



كلية العلوم  
والتقنيات - مراكش  
FACULTÉ DES SCIENCES  
ET TECHNIQUES - MARRAKECH



وكالة الموض المائية لتانسيفت  
Agence de Bassin Hydraulique du Tensift

**DEPARTEMENT DES SCIENCES  
DE LA TERRE**

Licence en Sciences et Techniques

*EAU ET ENVIRONNEMENT*

**ETUDE HYDROLOGIQUE ET SIMULATION  
HYDRAULIQUE POUR LA DELIMITATION DES  
ZONES INONDABLES AU NIVEAU DE LA LOCALITE  
DE TLET IGHOU, PROVINCE D'AL  
YOUSSEFIA ,(Maroc)**

Réalisé par : **HDID Fatima** et **RAFIK Hiba**.

**Soutenu le :**

**21 juin 2018**

**Devant le jury composé de :**

Mohamed JAFFAL : Faculté des Sciences et Techniques – Marrakech (Encadrant interne)

Said RACHIDI : Agence du Bassin Hydraulique Tensift(Encadrant externe)

Brahim IGMOLLAN : Faculté des Sciences et Techniques – Marrakech (Examineur)

**Année universitaire : 2017 / 2018**

## REMERCIEMENT

On tient tout d'abord à remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la foi et qui nous a permis d'en arriver là.

On remercie aussi toutes les personnes qui ont participé de différentes façons à la réussite de notre mémoire et plus particulièrement les personnes qu'on cite ci-dessous.

L'équipe pédagogique du département de géologie de la Faculté des Sciences et Technique de Marrakech, En raison de leur compréhension et de leur collaboration nous exprimons nos reconnaissances à toutes ces personnes.

On remercier particulièrement notre encadrant **Mr JEFFAL M** pour tous ses conseils, sa collaboration, sa disponibilité, ses appuis pendant toute la période de stage, et son encouragement qui nous a aidées à surmonter nos difficultés, Vos précieux conseils, vos commentaires, et vos critiques ont été très utiles pour élaborer ce travail. Un simple mot de merci n'est pas suffisant pour vous exprimer nos gratitude.

Un grand merci à tout le Personnel de l'Agence du Bassin Hydraulique De Tensift. Et plus particulièrement **Mr RACHIDI S**, pour nous avoir apporté assistance tout le long de ce travail.

Un grand Merci à **Mr. SAIDI M.** pour son aide. Nous tenons aussi à exprimer nos sincères remerciements aux membres du jury qui nous ont fait honneur en acceptant d'évaluer ce travail.

Les mots ne suffisent pas pour remercier sincèrement nos très chers Parents pour leurs innombrables sacrifices, leurs amour, leurs encouragements, leurs soutien, et leurs prières, Les mots ne suffisent pas pour vous exprimer notre grand merci.

Merci à nos chers sœurs et frères, pour leurs encouragements.

Enfin on tient à remercier les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, et dont les noms ne figurent pas dans ce document.

## Table des matières

Introduction.....	6
Chapitre I : Présentation de la zone d'étude.....	8
I. Contexte administratif :.....	8
II. Cadre géographique :.....	9
III. Climat :.....	9
Chapitre II : Etude hydrologique du bassin versant de TLET IGHOUD .....	12
I. Introduction :.....	12
II. Délimitation du bassin versant :.....	12
1. Réseau hydrographique :.....	16
2. Propriétés géométriques du bassin versant : .....	17
III. Caractéristiques topographique.....	19
1. Hypsométrie du bassin versant : .....	19
1. La pente : .....	22
1. Conclusion :.....	23
Chapitre III : Calcul des débits de pointe.....	25
I. Introduction :.....	25
II. Temps de concentration :.....	25
1. Formule de Giandotti : .....	25
2. Formule de Ventura :.....	26
3. Formule de Kripich : .....	26
4. Formule de Van Te Chow : .....	26
5. Formule espagnole :.....	26
III. Calcul des débits de pointe :.....	27
1. Méthodes empiriques : .....	27
2. Méthode rationnelle : .....	30
3. Méthode d'ajustement et transposition :.....	33
Chapitre IV : Simulation hydraulique et établissement des cartes des zones inondables.....	39
I. Objectifs :.....	39
II. Etapes de modélisation :.....	39
1. Données d'entrée :.....	39
2. Paramètre du modèle :.....	41
3. Simulation des crues pour les différentes périodes de retour et cartes des zones inondables :.....	42
III. Interprétations des résultats :.....	44
1. Les profils en longs : .....	44
2. Les profils en travers : .....	45
3. Resultat de simulation hydraulique : .....	46
Conclusion générale .....	47
Annexe.....	48
Bibliographie.....	48

## Liste des figures

Figure 1: Situation générale de la zone d'étude.....	8
Figure 2: Image Google Earth montrant la localisation de la localité d'IGHOUD par rapport à l'Oued Bridia. ....	9
Figure 3 : diagramme climatique D'AL Youssoufia .....	10
Figure 4: carte des MNT du Maroc.....	13
Figure 5: Délimitation du bassin versant.....	14
Figure 6 : Carte MNT du bassin versant .....	15
Figure 7: Carte du réseau hydrographique .....	16
Figure 8: courbe hypsométrique de bassin versant IGHOUUD .....	20
Figure 9: Carte hypsométrique du bassin versant IGHOUUD.....	21
Figure 10: Carte de pente du bassin versant IGHOUUD.....	23
Figure 11: Ajustement graphique des débits maximaux instantanés selon les lois statistiques, à la station d'Abadla. ....	34
Figure 12: Débits calculé par la méthode de Franco-Rodier.....	36
Figure 13: Débit obtenue par les différentes méthodes. ....	37
Figure 14: Profils topographiques utilisés pour la simulation hydraulique de l'oued Bridia. ....	40
Figure 16: Etendue de la crue correspondant à une période de retour de vingt ans .....	42
Figure 15: Etendue de la crue correspondant à une période de retour de dix ans.....	42
Figure 17: Etendue de la crue correspondant à une période de retour de cinquante ans.....	43
Figure 18: Etendue de la crue correspondant à une période de retour de 100 ans.....	43
Figure 19: Profils en long de l'oued Bridia .....	44
Figure 20: Exemple de section illustrant les niveaux d'eau maximaux atteints par le débit centennal .....	45

## Liste des tableaux

Tableau 1: Cadre administratif .....	8
Tableau 2: Projection de la population urbaine de TLET IGHOUD (2004 à 2030) .....	8
Tableau 3: Les caractères physiques du bassin versant Ighoud .....	18
Tableau 4: Répartition hypsométrique du bassin versant IGHOUD .....	19
Tableau 5: récapitulatif des diverses valeurs du temps de concentration .....	27
Tableau 6: les valeurs du temps de concentration retenue.....	27
Tableau 7: Débits calculé par la formule Mallet-Gautier .....	28
Tableau 8: Débits calculé par la formule Fuller II .....	28
Tableau 9: Débits calculé par la HAZAN – LAZAREVICK : .....	29
Tableau 10: Résultats des débits de pointe par les formules empiriques .....	30
Tableau 11: les coefficients de MONTANA calculés(novec) .....	31
Tableau 12 : les intensités calculées dans chaque temps de retour T .....	31
Tableau 13: Coefficients de ruissellement par SETRA(novec).....	32
Tableau 14: : Débits calculés par la méthode rationnelle .....	33
Tableau 15: Critères de comparaison des ajustements des lois aux débits de pointe à la station d'Abadla. (100 ans) .....	35
Tableau 16: Estimation des débits de retour selon des différentes lois d'ajustement à la station d'Abadla .....	35
Tableau 17: Les débits retenus pour l'oued BRIDIA pour différentes périodes de retour .....	41
Tableau 18: Résultats de la simulation hydraulique de l'oued Bridia .....	46

## 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 (INRS-ETE). 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)

### ARC-GIS :

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.

## Introduction

L'inondation c'est une submersion plus ou moins rapide d'une zone pouvant être habitée, suite à des pluies importantes en durée ou en intensité. En effet, l'ampleur des inondations arrive de façon périodique et dépend des conditions météorologiques. Une inondation correspond au débordement des eaux lors d'une crue et peut survenir suite à une augmentation du débit d'un cours d'eau ou à une concentration des ruissellements.

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 occupe le premier rang sur le plan de fréquences d'occurrences, et le deuxième rang derrière les risques sismiques.

Aussi le risque d'inondation est le résultat de la présence à la fois d'un cours d'eau susceptible de déborder après de fortes précipitations. Il est à souligner que la vulnérabilité augmente fortement avec le développement urbain et que des situations de risques peuvent être créées là où il n'y en avait pas auparavant, d'où la nécessité d'une maîtrise de l'occupation des sols en zones inondables.

Qu'un pays au climat semi-aride comme le Maroc subit le temps à autre des inondations, ce n'est guère un paradoxe. En effet l'aridité favorise l'apparition des crues violentes, car l'absence de couverture végétale et le type du sol soutient le ruissellement qui dépend de l'infiltration.

Au Maroc les catastrophes les plus fréquentes et qui ont causé plusieurs morts sont les conséquences terribles des inondations, on cite :

- L'oued Ourika 1995
- L'Oued Maleh 2002
- Tanger, Nador, Fnidek, Boulmane 2008

Notre zone d'études c'est le centre TLET IGHOUD fait partie de la province d'Al Youssoufiaet de la commune du même nom, son contexte semi-aride, son environnement hydro-géomorphologique et pluviométrique favorise le déclenchement des crues éclairées caractérisées par des grandes vitesses et des temps de montée assez courts.

Le présent rapport est présenté en quatre grands chapitres ; le premier chapitre sera consacré à une présentation générale de la zone d'étude à savoir son cadre géographique, climatique et géologique.

Le deuxième chapitre comprendra l'analyse des différents paramètres physiques et géomorphologiques en utilisant le SIG (système informatique géographique) afin de bien comprendre les causes des variations des régimes hydrologiques du bassin versant étudié et par conséquent leur contribution dans la genèse des crues.

Le troisième et le dernier chapitre présente une modélisation hydraulique et une élaboration des cartes des zones inondables.



# Chapitre I :

## Présentation de la zone d'étude

# Chapitre I : Présentation de la zone d'étude.

## I. Contexte administratif :

Notre bassin objet de cette étude est situé dans la commune Ighoud.

Administrativement, il relève de la wilaya de Marrakech dans la région Marrakech-Tensift-Al Houz. Suite au dernier découpage, son organisation administrative et communale se présente comme suit :

**Tableau 1: Cadre administratif**

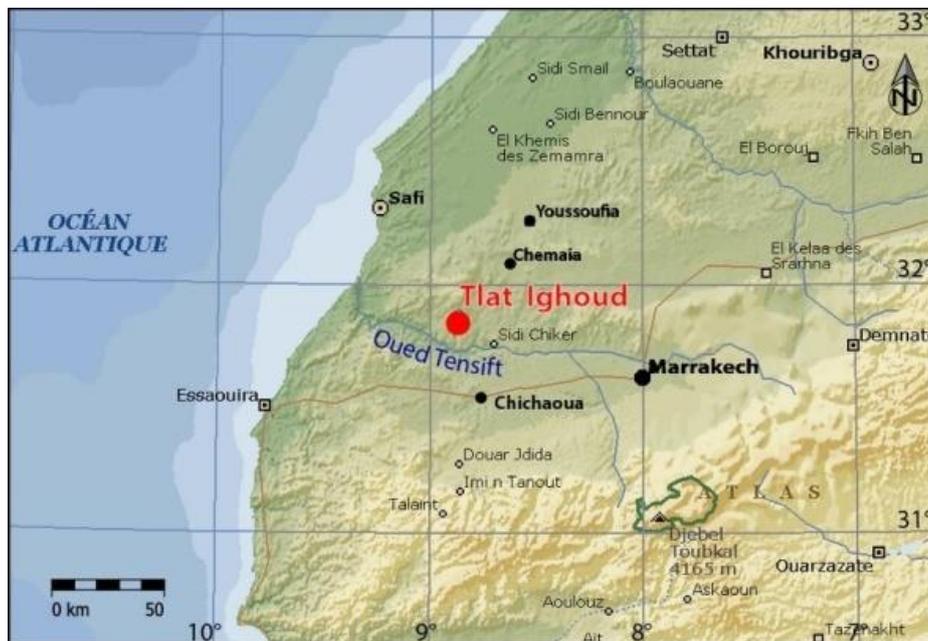
Région économique	Province	Commune	Oued
Marrakech-Tensift-Al Houz	Yousseoufia	Ighoud	Bridia

D'après les recensements la population légale de Yousseoufia est passée de 60 451 à 64 518 habitants de 1994 à 2004<sup>2</sup>, puis à 67 628 en 2014.

Les habitants du centre TLET IGHOUD représentent environ 2.5% de la commune Yousseoufia .si dessous on a la projection.

**Tableau 2: Projection de la population urbaine de TLET IGHOUD (2004 à 2030)**

Année	2004	2010	2015	2025	2030
Population	1475	1632	1770	2010	2103



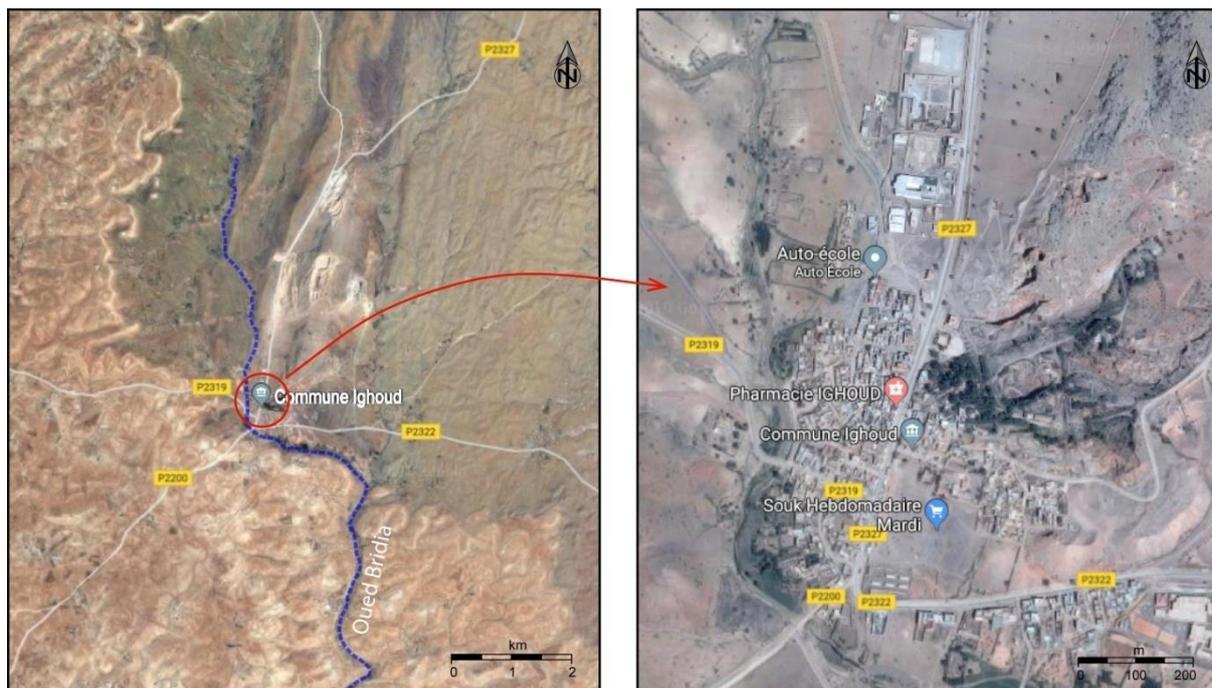
**Figure 1: Situation générale de la zone d'étude**

## II. Cadre géographique :

Cette commune est limitée au Nord par la commune de Jnane Bouih, au Sud par l'oued Tensift, à l'Ouest par la commune de Laamamra et à l'Est par celle de Sidi Chiker.

Ce centre est situé sur la RP2322, au pied de Jbel Ighoud, il est à 34 km de Chichaoua et 52 km d'Al Yousoufia à vol d'oiseau.

Ce centre est traversé par oued Bridia, la remontée des eaux de crue atteint le niveau des habitations.



**Figure 2: Image Google Earth montrant la localisation de la localité d'IGHOUD par rapport à l'Oued Bridia.**

L'oued Bridia est un affluent de la rive droite de l'oued Tensift. L'exutoire de ce bassin versant est situé à l'ouest-nord-ouest de la ville Marrakech. Ses coordonnées Lambert sur la carte Tlet Ighoud au 1/ 50.000 ème sont les suivantes :

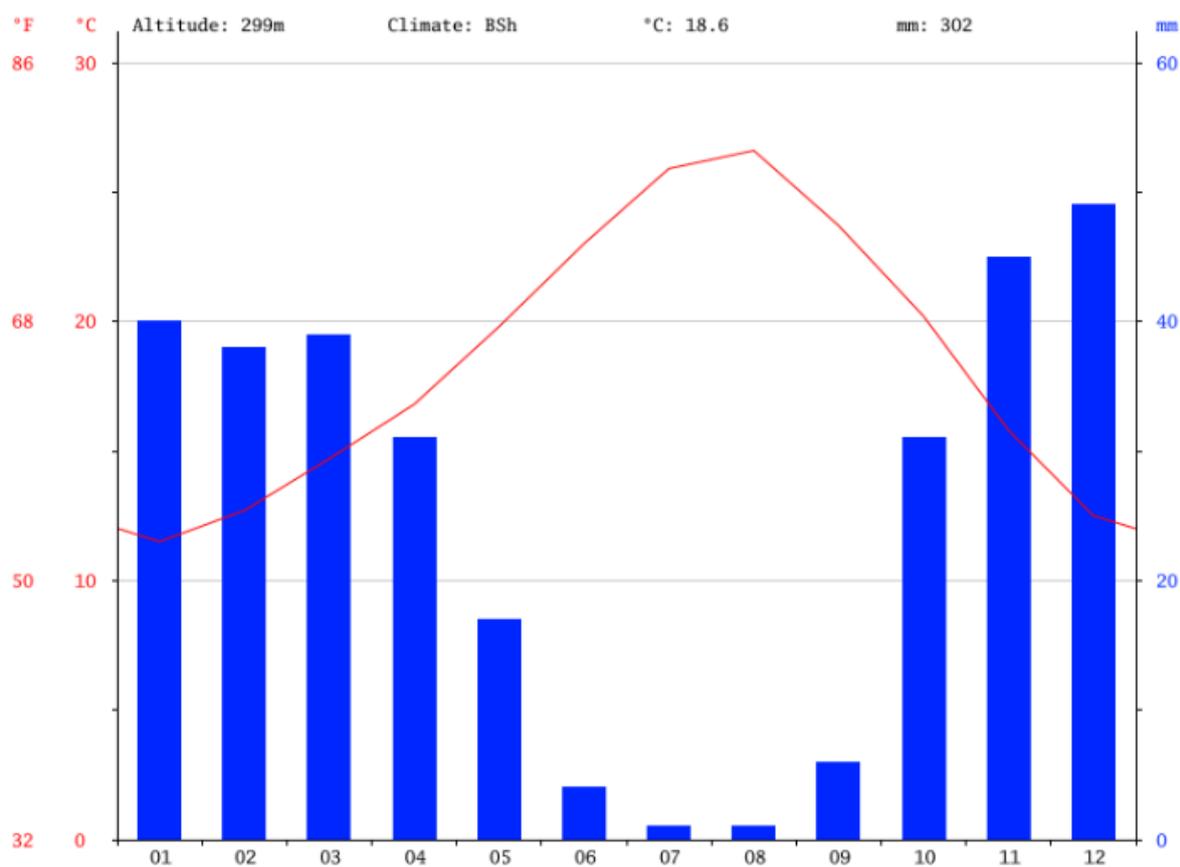
X= 171400

Y= 145440

## III. Climat :

Ce bassin versant est dans une zone de climat de type semi-aride selon Koppen il est de type Bsh (semi-aride chaud) à forts contrastes de température, influencé par le courant froid des Canaries où la pluviométrie annuelle est faible de l'ordre de 250 à 270 mm.

La pluie mensuelle montre également l'existence de 2 saisons nettement différenciées. (Climate-Data.org)



**Figure 3 : diagramme climatique D'AL Youssoufia**

La saison humide : allant du mois d'Octobre à Avril où interviennent la quasi-totalité des épisodes pluvieux, soit près de 85% à 95% de la pluviométrie annuelle.

La saison sèche : allant de Mai à Septembre avec seulement 5% à 15% de la pluviométrie annuelle .

La température moyenne est de 26.6 °C à cette période. Le mois le plus froid de l'année est celui de Janvier avec une température moyenne de 11.5 °C.

## **Chapitre II :**

# **Etude hydrologique du bassin versant Tlet Ighoud**

## Chapitre II : Etude hydrologique du bassin versant de TLET IGHOUUD

### I. Introduction :

Les principales caractéristiques physiographiques et géomorphologiques d'un bassin versant étudié 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.

La délimitation du bassin versant de l'oued Bridia, le calcul de ses propriétés géométriques (son aire, son périmètre et sa forme) et topographiques, l'orientation des pentes et les tranches d'altitudes, ainsi que le réseau hydrographique sont extraits d'un modèle numérique de terrain (MNT).

### II. Délimitation du bassin versant :

Le tracé du contour d'un bassin versant se base sur détermination de la ligne de partage des eaux qu'on peut aisément cartographier à l'aide de logiciels comme ARCGIS. La délimitation du bassin versant de l'oued Bridia qui fait l'objet de la présente étude, a été effectuée en se basant sur l'utilisation de la carte topographique de Tlet Ighoud à l'échelle 1/50.000 et du modèle numérique de terrain (MNT) de la même région dont la résolution au sol est de 30 m (Fig. 5 et 6). Les deux types de données ont été intégrés dans un système d'information géographique (SIG) pour le calcul des caractéristiques géomorphologiques du bassin. La carte topographique est disponible sous forme d'image. Son intégration dans ARCGIS s'est fait par géo référencement en coordonnées Lambert. Les données des élévations topographiques qui constitue le MNT ont été téléchargées à partir à partir du site web suivant :

<https://geograchid.blogspot.com/2016/05/fichier-kml-telecharger-mnt-dem-maroc.html>



Figure 4: carte des MNT du Maroc

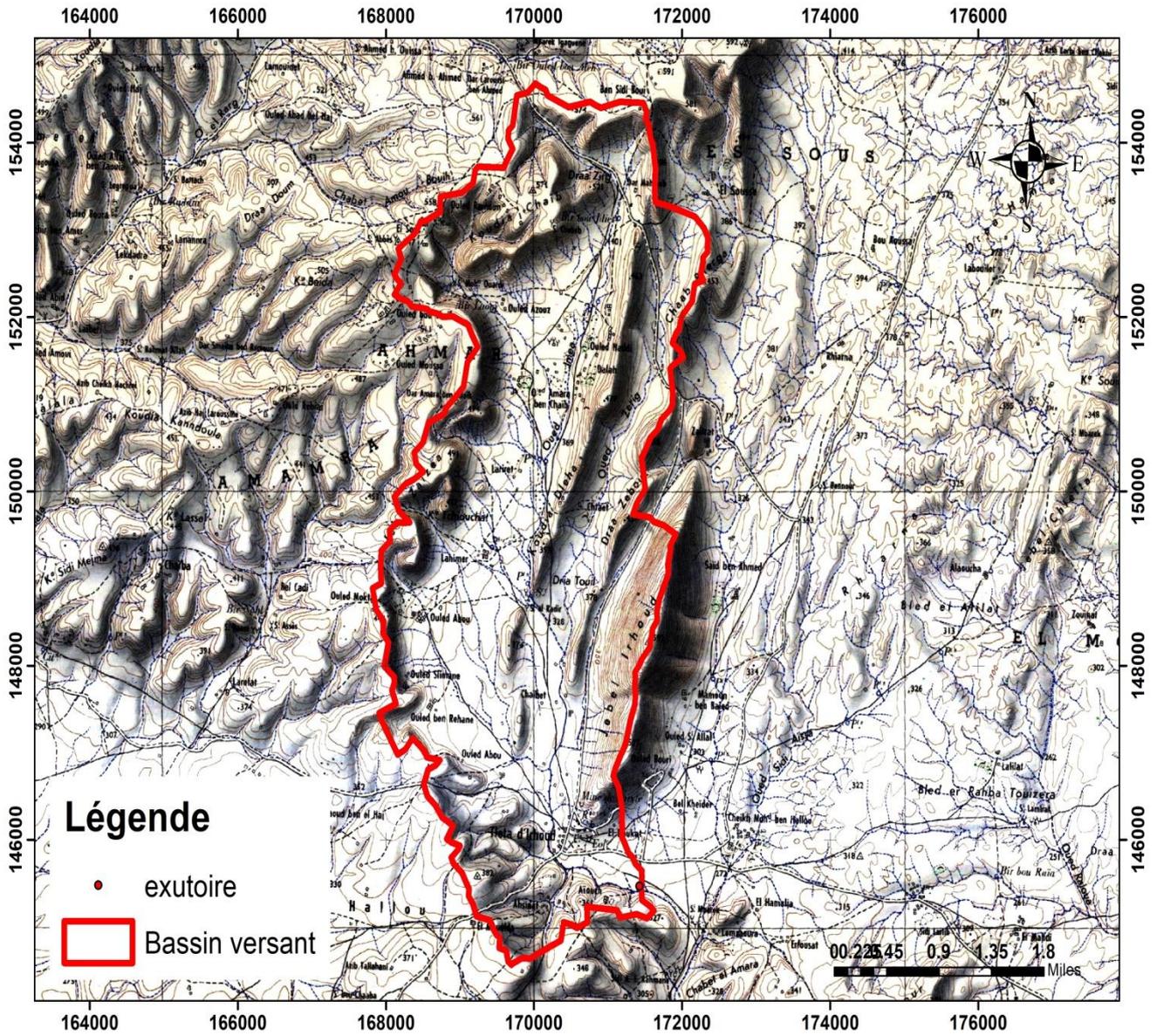


Figure 5: Délimitation du bassin versant

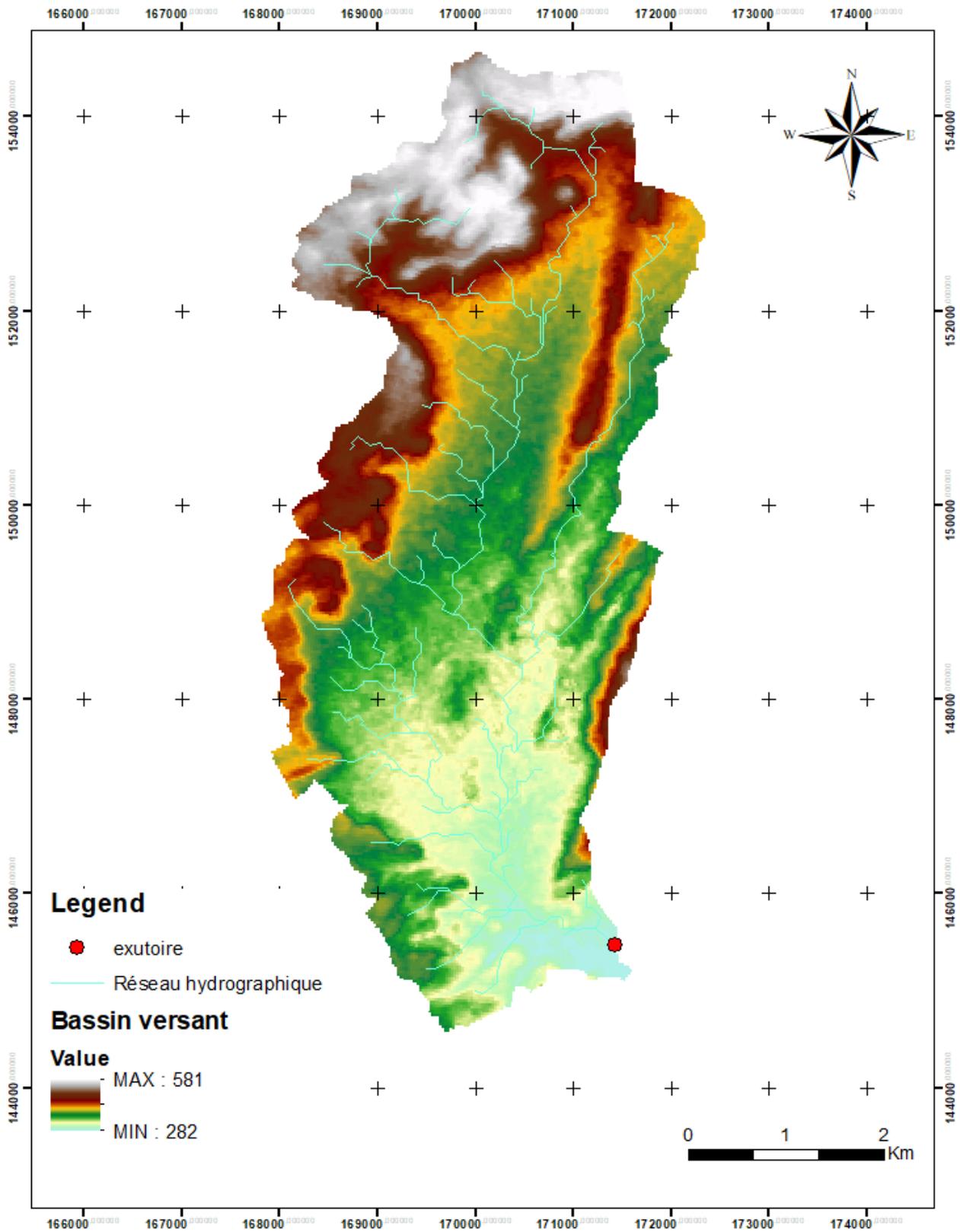


Figure 6 : Carte MNT du bassin versant

## 1. Réseau hydrographique :

Les affluents de l'oued Bridia prennent leurs origines à l-ouest dans les versants de Jebellghoud, cet Oued se caractérise par un régime saisonnier puisque les lits des affluents restent secs pendant plusieurs mois en saison d'été.

Les principaux affluents de l'Oued Bridia sont Oued Jmea et Oued Zreigui à son tour rejoint l'oued Tensift 12 km plus en aval.

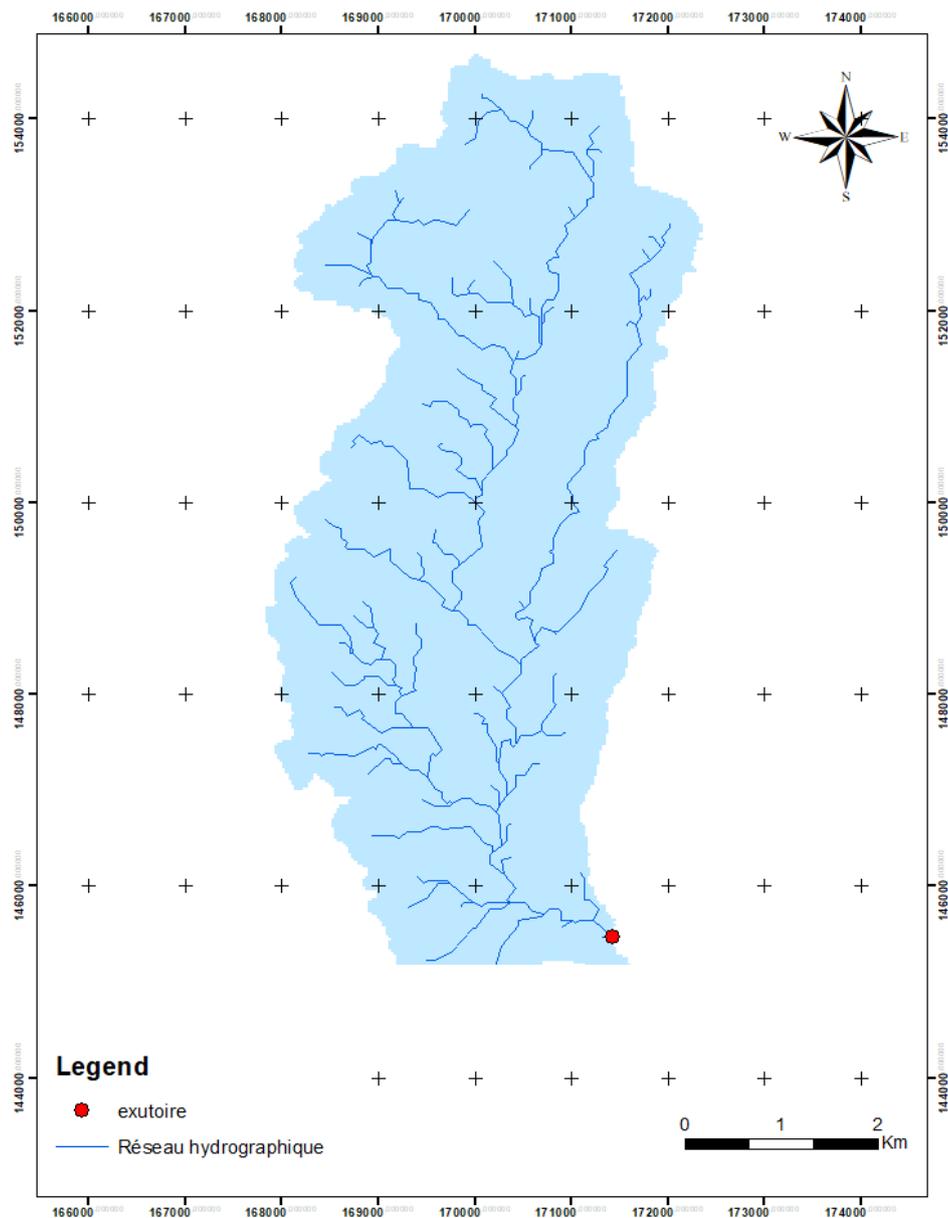


Figure 7: Carte du réseau hydrographique

## 2. Propriétés géométriques du bassin versant :

### a. Surface :

L'aire est la portion du plan délimitée par la ligne de crête, ou contour du bassin. Sa mesure est faite soit à l'aide d'un planimètre, soit par la méthode des *petits carrés*, et est généralement exprimée en Km<sup>2</sup>

Dans notre étude la surface du bassin versant qui est 28.96 km<sup>2</sup> est déterminée à partir de la carte topographique (1/50.000) de Tletlghoud.

### b. Périmètre :

Le périmètre est la longueur de la ligne de contour du bassin; sa mesure est faite à l'aide d'un curvimètre, généralement exprimée en km. Pour certaines applications on trace le *périmètre stylisé* du bassin en *lissant* son contour. Il n'influence pas l'état d'écoulement du cours d'eau au niveau du bassin versant.

Dans notre cas le périmètre est de **30.27 Km**.

### c. Indice de compacité GRAVILIUS :

L'indice admis par les hydrologues pour caractériser la forme d'un bassin versant est l'indice de compacité GRAVILIUS

La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin versant. Par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants. Ce phénomène est lié à la notion de *temps de concentration*.

$$k_c = \frac{P}{2\pi\sqrt{A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} = 1.59$$

Avec :

P : périmètre du bassin en Km

A : surface du bassin en Km<sup>2</sup>

Kc : Indice de compacité de Gravelius

Le bassin d'Oued Bridia a un indice de compacité égale à **1,59**. Sa forme est donc allongée, sa longueur est 5 fois plus grande que sa largeur.

### d. La longueur du cours d'eau :

C'est la distance mesurée le long du cours d'eau principal depuis l'exutoire jusqu'à la ligne des partages des eaux d'un bassin versant. Cette distance parcourue est exprimée en km. La longueur du cours d'eau de la zone d'étude est de **12.18 km**.

**a. Le rectangle équivalent :**

Le bassin versant rectangulaire résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dans laquelle on conserve la même superficie, le même périmètre (ou le même coefficient de compacité) et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Les courbes de niveau deviennent des droites parallèles au petit côté du rectangle. La climatologie, la répartition des sols, la couverture végétale et la densité de drainage restent inchangées entre les courbes de niveau.

On définit les grandeurs L et l représentant respectivement la longueur et la largeur du rectangle équivalent :

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right)$$

$$l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right)$$

$$L = 13.06 \text{ Km}$$

$$l = 2.21 \text{ Km}$$

Avec :

$K_c$  : Indice de compacité de Gravelius

A : la superficie du bassin versant en  $\text{Km}^2$

L : Longueur du rectangle équivalent en km

l : Largeur du rectangle équivalent en km.

**b. Dénivelée**

C'est la différence d'altitude entre 2 points de la surface, ces point sont généralement référencer par des données géographiques.

$$DI = H_{\max} - H_{\min} = 581 - 282 = 299\text{m}$$

**Tableau 3: Les caractères physiques du bassin versant Ighoud**

Paramètres	Valeurs
Superficie ( $\text{Km}^2$ )	28.96
Périmètre (Km)	30.27
Altitude max (m)	581
Altitude min (m)	282
Indice de Gravelius	1.59
Longueur du rectangle équivalent (Km)	13.06
Largeur de rectangle équivalent (Km)	2.21
Longueur de l'Oued (Km)	12.18
Dénivelée (m)	299

### III. Caractéristiques topographique

#### 1. Hypsométrie du bassin versant :

La méthode qu'on va appliquer dans ce paragraphe nous permettra de mieux comprendre les variations d'altitude au sein de notre bassin, elle est basée sur un histogramme, une courbe et une carte qui traduisent la répartition des altitudes à l'intérieur de la zone d'étude

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée. Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude

Les mesures sont résumées dans le tableau 4 :

**Tableau 4: Répartition hypsométrique du bassin versant IGHOUD**

Altitude	Superficie		Pourcentage au-dessus de la limite inférieure
	En Km <sup>2</sup>	En %	
282-300	0.37	1.29	100
300-350	6.90	23.85	98.71
350-400	9.69	33.49	74.86
400-450	5.25	18.17	41.37
450-500	2.82	9.77	23.2
500-581	3.89	13.43	13.43

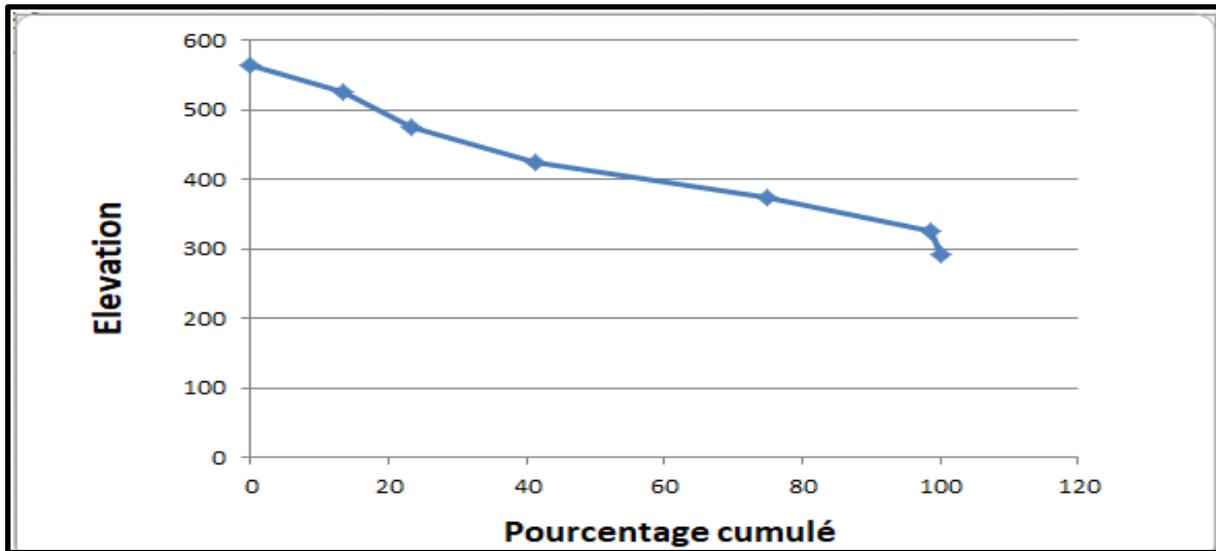


Figure 8: courbe hypsométrique de bassin versant IGHOUD

- L'altitude maximum de 581 m correspondant au sommet du bassin versant.
- L'altitude minimale (exutoire) de 282 m.
- L'altitude médiane correspond à une surface cumulée de 50% est égale à 395 m.

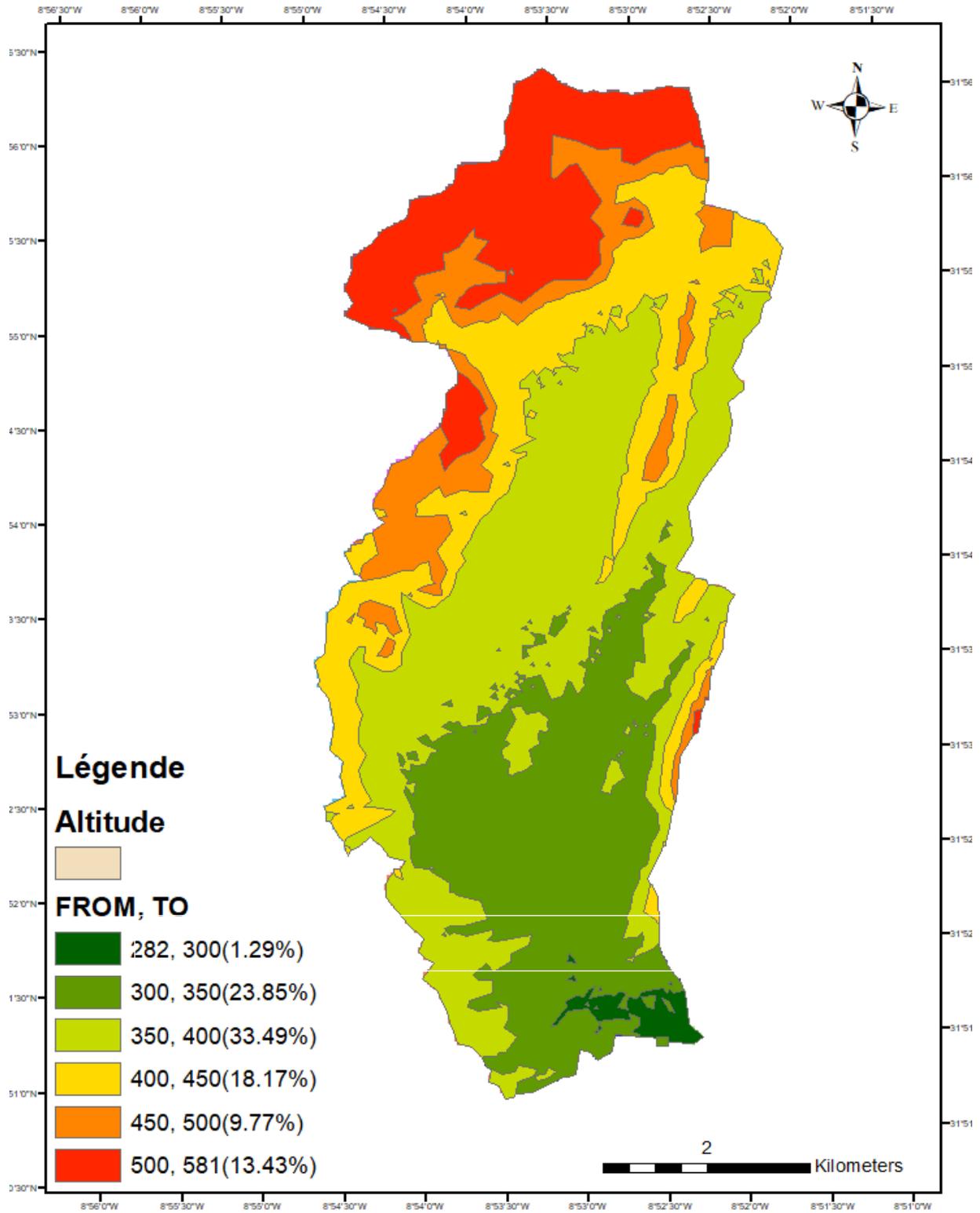


Figure 9: Carte hypsométrique du bassin versant IGHOUD

L'examen des données de la carte montre que :

- Le bassin a une pente faible
- La quasi-totalité du bassin est située au-dessus de 400 m d'altitude
- L'altitude maximale :  $H_{max} = 581$  m.
- L'altitude minimale :  $H_{min} = 281$  m.
- L'altitude médiane :  $H_{med} = 395$  m.
- L'altitude moyenne:  $H_{moy} = 425.96$  m.
- L'altitude la plus fréquente:  $H = 350$  m.

### 1. La pente :

C'est la pente qui influence l'écoulement superficiel des eaux: ruissellement de surface et écoulement hypodermique. Elle accélère le ruissellement sur les versants et détermine en partie le temps de réponse (temps de concentration) du cours d'eau.

Elle varie plus ou moins irrégulièrement pour un même cours d'eau selon les structures géologiques traversées et diminue en général d'amont en aval.

Dans notre cas la pente est égale à :

$$P = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} = 2.45\%$$

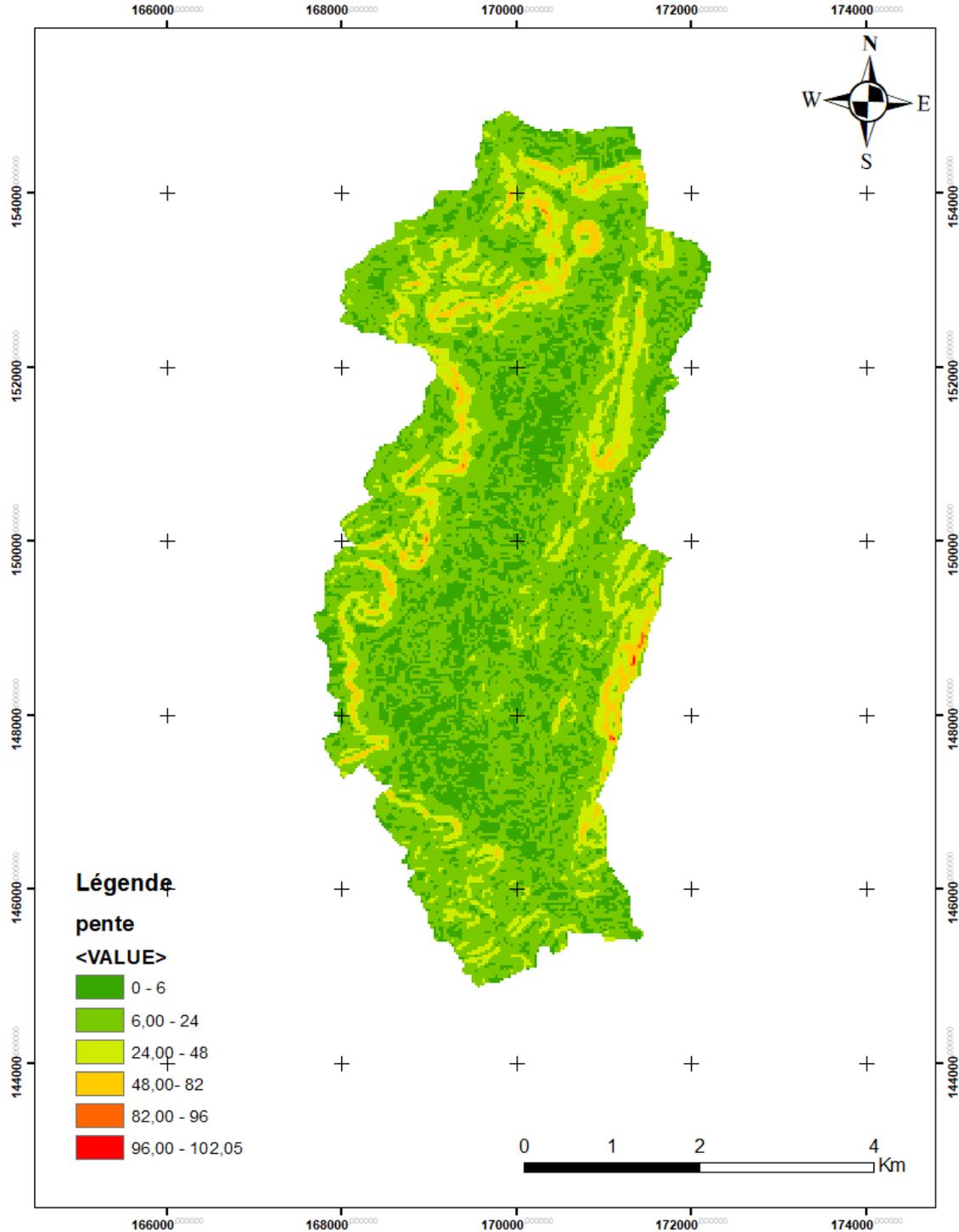
Avec :

$H_{max}$  : Altitude maximale

$H_{min}$  : Altitude minimale

$L$  : longueur du court d'eau

Les classes de pente sont déduites d'un modèle numérique de terrain. Le MNT est extrait du SRTM du Maroc (Résolution 30 m de coté de pixel).



**Figure 10: Carte de pente du bassin versant IGHOUD**

### **Conclusion :**

Les calculs et l'analyse de ces différentes caractéristiques physique et géomorphologique vont nous permettre de bien comprendre les causes et la conséquence de variation du régime hydraulique et son comportement lors d'une venue de crue.

## Chapitre III :

# Calcul des débits de pointe

# Chapitre III : Calcul des débits de pointe

## I. Introduction :

Ce chapitre a pour but de faire une étude hydrologique afin de reconnaître les crues du projet par les aspects du débit de pointe. Les débits retenus seront d'une importance capitale pour la simulation hydraulique de l'oued Bridia. Une estimation des temps de concentration par différentes formules.

Comme dans ce cas, on ne dispose pas de données hydrométriques de ce bassin ; les débits des pointes des crues seront calculés :

- Par formules empiriques utilisées pour les bassins versants : Mallet Gauthier, Hazan-Lazareviç, Fuller ;
- Par méthode rationnelle
- Par méthode d'ajustement
- Par analogie avec les bassins versants limitrophes à l'aide de la formule de transposition de Franco-Rodier

## II. Temps de concentration :

Le temps de concentration ( $T_c$ ) des eaux sur un bassin versant se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point situé le plus loin possible de l'exutoire pour atteindre ce dernier.

Le temps de concentration est un concept utilisé en hydrologie pour mesurer la réponse d'un bassin versant à un événement pluvieux (réponse hydrologique)

L'évaluation du temps de concentration est basée en général sur l'hypothèse que les gouttes de pluie se déplacent perpendiculairement aux lignes de niveau.

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

### 1. Formule de Giandotti :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5 \times L}{0.8\sqrt{D}}$$

$$T_c = 2.88 \text{ heures}$$

Avec :

- $T_c$  en heures
- $S$  : Superficie du bassin versant en  $\text{km}^2$
- $L$  : longueur du cours d'eau (Km)
- $D$  : dénivelée (m)

## 2. Formule de Ventura :

$$Tc = 76.3 \times \frac{\sqrt{S}/\sqrt{I}}{60} \quad Tc = 4.37 \text{ heures}$$

Avec :

- Tc en heures.
- S : Superficie du bassin versant en Km<sup>2</sup>
- I : pente du cours d'eau m/m

## 3. Formule de Kripich :

$$Tc = \frac{0.01947 \times L^{0.77} \times I^{-0.385}}{60} \quad Tc = 1.87 \text{ heures}$$

Avec :

- Tc en heures.
- L : Longueur du cours d'eau (m).
- I : Pente moyenne du bassin m/m .

## 4. Formule de Van Te Chow :

$$Tc = 0.123 \times \left( \frac{L}{\sqrt{D}/L \times 1000} \right)^{0.64} \quad Tc = 1.99 \text{ heures}$$

Avec :

- Tc en heure.
- L : Longueur du cours d'eau (m).
- I : Pente moyenne du bassin m/m .

## 5. Formule espagnole :

$$Tc = 0.3 \times \left( \frac{L}{(I/100)^{0.25}} \right)^{0.77} \quad Tc$$

$$= 4.20 \text{ heures}$$

Avec :

- L : la longueur du cours d'eau en Km .
- I : la pente en m/m.

#### a. Choix du temps de concentration :

Le tableau suivant récapitule les diverses valeurs du temps de concentration obtenues par ces formules :

**Tableau 5: récapitulatif des diverses valeurs du temps de concentration**

Formules	Temps de concentration en heures
Formule de Giandotti	2.88
Formule de Ventura	<b>4.37</b>
Formule de Kirpich	1.87
Formule de Van Te Chow	1.99
Formule Espagnole	<b>4.20</b>

La valeur du temps de concentration retenue est la moyenne des valeurs proches. On a éliminé les valeurs extrêmes très grandes ou très petites pour ne laisser que les valeurs centrales.

**Tableau 6: les valeurs du temps de concentration retenue**

Formules	Temps de concentration en heures
Formule de Giandotti	2.88
Formule de Kirpich	1.87
Formule de Van Te Chow	1.99

La moyenne des trois valeurs restantes donne la valeur finale du temps de concentration de notre bassin versant qui vaut :

$$T_c = \frac{2.88 + 1.87 + 1.99}{3} = 2.24 \text{ heures}$$

### III. Calcul des débits de pointe :

#### 1. Méthodes empiriques :

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

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

a. **Mallet-Gautier :**

$$Q(T) = 2K \log_{10}(1 + aH(T))A \sqrt{(1 + 4 \log_{10} T - \log_{10} A)} / \sqrt{L}$$

Avec :

Q(T) : Débit de pointe en m<sup>3</sup>/s pour la période de retour ;

L : longueur du plus long talweg (km) ;

A : superficie du bassin versant ;

H : Pluie moyenne annuelle ; (P=250mm)

a: Coefficient variant de 20 à 30 (au Maroc, on prend a = 20) ;

K: Coefficient variant de 0,50 à 6,00

**Tableau 7: Débits calculé par la formule Mallet-Gautier**

Paramètres utilisés						Débits calculé (m <sup>3</sup> /s)			
Nom BV	A(km <sup>2</sup> )	L(km)	K	a	H(T) en mm	10	20	50	100
Tletlghoud	28.96	12.18	0.5	20	250	57.74	66.84	77.25	84.28

b. **Fuller II :**

$$Q(T) = (1 + a \log T)(A^{0.8} + \frac{8}{3}A^{0.5}) \frac{4}{3} \frac{N}{100}$$

Avec :

Qt : Débit de pointe en m<sup>3</sup>/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. (voir annexe 1 )

A: Superficie du bassin versant en Km<sup>2</sup>.

N: Coefficient régional pris égal à 80 en plaine, 85 en région accidentée et 100 en montagne. Nous prenons N = 85. (voir annexe tableau 3)

**Tableau 8: Débits calculé par la formule Fuller II**

Paramètres utilisés				Débits calculé(m <sup>3</sup> /s)			
Nom BV	A(km <sup>2</sup> )	a	N	10	20	50	100
TLET IGHOUD	28.96	0.8	85	59.41	67.36	77.87	85.81

c. **HAZAN – LAZAREVICK :**

La formule de Hazan Lazareviç a été développée au Maroc. Elle donne le débit millénial en fonction de la superficie du bassin versant. Sa formule est comme suit :

$$Q(1000 \text{ ans}) = K1 \times A^{K2}$$

Avec :

A : surface du bassin versant en Km<sup>2</sup>

Les valeurs K1 et K2 dépendent de la situation géographique de la zone et de sa pluviométrie annuelle.( voir tableau annexe 1). En nous basant sur la géographie et la pluviométrie de la zone d'étude, nous prenons les coefficients qui s'en approchent le plus :

$$K1 : =9.38$$

$$k2=0.742$$

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 :

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

Avec :

Q(T) : Débit de pointe en m<sup>3</sup>/s de récurrence T

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

Nous prenons a = 2 (voir tableau annexe 2)

**Tableau 9: Débits calculé par la HAZAN – LAZAREVICK :**

Nom BV	Paramètres utilisés				Débits calculé(m <sup>3</sup> /s)			
	A(km <sup>2</sup> )	a	K1	K2	10	20	50	100
TLET IGHOUD	28.96	2	9.38	0.742	48.85	58.66	71.62	81.42

Les résultats des différentes formules régionales décrits dans le tableau 9:

**Tableau 10: Résultats des débits de pointe par les formules empiriques**

Débits m <sup>3</sup> /s			
	HAZEN-LAZAREVICK	FULLER II	MALLET-GAUTIER
Q (10)	48.85	59.41	57.74
Q(20)	58.66	67.36	66.84
Q(50)	71.62	77.87	77.25
Q(100)	81.42	85.81	84.28

Les débits calculés par la méthode de FullerII , Mallet-Gautier et Hazan Lazarevick donnent des résultats similaires.

## 2. Méthode rationnelle :

### a. Expression de la formule :

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

$$Q(T) = \frac{C \times I(T.t_c) \times A}{3.6}$$

Avec :

Q(t) : débit de point du bassin versant en m<sup>3</sup> /s

C : coefficient de ruissèlement

A : superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>

$I(T.t_c)$  : Intensité de la précipitation pour une durée de précipitation égale au temps de concentration (mm/h).

### b. Intensité :

L'intensité correspondante au temps de concentration de période de retour T .

$$I(T, t_c) = a(T) \times t^{-b(T)}$$

Avec :

t : temps de concentration en heures

I : intensité en mm/h

a, b : Paramètres de Montana.

Les paramètres a et b de MONTANA sont fournis par L'ABHT

**Tableau 11: les coefficients de MONTANA calculés(novec)**

T	a	b
2 ans	2.97	0.639
5ans	4.94	0.620
10 ans	6.27	0.615
20 ans	7.55	0.612
50 ans	9.20	0.610
100 ans	10.44	0.608

Les intensités retenues :

**Tableau 12 : les intensités calculées dans chaque temps de retour T**

Bassin versant		Intensités de pluies (mm/h)			
Nom BV	Tc (h)	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
TLET IGHOUUD	2.24	3.81	4.6	5.6	6.39

**c. Coefficient de ruissèlement :**

Le tableau des coefficients de ruissellement recommandé par le SETRA (service des études sur le transport, les routes et leurs aménagements : organisme français) pour des bassins versants de superficie inférieure à 100 km<sup>2</sup>, est comme suit :

Le tableau de coefficient de ruissellement est comme suit :

**Tableau 13: Coefficients de ruissellement par SETRA(novec)**

Nature de la couverture végétale	Petits bassins de 0 à 10				Grands bassin de 10 à			
	Présentant une pente de :							
	Moins de 5%	De 5 à 10%	De 10 à 30%	Plus de 30%	Moins de 5%	De 5 à 10%	De 10 à 30%	Plus de 30%
Plates formes et chaussées de routes	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95.	0.95	0.95
Terrain dénudé ou à végétation non couvrant, terrains déjà entachés par l'érosion, labours frais	0.80	0.85	0.90	0.95	<b>0.70</b>	0.75	0.80	0.85
Cultures couvrantes, céréales hautes, terrains de parcours, petite brousse clairsemée	0.75	0.80	0.85	0.90	0.52	0.60	0.72	0.80
Prairies, brousses denses, savane à sous-bois	0.70	0.75	0.80	0.85	0.30	0.36	0.42	0.50
Forêt ordinaire en futaie, sous-bois touffus	0.30	0.50	0.60	0.70	0.13	0.20	0.25	0.30
Grande forêt primaire	0.20	0.25	0.30	0.40	0.15	0.18	0.22	0.25

Nous sommes dans une zone où la couverture végétale est à dominance d'Arganier, avec une pente faible entre 0-5 % :

Le coefficient de ruissellement retenu donc est de 0,7.

**d. Débits retenus :**

**Tableau 14: Débits calculés par la méthode rationnelle**

Nom BV	Débits calculés par la méthode rationnelle $m^3/s$			
	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
TLET IGHOUD	21.45	25.90	31.53	35.98

**3. Méthode d'ajustement et transposition :**

Cette méthode est basée sur des données de débits instantanés maximaux annuels. Dans le cas de notre zone d'étude, on va ajuster par les débits de la station hydrologique de ABADLA, qui est très proche du bassin versant d'IGHOUD, en vue qu'elle représente les mêmes caractéristiques climatiques que notre zone.

Ces données ont été ajustées à l'aide du logiciel HYFRAN-PLUS par plusieurs modèles probabilistes, pour en retenir le meilleur.

La série des débits enregistrés a été ajustée avec les lois suivantes : Galton, Gumbel, Fréchet, Gamma. Pour chaque loi, nous obtenons un tableau récapitulatif des paramètres statistiques. La loi retenue est celle qui donne le meilleur ajustement, c'est-à-dire un AIC et BIC de plus faible valeur.

**a. L'analyse des graphes**

Les figures si dessous montrent les graphiques des résultats obtenus. Ils représentent les probabilités empiriques et théoriques des distributions de Gamma, lois Normal et Log.Normal, loi de Gumbel, et loi de Weibull.

Visuellement, on peut conclure que les lois Weibul, Gamma présentent les meilleurs ajustements de la variable débit maximal instantané. (memoiresaidi)

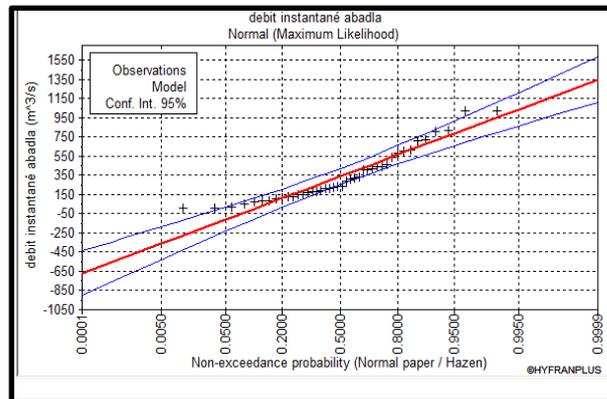
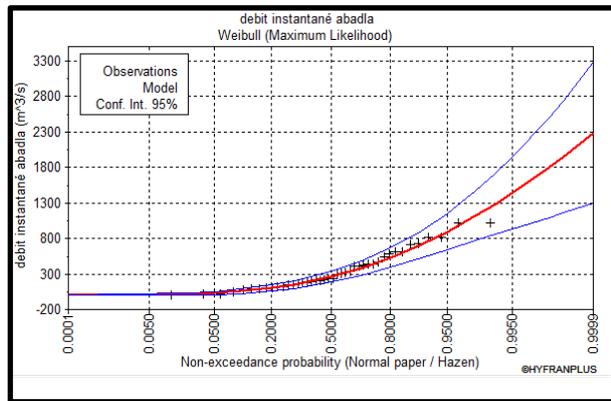
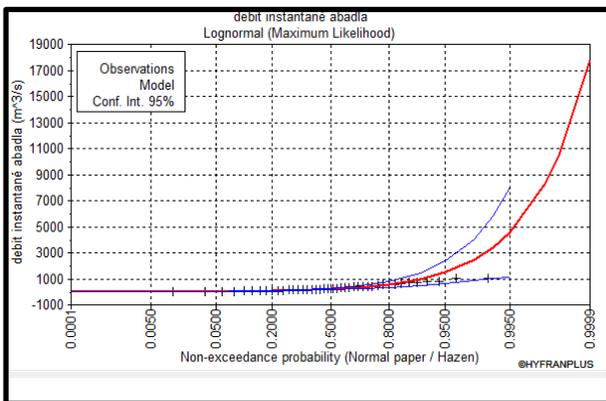
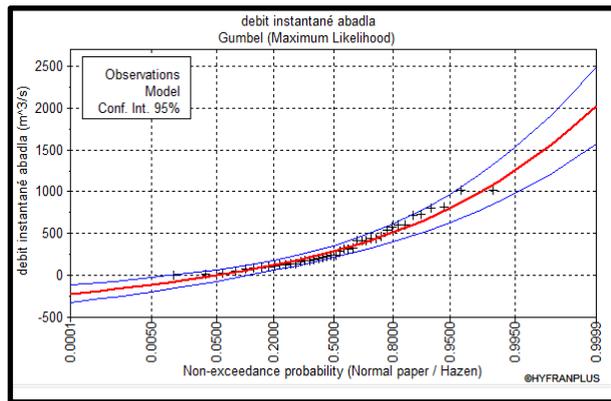
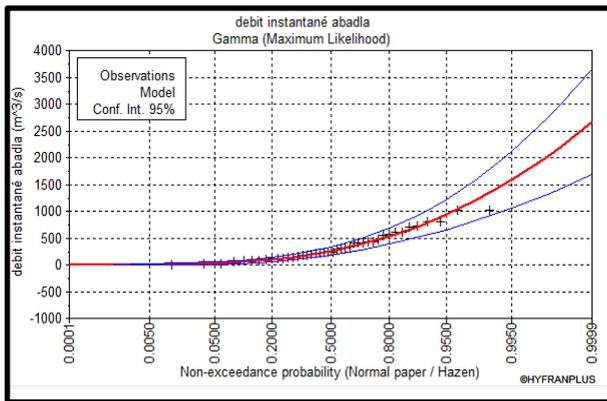


Figure 11: Ajustement graphique des débits maximaux instantanés selon les lois statistiques, à la station d'Abadla.

**b. L'analyse des critères statistiques :**

Le tableau suivant représente les critères d'information bayésien (BIC) et d'Akaike (AIC). D'après les résultats numériques obtenus, les lois Weibul et gamma représentent les meilleurs ajustements de la variable débit maximal instantané.

**Tableau 15: Critères de comparaison des ajustements des lois aux débits de pointe à la station d'Abadla. (100 ans )**

Lois statistiques	AIC	BIC
Weibul	575.151	578.626
Gamma	755.782	579.258
Gumbel	582.165	585.641
Lognormal	588.077	591.552
normal	592.678	596.153

**c. Débit de point adapté :**

**Tableau 16: Estimation des débits de retour selon des différentes lois d'ajustement à la station d'Abadla**

		Périodes de retour			
		10	20	50	100
Débit estimé (en m <sup>3</sup> /s)	Weibul	718	895	1120	1280
	Gamma	735	934	1190	1390
	Gumbel	659	800	983	1120
	Lognormal	988	1520	2470	3410
	Normal	685	783	894	968

On remarque que les résultats estimés pour les grandes périodes de retour sont très variables d'une loi à l'autre. Par contre, les périodes de retour de 10ans et 20 ans présentent une faible variabilité. On retiendra les estimations de la loi Weibull et Gamma qui étaient les plus adéquates et qui placent les débits cinquantennals Q50 à 1120 m<sup>3</sup>/s, 1190 m<sup>3</sup>/s et les débits centenal Q100 à 1280 m<sup>3</sup>/s, 1390 m<sup>3</sup>/s.

**d. Transposition :**

Afin de pouvoir déterminer les débits de pointe du bassin non jaugé, on a transposé les débits de la station la plus proche « ABADLA » vers notre bassin après une détermination du coefficient de Franco-Rodier :

$$Qp = 10^6 \cdot \left(\frac{S'}{10^8}\right)^{1-\frac{Kp}{10}}$$

Avec :

Qp : débit de pointe  $m^3/s$  au bassin cible

S' : surface du bassin cible en  $km^2$

K : paramètre de Franco-Rodier

Le paramètre K est déterminé grâce à la surface du bassin d'origine ( $S'=10150$ ) en  $km^2$ , selon la formule suivant :

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

Avec :

S : Surface du bassin Abadla

Q : débit du bassin Abadla

**e. Débits retenue :**

**Figure 12: Débits calculé par la méthode de Franco-Rodier.**

Périodes de retours	Débit de point ABADLA	Kp	Débit de point IGHOUD
10	718	1,57	3,11
20	895	1,83	4,58
50	1120	2,09	6,78
100	1280	2.25	8,57

Les valeurs de débit obtenus par la méthode de l'ajustement statistique sont très différentes a celles qui sont retenus par les méthodes empiriques , ceci à cause de la grande différence entre les caractéristiques morphologiques tels que a superficie et le périmètre des deux bassins transposés.

Synthèse des résultats :

**Figure 13: Débit obtenue par les différentes méthodes.**

	Débits calculé en $m^3/s$			
	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Mallet-Gauthier	57.74	66.84	77.25	84.28
Hazan-Lazarevic	48.85	58.66	71.62	81.42
Fuller II	59.41	67.36	77.87	85.81
Méthode rationnelle	21.54	25.90	31.53	35.98
Franco-Rodier	3.11	4.85	6.78	8.57
Q(moyennes des valeurs les plus proches )	46.91	54.69	64.81	71.87

Les débits obtenus par les méthodes HAZAN-LAZAREVIC, FULLER, Mallet Gautier et par méthode rationnelle sont adaptés à notre petit bassin, par contre les valeurs obtenues par la méthode de FRANCO-RODIER SONT très différentes et plus petites par rapport aux autres méthodes, cela revient à la grande différence qui existe entre les deux bassins au niveau de la morphologie et l'unité géologique.

# **Chapitre IV :**

## **Simulation hydraulique et établissement des cartes des zones inondables**

# Chapitre IV : Simulation hydraulique et établissement des cartes des zones inondables

## I. Objectifs :

Cette étude hydraulique vise la vérification de la capacité hydraulique des oueds, traversant le secteur d'étude, pour les crues de période de retour de 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100 ans.

Le comportement hydraulique de chaque oued est déterminé par les facteurs suivants :

- ❖ Les apports générés par le bassin versant ;
- ❖ La morphologie du lit,

L'étude hydraulique a été réalisée par la construction d'un modèle hydraulique d'oued BRIDIA en se basant sur les paramètres qui déterminent le comportement hydraulique du cours d'eau. Les modélisations hydrauliques effectuées ont permis de délimiter les zones inondables en période de crues.

## II. Etapes de modélisation :

### 1. Données d'entrée :

#### a. La topographie :

Les données de la topographie sont indispensables à la réalisation de la présente étude. C'est grâce à ces données qu'il est possible d'intégrer la géométrie de l'oued dans le modèle. L'approche utilisée consiste à établir une série de profils topographiques à travers le lit de l'oued. Dans le cas de la présente étude, un total de 48 profils a été réalisé à l'aide du logiciel ARC-GIS (Fig. 14). L'élaboration de tels profils nécessite un fond de base qui peut être un modèle numérique de terrain, une carte topographique, etc. D'une manière générale, plus on dispose de documents et d'informations sur la topographie, plus nos profils seront représentatifs de la géométrie réelle de la section de l'oued. Toutefois, la fiabilité des résultats dépend aussi bien de la qualité de ces documents topographiques (échelle, résolution, etc.) que de leur manipulation et exploitation.

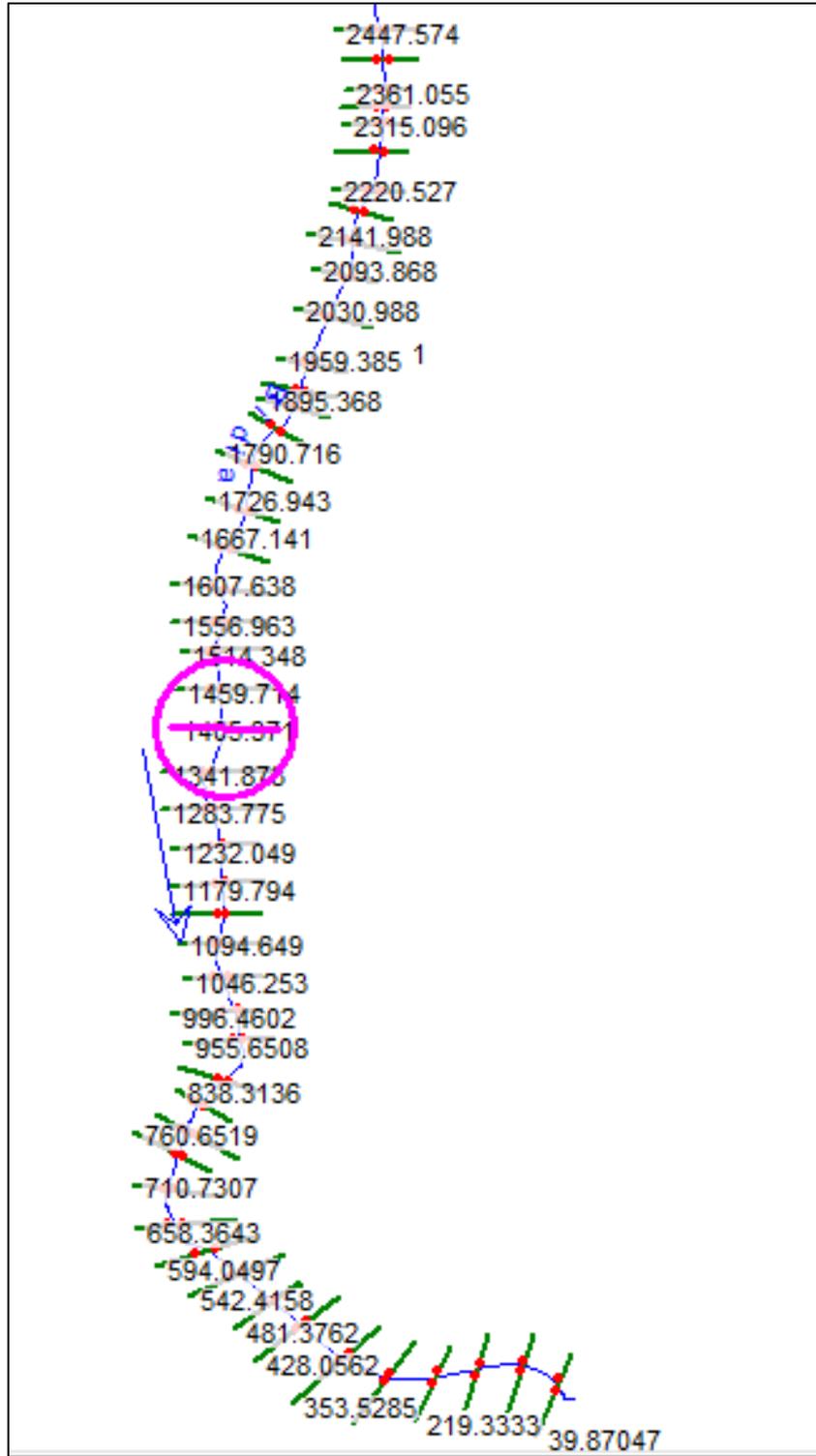


Figure 14: Profils topographiques utilisés pour la simulation hydraulique de l'oued Bridia.

### **b. Le modèle numérique du terrain :**

La réalisation d'une simulation hydraulique nécessite la disponibilité de données topographiques ou altitudinales d'une résolution acceptable. La base de données utilisée dans le cas de la présente étude proviennent d'un modèle numérique de terrain extrait du SRTM du Maroc dont la résolution est de 30 m. Avant de procéder à l'extraction des profils topographiques, ces données ont d'abord fait l'objet d'une vérification du système de coordonnées géographiques. Le système Lambert métrique du Nord du Maroc a été adopté pour la zone de Tlet Ighou. Cette étape est extrêmement importante lors de l'intégration des profils dans le logiciel Hec-Ras. Ensuite, il a fallu convertir le MNT en TIN ou réseau de triangles irréguliers qui est un format développé par ESRI pour rendre les données plus compatibles avec le programme Hec-Ras.

## **2. Paramètre du modèle :**

### **a. Coefficient de Manning :**

Le coefficient de Manning est un paramètre qui représente la rugosité de la surface du lit de l'oued. Le modèle géométrique établi d'après la série de profils transversaux permet de subdiviser la section de l'oued en trois parties séparées par les deux points rouges reportés sur chaque ligne transversale (Fig. 14) : le lit gauche, le chenal ou lit mineur et le lit droit. Un coefficient de Manning est attribué à ces différentes parties. Lors de la simulation des crues de l'oued Bridia, les valeurs de 0,03 pour le lit mineur et 0,035 pour les rives ont été attribuées à ce coefficient.

### **b. Les débits de crues pour différentes périodes de retour et les conditions aux limites :**

Dans le cadre de la présente étude, on s'intéresse uniquement à l'étendue des lames d'eau générées par les débits de pointe, sans prêter attention à la durée des crues ni aux volumes d'eaux qui en résultent. De ce fait la modélisation sera faite en régime permanent en considérant le débit de pointe.

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.

Les débits retenus pour l'oued BRIDIA pour différentes périodes de retour sont indiqués dans le tableau suivant :

**Tableau 17: Les débits retenus pour l'oued BRIDIA pour différentes périodes de retour**

Temps de retour	100 ans	50 ans	20 ans	10 ans
Débit	<b>71.87</b>	<b>64.81</b>	<b>54.69</b>	<b>46.91</b>

### 3. Simulation des crues pour les différentes périodes de retour et cartes des zones insondables :

L'intégration des différents paramètres de calcul dans le logiciel HEC-RAS nous a permis de simuler l'étendue des crues qui correspondent aux périodes de retour de 10, 20, 50 et 100 ans. Les résultats de ces simulations sont présentés sur les figures 15 à 18 ci-dessous.

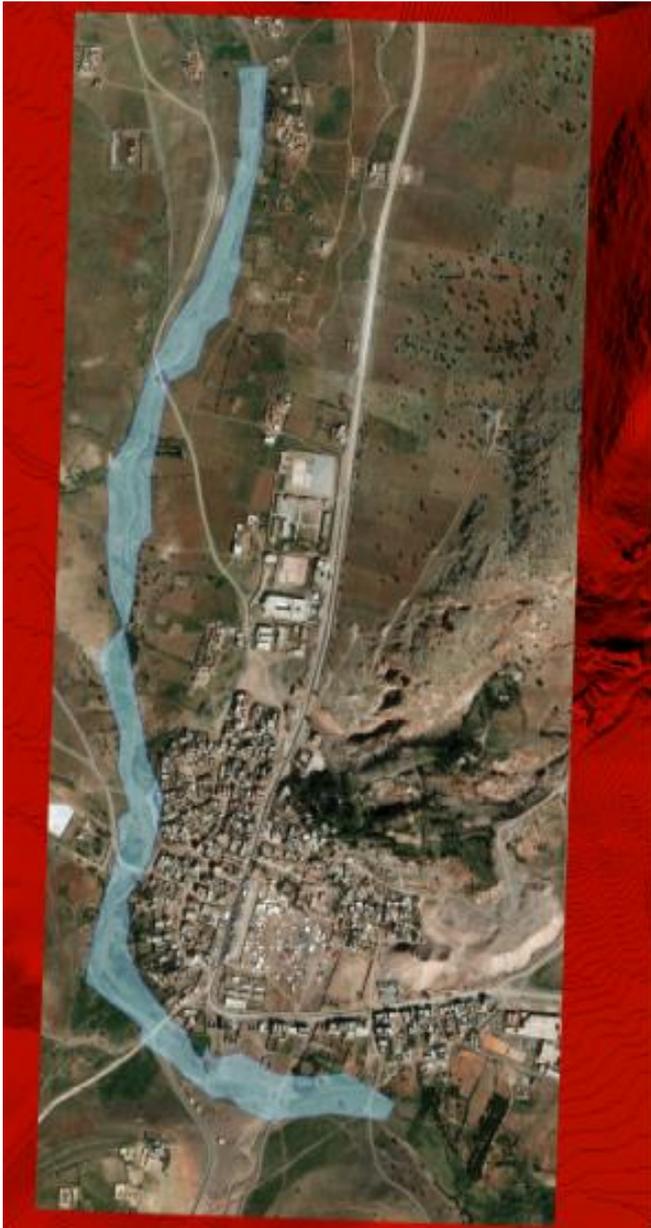


Figure 16: Etendue de la crue correspondant à une période de retour de dix ans



Figure 15: Etendue de la crue correspondant à une période de retour de vingt ans



Figure 17: Etendue de la crue correspondant à une période de retour de cinquante ans

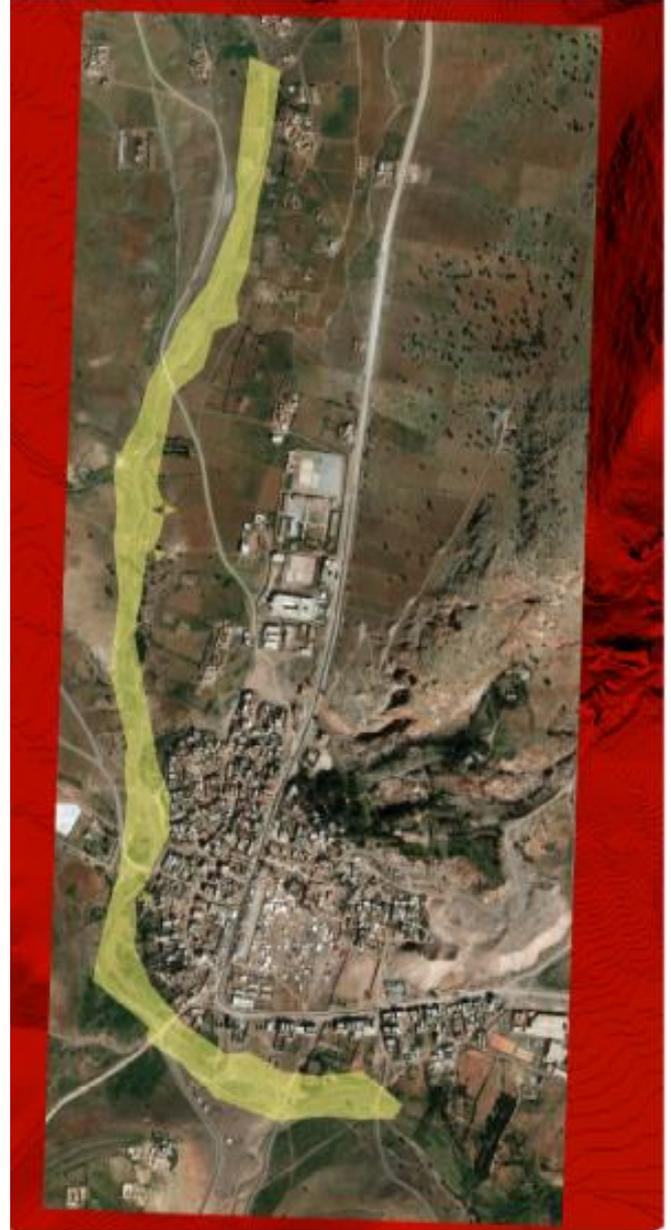


Figure 18: Etendue de la crue correspondant à une période de retour de 100 ans

### III. Interprétations des résultats :

#### 1. Les profils en longs :

Les profils en longs présentent les résultats des simulations des crues, pour les périodes de retour modélisées, sous forme de courbes longitudinales couvrant le segment modélisée du cours d'eau. Les profils en long de l'oued Bridia sont présentés sur la figure 19. On note quelques différences de niveau entre les quatre périodes de retour modélisée. De telles variations peuvent s'expliquer par la sensibilité des crues aux irrégularités de la topographie.

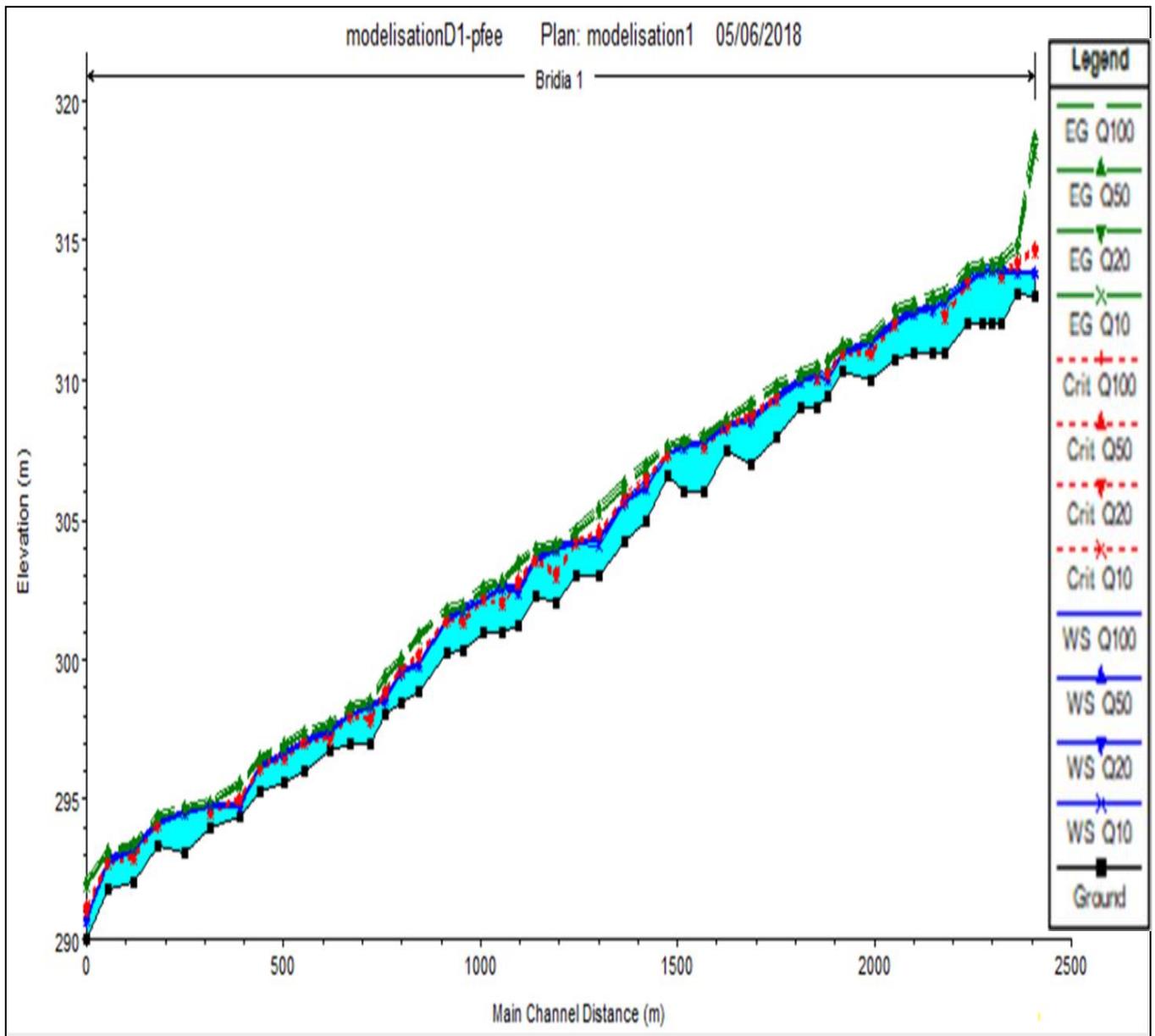


Figure 19: Profils en long de l'oued Bridia

## 2. Les profils en travers :

Les profils en travers permettent de visualiser les résultats de la simulation sous forme de coupe perpendiculaire au cours d'eau. Ils offrent une image détaillée de la géométrie de l'ouvrage en un point particulier. La figure 20 montre un profil en travers de l'oued Bridia qui permet de comparer les hauteurs d'eau résultantes des débits sortant par rapport à celles des débits entrants.

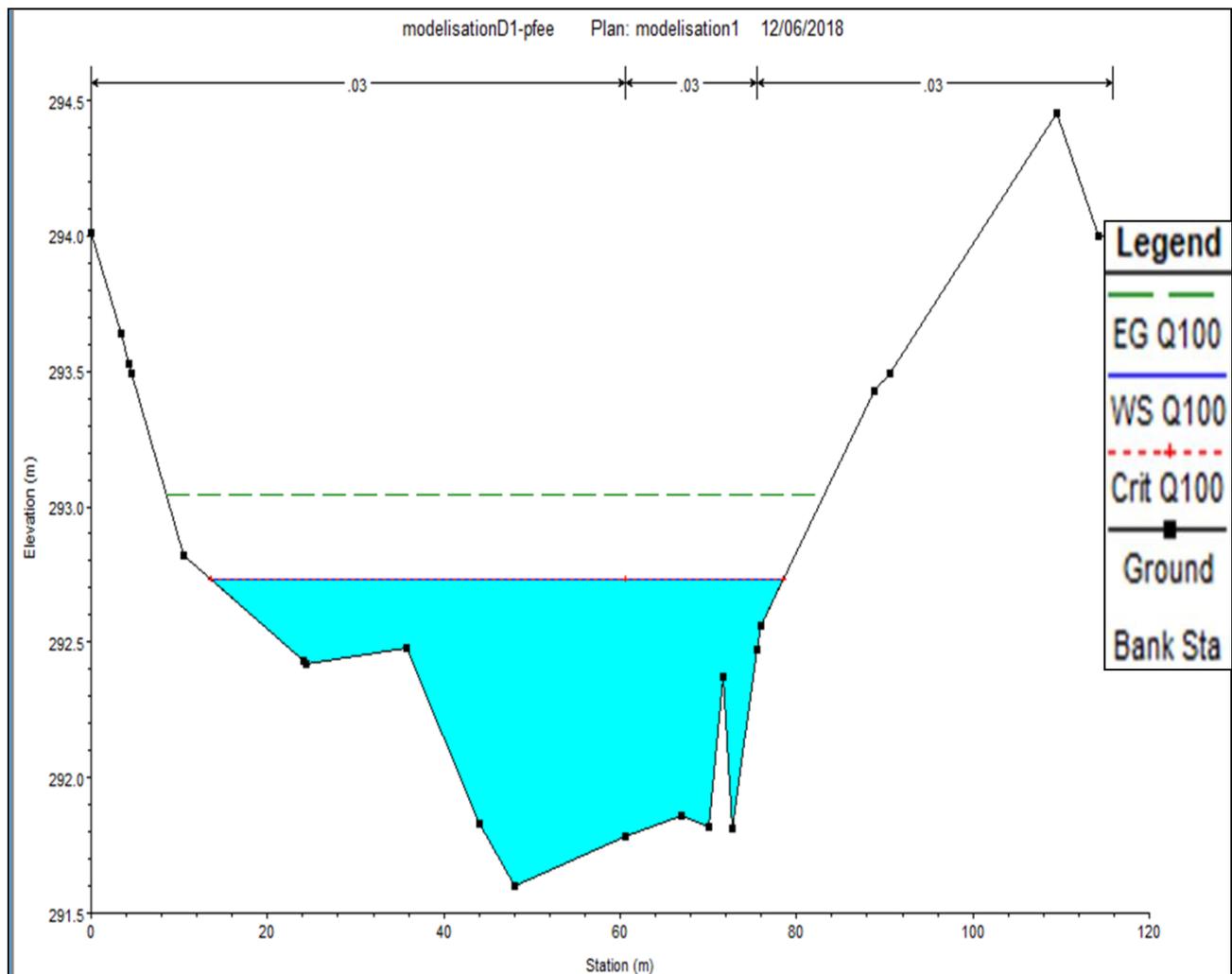


Figure 20: Exemple de section illustrant les niveaux d'eau maximaux atteints par le débit centennal

### 3. Resultat de simulation hydraulique :

Le logiciel HEC-RAS permet aussi de créer des tableaux récapitulatifs de l'ensemble des paramètres relatifs à la simulation hydrauliques réalisée. L'analyse des modèles de crues calculés pour les différentes périodes de retour permet de faire les observations suivantes :

- L'oued Bridia déborde pour toutes les périodes de retour 10, 50 et 100 ans.
- Le centre TLET IGHOUD se trouve exposé au danger des inondations puisque toutes les périodes de retour débordent sur une bonne partie des constructions et des parcelles agricoles localisé au voisinage de cette localité.
- La route communale 2200 qui traverse l'oued n'échappe pas aux effets de cet aléa. Elle connaît des crues de grandes vitesses qui provoquent des dégradations la voie bitumée.

**Tableau 18: Résultats de la simulation hydraulique de l'oued Bridia**

Profile Output Table - Standard Table 1												
HEC-RAS Plan: modelisation River: Bridia Reach: 1 Profile: Q100												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
1	2338.752	Q100	71.87	312.00	313.71		313.83	0.001564	1.74	52.25	55.16	0.45
1	2315.096	Q100	71.87	312.00	313.69		313.79	0.001372	1.61	54.26	51.97	0.42
1	2276.15	Q100	71.87	312.00	313.32	313.32	313.66	0.007336	2.93	29.57	41.37	0.92
1	2220.527	Q100	71.87	311.00	312.59	312.08	312.71	0.001747	1.66	47.30	43.01	0.46
1	2188.231	Q100	71.87	311.00	312.37		312.62	0.003278	2.34	33.65	29.62	0.64
1	2141.988	Q100	71.87	311.00	312.26		312.45	0.003170	2.17	38.82	42.53	0.62
1	2093.868	Q100	71.87	310.76	311.85	311.85	312.20	0.008140	2.60	28.44	41.82	0.93
1	2030.988	Q100	71.87	310.00	311.23	310.79	311.33	0.001716	1.59	54.46	59.77	0.46
1	1959.385	Q100	71.87	310.33	310.85	310.85	311.06	0.011431	2.09	35.88	85.32	0.99
1	1920.882	Q100	71.87	309.46	309.92	310.07	310.44	0.020608	1.92	23.20	47.44	1.22
1	1895.368	Q100	71.87	309.00	309.97	309.87	310.22	0.005545	2.15	34.28	50.55	0.76
1	1854.715	Q100	71.87	309.05	309.80		309.96	0.005101	1.94	40.80	64.72	0.72
1	1790.716	Q100	71.87	308.00	309.15	309.15	309.50	0.009937	2.83	27.68	40.71	1.02
1	1726.943	Q100	71.87	307.00	308.40	308.51	308.89	0.009267	3.41	26.16	41.45	1.04
1	1667.141	Q100	71.87	307.45	308.20	308.20	308.44	0.007382	1.80	36.53	75.49	0.81
1	1607.638	Q100	71.87	306.00	307.62	307.44	307.79	0.003625	2.03	42.00	62.87	0.64
1	1556.963	Q100	71.87	306.01	307.48		307.62	0.002949	1.99	48.03	79.86	0.59
1	1514.348	Q100	71.87	306.61	307.21	307.21	307.42	0.008450	1.88	37.12	86.34	0.87
1	1459.714	Q100	71.87	305.00	305.97	306.18	306.68	0.021234	3.96	19.75	32.30	1.47
1	1405.371	Q100	71.87	304.26	305.50	305.52	305.91	0.008295	3.12	26.86	35.64	0.98
1	1341.873	Q100	71.87	303.00	303.93	304.27	305.01	0.023783	4.80	16.34	22.55	1.61
1	1283.775	Q100	71.87	303.03	304.03	304.03	304.34	0.009785	2.76	30.00	49.53	1.01
1	1232.049	Q100	71.87	302.00	303.77	302.85	303.81	0.000537	1.05	76.19	58.26	0.27
1	1179.794	Q100	71.87	302.30	303.40	303.40	303.72	0.006814	2.68	31.66	53.11	0.87
1	1135.394	Q100	71.87	301.23	302.22	302.50	303.12	0.027476	4.55	17.43	27.38	1.68
1	1094.649	Q100	71.87	301.00	302.39	301.82	302.49	0.001411	1.56	52.07	45.52	0.42

Total flow in cross section.

## Conclusion générale

Le présent travail porte sur l'étude hydrologique du bassin versant de l'oued Bridia dans la perspective d'une simulation hydraulique qui permettrait de déterminer les zones à risque d'inondations au niveau de la commune rurale de Tlet Ighoud.

L'étude hydrologique a montré que l'oued Bridia possède un petit bassin versant dont le périmètre et la superficie sont respectivement estimés à 29 kilomètres-carrés et 30.27 kilomètres. Les caractéristiques physiques de ce bassin versant montrent qu'il possède une forme très allongée avec une longueur du cours d'eau de 12.18 km et un rectangle équivalent de 13.06 Km de long et 2.21 Km de largeur. L'examen de la carte hypsométrique et celle des pentes montre que l'écoulement le long de la vallée de l'oued Bridia se dirige vers le sud du bassin. La localité de Tlet Ighoud est située non loin de l'exutoire.

La modélisation hydraulique réalisé à l'aide du logiciel HEC-RAS du tronçon qui passe par le centre de Tlet Ighoud a permis de délimiter, les zones susceptibles d'être débordées par les eaux pour des crues de période de retour de 10, 20, 50 et 100 ans. Ces zones incluent essentiellement une bonne partie des constructions du centre rural de Tlet Ighoud ainsi que des parcelles agricoles.

Les résultats obtenus de la modélisation hydraulique au terme de cette étude peuvent servir aux décideurs dans le choix des types d'interventions pour l'aménagement des zones inondables en offrant une vision générale sur le comportement de l'oued Bridia lors du dépassement de débits de pointe des périodes de retour.

## Bibliographie

**BELKHARCHACH Z (2016)** Les inondations sur la plaine de Tensift (Maroc). Etude dynamique et statistique et conséquences géographiques des crues de l'oued, Projet de Fin d'Etudes, Master Ssc. Tech. EE, FST Marrakech, 74p

**BOBÉE B., FORTIN V., PERREAU L. et PERRON H. (1999)** Hyfran 1.0 (logiciel hydrologique : *Chaire en hydrologie statistique CRNSG/Hydro-Québec*), INRS-Eau, Terre et Environnement, Université du Québec, Québec.

**HEC-RAS River Analysis System (2016)** User's Manual V.5, 960p  
(<http://www.hec.usace.army.mil/software/>).

**Climate-Data.org.** (s.d.). <https://fr.climate-data.org/location/54255/>

<http://medhycos.mpl.ird.fr/en/data/hyd/Drobot/1C.htm>

<https://geograchid.blogspot.com/2016/05/fichier-kml-telecharger-mnt-dem-maroc.html>

## Annexe

Tableau 1

Valeur de a	Régions
0.7 à 0.8	Régions humides
0.8 à 2	Régions arides
3 à 3.5	Oueds sahariens

Tableau 2

Zone		Pluviométrie mm	K1	K2
Rif	Central	1000-1300	15.53	0.776
	Occidental	800-1000	9.78	0.793
	Oriental	600-800	7.58	0.808
Moyen 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

Tableau 3

Valeur de N	Région
80	Plaine
85	Relief accidenté
100	Montagne