64.1	35.1	169.4	4.6	63.2	10.5	24.1	33.8	647.9
2015	14.3	27.6	22	1	9.1	63.5	61.2	5.7	23.3	5.7	21	21	275.4
2016	0.3	8.8	84.6	50.6	28.3	56.4	34.9	79.1	5.1	0.4	1	5	354.5
2017	0	12	33.5	0	99.2								133.9