

**Licence ès Sciences et Techniques
Eau & Environnement**

Mémoire du projet de fin d'étude

**Apports du SIG dans la cartographie des zones
inondables : Cas du bassin d'Amizmiz. Région de
Marrakech –Tensift- Al Haouz, province d'Al
Haouz, (Maroc).**

Réalisé par : BOUDHIK Asma BOUFOUS Kaoutar
MAJDOULI Kaouthar

Soutenu le : 30 Juin 2021

Devant la commission d'examen composée de :

Encadrants : Mr. SAIDI Mohamed El Mahdi (FSTG)

Mr. EL ALAOUI EL FELS Abdelhafid (FSTG)

Co-Encadrant : Mme. ABOUNKIR Intissar (ABHT)

Examineur : Mr. IBOUH Hassan (FSTG)

Année universitaire 2020-2021

Dédicace

A nos chers parents ;

Quoi qu'on fasse ou quoi qu'on dise nous ne saurons point vous remercier comme il se doit et comme il faut. Votre affection nous couvre, votre bienveillance nous guide, votre présence près de nous a toujours été notre source de force pour affronter les différents obstacles.

Quand nous avons failli tombés, votre confiance en nous était une main forte à laquelle on s'accroche. Nous nous sommes séparés et les larmes comme une pluie orageuse sur nos joues, mais chaque larme était une promesse que nous ne trahirons pas votre confiance en un moment et que nous garderons votre tête haute en tous moments.

Chers frères et sœurs,

Vous étiez notre pilier quand tous nous semble perdu. Merci notre repère essentiel et éternel.

Cher(e) ami(e)s,

Vous étiez la flamme qui allume notre vie en moment d'obscurité.

Merci

Remerciement :

Nous tenons tout d'abord à remercier "الله" de nous avoir donné la chance, le courage, la patience, la volanté et surtout l'espoir renouvelé d'en arriver à prouver nous-mêmes et exprimer de manière héroïque nos passions envers ce domaine.

On remercie aussi toutes les personnes qui ont contribué de différentes façons à la réussite de notre projet et plus particulièrement les personnes citées ci-dessous :

On remercie 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 remercie ce grand homme, notre encadrant interne **Monsieur Mohammed El Mehdi SAIDI**, pour 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. Merci Monsieur, vos précieux conseils, vos commentaires, et vos critiques ont été très utiles pour élaborer ce travail. Un petit mot de merci avec une grande gratitude qu'on ressent sincèrement envers vos efforts et dévouement.

Sans oublier **Monsieur Abdelhafid EL ALAOUI EL FELS**, qui fut le premier à nous faire découvrir le sujet de notre projet et qui a fourni un grand effort au niveau de la réalisation de ce mémoire, également dans sa formation d'initiation à l'utilisation des Logiciels outils de travail qui s'est déroulée pendant la période stage.

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

Enfin on tient à remercier une personne qui a contribué de loin à la réalisation de cette étude, et dont son nom est **Monsieur Ayoub Elhaddaji**.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce à vous.

Merci et un mot de remerciement ne vous suffira pas.

“ Tu ne te noies pas en tombant dans l'eau.

Tu te noies en y restant”.

Tchur le poète

Table des matières

Introduction	9
Présentation d'organisme de stage : L'agence de Bassin Hydraulique Tensift (ABHT).....	11
CHAPITRE I : Présentation de la zone d'étude	14
I-Contexte géographique et délimitation du bassin d'étude :	15
1- Contexte géographique :.....	15
2-Délimitation du bassin d'étude :.....	16
2-a-Caractéristiques géométriques du bassin versant :	17
Superficie et périmètre	17
Forme.....	17
Relief	18
2-b- La carte hypsométrique et courbe hypsométrique	18
La carte hypsométrique	18
La courbe hypsométrique	19
Le rectangle équivalent	19
La pente moyenne du bassin im	21
II- Contexte Climatique :	21
III-Contexte géologique :	22
IV-La problématique d'étude :.....	23
CHAPITRE II : ETUDE HYDROPLUVIOMETRIQUE	24
I-Régime pluviométrique :	24
1-variabilité annuelle :.....	25
2-Variabilité saisonnière.....	25
3-Variabilité mensuelle	26
II-Régime hydrologique de l'Oued Amizmiz à la station de Sidi Hssain :... 26	
1- Variabilité annuelle :.....	26
2- Variabilité saisonnière.....	27
3-Variation mensuelle.....	27
III- Calculs de temps de concentration :	27
Formule de Giandotti	28
Formule de Ventura.....	28
Formule Kripich.....	28
Formule US Corps.....	29

Formule espagnole	29
L'averse et l'intensité de pluie	30
Formule de Montana	30
IV- Estimation des débits de crues au niveau de la zone d'étude	31
_Toc75385670 Le coefficient de ruissellement	31
1-Méthode rationnelle ou pseudo-empirique :	32
Formule de Turazza	32
Formule de Burkli-ziegler	33
2-Méthode empirique :	33
Formule de Hazan Lazarevic	33
Formule de FULLER	34
V-Analyse fréquentielle des débits instantanés des bassins voisins et transposition (HYFRAN) :	36
Analyse fréquentielle et étude de performance pour la station Igui N'kouris	37
1-Etude fréquentielle	37
2-Etude de performance	38
Analyse fréquentielle et étude de performance pour la station Imin lhemmam	Error! Bookmark not defined.
Analyse fréquentielle et étude de performance pour la station Sidi Hssain	41
Méthode de Transposition	43
Estimation des débits du bassin d'Amizmiz :	44
L'hydrogramme de crue	44
CHAPITRE III : MODELISATION HYDRAULIQUE ET CARTOGRAPHIE DES ZONES INONDABLES	46
I- STIMULATION HYDRAULIQUE :	47
1-Principe :	47
2-Modèles de stimulation :	47
Modèle unidimensionnel :	47
Modèle bidimensionnel	47
II-Résultats de la stimulation et interprétation :	48
Plan de protection proposé	49
Conclusion générale :	51
REFERENCES	52

Liste des Figures :

Figure 1: La zone d'action de l'agence de Bassin Hydraulique de Tensift	13
Figure 2: Carte de localisation du douer Amizmiz.....	15
Figure 3: Carte de délimitation du Bassin d'Amizmiz.....	16
Figure 4: Carte hypsométrique du bassin d'Amizmiz.....	18
Figure 5: Courbe hypsométrique du bassin Amizmiz	19
Figure 6: Carte des pentes du bassin d'Amizmiz	20
Figure 7: Carte géologique du bassin versant d'Amizmiz (extraite de la carte géologique d'Amizmiz (1/100 000).....	22
Figure 8: La courbe des pluies moyennes annuelles d'Amizmiz.....	25
Figure 9 : Courbe des précipitations saisonnières moyennes de la station Sidi Hssain	25
Figure 10: La courbe des précipitations mensuelles moyennes de la station Sidi Hssain	26
Figure 11: La courbe des débits moyens annuels.....	26
Figure 12: graphe illustrant les débits moyens saisonniers.....	27
Figure 13 : Courbe illustrant la variation des débits moyens mensuels	27
Figure 14: Modèle Exponentiel	Figure 15: Modèle GEV
Figure 16: Modèle Gumbel	Figure 17: Modèle Log normal.....
Figure 18: Modèle Gamma.....	37
Figure 19: Modèle Exponentiel	Figure 20: Modèle Gamma.....
Figure 21: Modèle GEV	Figure 22: Modèle Gumbel
Figure 23: Modèle Log normal.....	39
Figure 24: Modèle Exponentiel	Figure 25: Modèle Gamma.....
Figure 26: Modèle GEV	Figure 27: Modèle Gumbel
Figure 28: Modèle Log normal.....	41
Figure 29: Localisation géographique des trois bassins	43
Figure 30: Hydrogramme de crue centennale	45
Figure 31: Carte illustrant les résultats de modélisation sur l'oued Amizmiz....	48

Liste des tableaux

Tableau 1: Coordonnées géographiques d'Oued Amizmiz	15
Tableau 2: Les données acquises du bassin d'Amizmiz	21
Tableau 3: Temps de concentration calculés	29
. Tableau 4: les coefficients de Montana à Marrakech ville.	30
Tableau 5: les valeurs de l'intensité maximale pour chaque période de retour. .	31
Tableau 6: coefficient de ruissellement.....	32
Tableau 7: Les coefficients a et b de la formule d'Hazan-Lazarevic.	34
Tableau 8: les valeurs de coefficient C en fonction du climat:	35
Tableau 9: Les valeurs de coefficient N en fonction du relief	35
Tableau 10: Débits de pointe obtenus par les deux méthodes	35
Tableau 11: Comparaison des critères de performance des cinq modèles.....	38
Tableau 12: comparaison des caractéristiques de population et de modèle.....	38
Tableau 13: les débits estimés pour chaque période de retour. Error! Bookmark not defined.	
Tableau 14: Comparaison des critères de performance des cinq modèles.....	40
Tableau 15: comparaison des caractéristiques de population et de modèle.....	40
Tableau 16: Les débits estimés pour chaque période de retour de la station Imin Lehemmam	40
Tableau 17 : Comparaison des critères de performance des cinq modèles.....	42
Tableau 18 : comparaison des caractéristiques de population et de modèle.....	42
Tableau 19 : Les débits estimés pour chaque période de retour de la station Sidi Hssain.	42
Tableau 20: Les surfaces et les débits estimés des stations étudiées.	43
Tableau 21: Résultats obtenus pour la valeur de t.....	44
Tableau 22: Résultats finaux des débits estimés par la méthode de transposition	44
Tableau 23 : Les valeurs indicatives de coefficient de Manning	49

Introduction :

Qu'un pays ayant un climat semi-aride comme le Maroc, subit de temps à autre les grands dégâts des inondations et ce n'est guère un paradoxe. Le phénomène des inondations au Maroc a commencé à être ressenti plus fortement durant les deux dernières décennies, à cause d'une part, de la croissance démographique, du développement économique et du l'essor urbain, agricole, industriel et touristique qui aboutissent à une occupation croissante des zones vulnérables. D'autre part, de l'accentuation des phénomènes extrêmes tels que la sécheresse et les crues suite aux transformations climatiques générant de forts orages engendrant des crues rapides et violentes.

Dans un souci d'efficacité, le Secrétariat d'Etat chargée de l'Eau SEE a élaboré une stratégie visant à remédier les effets des inondations en proposant des résolutions globales, rationnelles et radicales pour que les périodes de retour soient raisonnables, et s'adaptant parfaitement avec les impératifs de gestion de l'eau et en termes d'élaboration de plans d'interventions, d'urgence et de préparation des plans d'aménagement pour la réduction des catastrophes.

Le risque d'inondation est très fréquent dans le bassin du Tensift et plus spécifiquement dans sa partie montagneuse. Actuellement, notre étude effectuée au sien de l'Agence du Bassin Hydraulique Tensift dans le cadre d'un stage de projet de fin d'étude, pour objectif de faire une étude approfondie sur la région d'Amizmiz, dans le but de cartographier les zones inondables et de protéger le Douar du risque d'inondation.

Le présent rapport est présenté en trois grands chapitres :

Le premier chapitre sera consacré à une présentation générale de la zone d'étude en mettant l'accent sur son cadre géographique, climatique et géologique, ainsi qu'une description globale de notre bassin, afin de définir les caractéristiques géographiques et physiographiques indispensables à la compréhension des futures mécanismes hydrologiques.

Le deuxième chapitre est subdivisé à son tour en trois parties.

- La première partie pour une étude hydro-pluviométrique en analysant les variabilités annuelles, saisonnières et mensuelles des débits et précipitations d'oued Amizmiz sur la station de Sidi Hssain et l'identification de pas mal de paramètres du bassin qui servent à la détermination des débits par la suite.
- La deuxième partie concerne les analyses fréquentielles faites sur les trois stations ; Sidi Hssain, Iguir N'kouris et Imin Lhemmam et la discussion

de quelques lois statistiques avant avoir choisi celui le plus approprié pour chaque station.

- La dernière partie ou le dénouement est réservée pour l'estimation des débits de pointe de notre bassin d'étude par différentes méthodes et pour chaque période de retour.

Le dernier chapitre comprendra une modélisation hydraulique et l'élaboration des cartes des zones inondables.

Outils de travail :

ArcGIS :

ArcGIS est un système complet qui permet de d'organiser, collecter, analyser, gérer, communiquer et diffuser des informations géographiques. Il est également considéré la principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, il permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque.

Le système est composé de trois logiciels essentiels :

- Arc Map : sert à éditer les fichiers en format géodata base
- Arc Catalog : Permet la gestion des données et donc d'obtenir le maximum d'information sur l'objet édité. Il s'agit d'un système de gestion de bases de données (SGBD).
- Arc ToolBox : Comportant un ensemble d'outils de transformation des données.

HYFRAN-PLUS :

Le logiciel HYFRAN-PLUS permet d'ajuster un nombre marquant de distributions statistiques à une série de données qui vérifient les hypothèses d'indépendance, d'homogénéité et de stationnarité.

HEC-RAS :

Logiciel de simulation de l'hydraulique dans les rivières et canaux

Système d'analyse des rivières du centre d'ingénierie hydrologique est un logiciel de modélisation hydraulique destiné à simuler l'écoulement dans les cours d'eau et les canaux. Le modèle utilisé est unidimensionnel. Le programme a été élaboré par les corps des ingénieurs de l'armée américaine dans le but de gérer les rivières, les ports et autres travaux publics relevant de leur compétence. Développé par le centre d'ingénierie hydraulique (HEC) en Californie, pour permettre aux ingénieurs en hydraulique d'analyser les débits dans le lit des rivières et de déterminer les zones inondables.

Présentation d'organisme de stage : L'agence de Bassin Hydraulique Tensift (ABHT)

L'agence du Bassin Hydraulique a été amorcée en application de la loi 10-95 sur l'eau conformément à l'article 20, créée au niveau de chaque bassin hydraulique comme étant un établissement public dotée de la personnalité morale et de l'autonomie financière, et instaurée par le décret N 2-00-479 du 14 Novembre 2000. Son démarrage en action était en Avril 2002.

Selon dahir 10-95, l'article 20 :

L'agence de bassin est chargée :

1. D'élaborer le plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau Relevant de sa zone d'action ;
2. De veiller à l'application du plan directeur d'aménagement intégré des Ressources en eau à l'intérieur de sa zone d'action ;
3. De délivrer les autorisations et concessions d'utilisation du domaine public hydrauliques prévus dans le plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau de sa zone d'action ;
4. De fournir toute aide financière et toute prestation de service, notamment d'assistance technique, aux personnes publiques ou privées qui en feraient la demande, soit pour prévenir la pollution des ressources en eau, soit en vue d'un aménagement ou d'une utilisation du domaine public hydraulique.
5. De réaliser toutes les mesures piézométriques et de jaugeages ainsi que les études hydrologiques, hydrogéologiques, de planification et de gestion de l'eau tant au plan quantitatif que qualitatif ;
6. De réaliser toutes les mesures de qualité et d'appliquer les dispositions de la présente loi et des lois en vigueur relatives à la protection des ressources en eau et à la restauration de leur qualité, en collaboration avec l'autorité gouvernementale chargée de l'environnement ;
7. De proposer et d'exécuter les mesures adéquates, d'ordre réglementaire notamment, pour assurer l'approvisionnement en eau en cas de pénurie d'eau déclarée conformément au chapitre X de la présente loi ou pour prévenir les risques d'inondation ;
8. De gérer et contrôler l'utilisation des ressources en eau mobilisées ;
9. De réaliser les infrastructures nécessaires à la prévention et à la lutte contre les inondations ;

10. De tenir un registre des droits d'eau reconnus et des concessions et autorisations de prélèvement d'eau accordées.

L'agence du bassin hydraulique Tensift, Située au centre ouest du Maroc, le bassin du Tensift-Ksob-Igouzoulen s'étend sur une superficie de l'ordre de 26.035 Km² Selon le nouveau découpage adopté en 2018. Le bassin du Tensift comprend une superficie estimée à 20323 km², les bassins côtiers comme bassin de Laksoub d'une superficie estimée à 1664 km² et le bassin d'Egozoulen d'une superficie de 1035 km².

Administrativement, la zone d'action couvre totalement la préfecture de Marrakech et quasi-totalité des provinces **d'Al Haouz**, de **Chichaoua**, **d'Essaouira** et de **Yousseoufia** et **partiellement** les provinces de **Rehamna**, de **Kelaâ des Sraghnas** et de **Safi**.

Selon le recensement de 2014, la population du bassin est de 3.04 millions habitants, soit près de 67.5% de la population de la région de Marrakech-Safi et 9% de la population du Royaume.

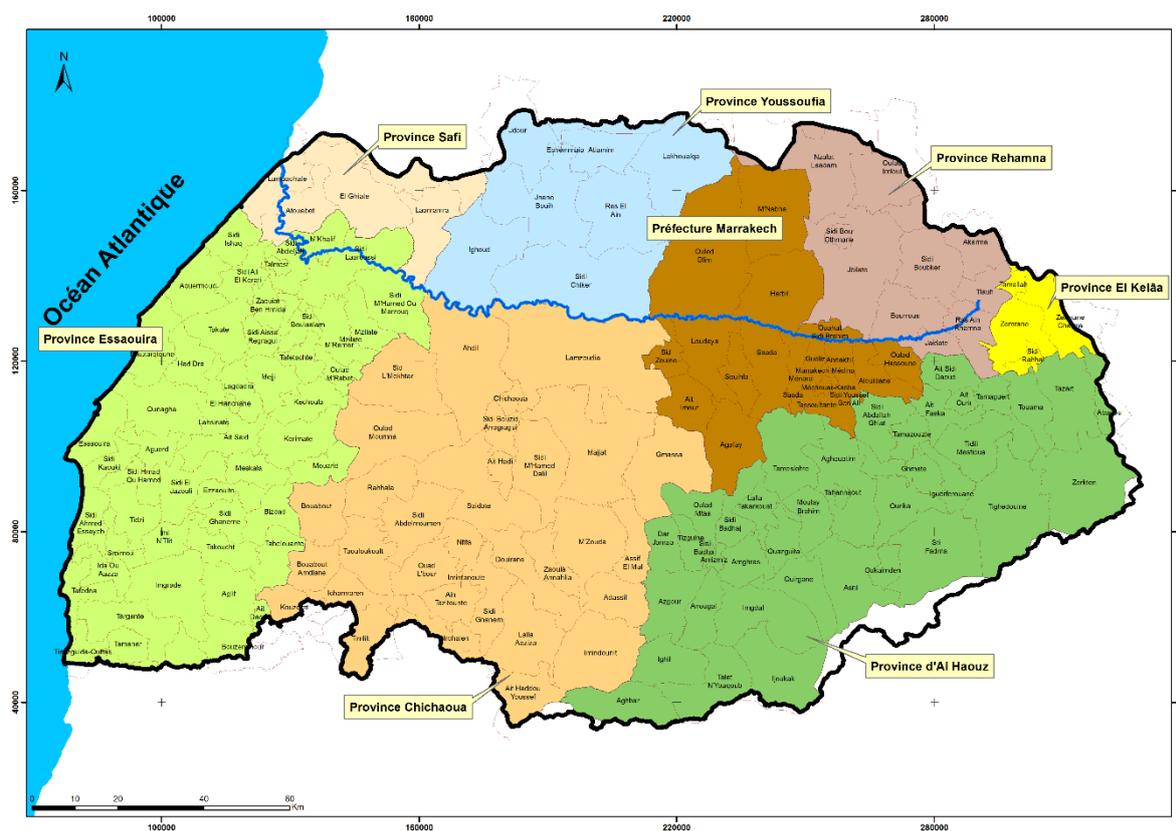


Figure 1: La zone d'action de l'agence de Bassin Hydraulique de Tensift

CHAPITRE I :
Présentation de la zone d'étude.

I-Contexte géographique et délimitation du bassin d'étude :

1-Contexte géographique :

Amizmiz fait partie de la province de Tahnaout située à l'état de Marrakech-Tensift-Al Haouz au Maroc.

Le village d'Amizmiz localisé à 55kilomètres au sud-ouest de Marrakech, au pied du Haut Atlas. La bourgade est séparée en deux parties par un Oued portant le même nom. Le bourg principal se nomme Amizmiz-Amadel et est situé en rive droite de l'oued, l'autre bourg, nommé Amizmiz-Regraga, situé sur les hauteurs en rive gauche de l'oued, tandis que la route qui mène vers le barrage d'Ouirgane abrite le cercle d'Amghras.

Coordonnées en degré décimale	Latitude	31.31
	Longitude	-8.13

Tableau 1: Coordonnées géographiques de l'exutoire de l'Ouad Amizmiz

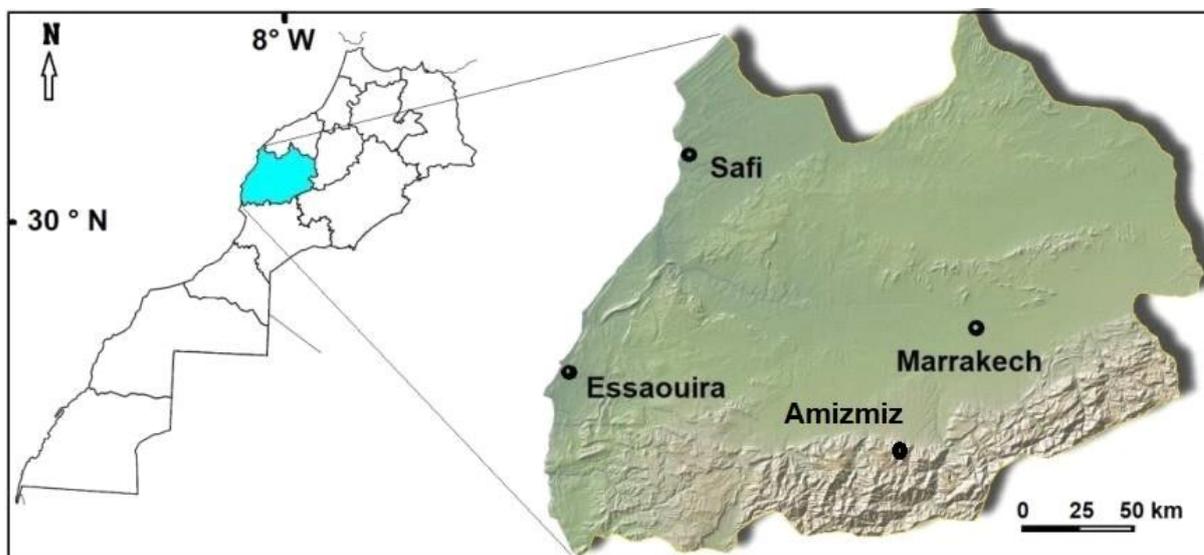


Figure 2: Carte de localisation de la localité d'Amizmiz

2-Délimitation du bassin d'étude :

Pour délimiter le bassin versant alimentant l'oued Amizmiz, nous sommes basées sur une carte topographique d'échelle de 1/50000 et un modèle numérique du terrain (MNT) d'une résolution de 30 mètres tiré à partir du portail : <https://portal.opentopography.org/result?id=rt1622139818628>

En utilisant les outils d'analyses hydrologiques, le logiciel Arc GIS permet une automatisation des processus suivants :

- Le traçage du réseau hydrographique.
- La mesure des caractères morphologiques du bassin (superficie, périmètre...)
- Le calcul de pente du bassin ainsi que des cours d'eaux.
- La classification des altitudes sous forme des tranches.

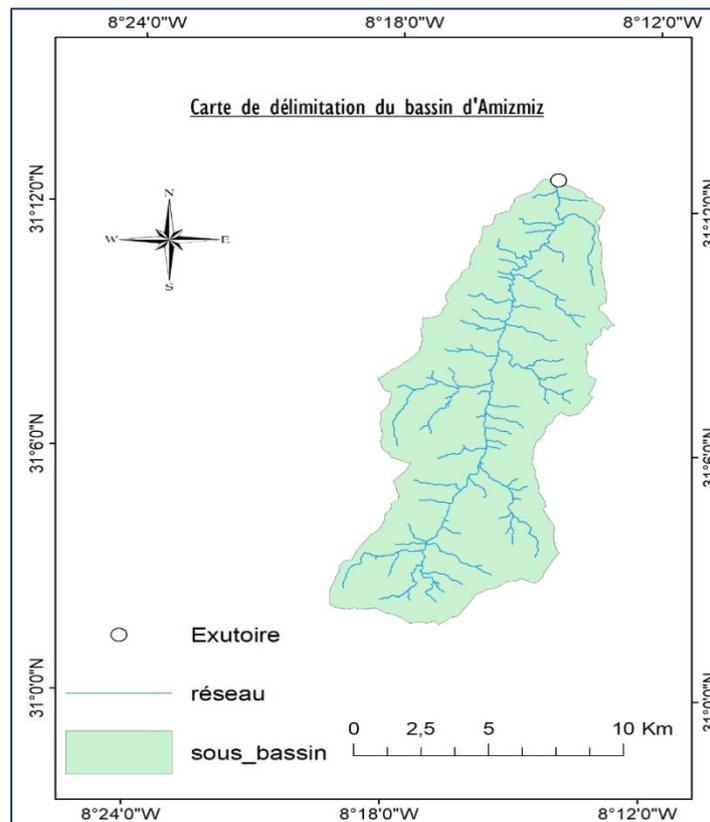


Figure 3: Carte de délimitation du Bassin versant d'Amizmiz

2-a-Caractéristiques géométriques du bassin versant :

Cet axe est consacré à une description générale du bassin versant, afin de définir les caractéristiques géographiques et physiographiques indispensables à la compréhension des futures mécanismes hydrologiques. Nous parlons donc d'altitudes, pentes, forme, superficie, périmètre... Ces indicateurs ont une importance majeure car ils interviennent et souvent combinés, dans les modalités de l'écoulement superficiel puisqu'ils influencent fortement sa réponse hydrologique et notamment le régime des écoulements en période des crues.

○ Superficie et périmètre :

La superficie et le périmètre jouent un rôle très essentiel dans la caractérisation morphologique du bassin d'étude et influencent également la nature de la relation entre le débit et le temps ; un grand bassin réagit lentement à une averse.

Pour le bassin versant Amizmiz, il s'étale sur un périmètre de **57,18 Km** et une surface de **113,18 Km²**.

○ Forme :

Existe autant d'indices qui permettent de caractériser les écoulements et comparer entre des bassins versants, dont on peut citer l'indice de forme de Gravelius K_G .

Un indice de compacité défini comme la relation entre le périmètre d'un bassin versant et le périmètre d'un cercle de même surface. Il est exprimé par l'équation suivante :

Avec :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

K_G : l'indice de forme de Gravelius.
 A : la surface du bassin versant km².
 P : le périmètre du bassin versant km.

L'indice de Gravelius pour notre bassin versant est de valeur de **1,50** un chiffre qui caractérise les bassins de forme allongés.

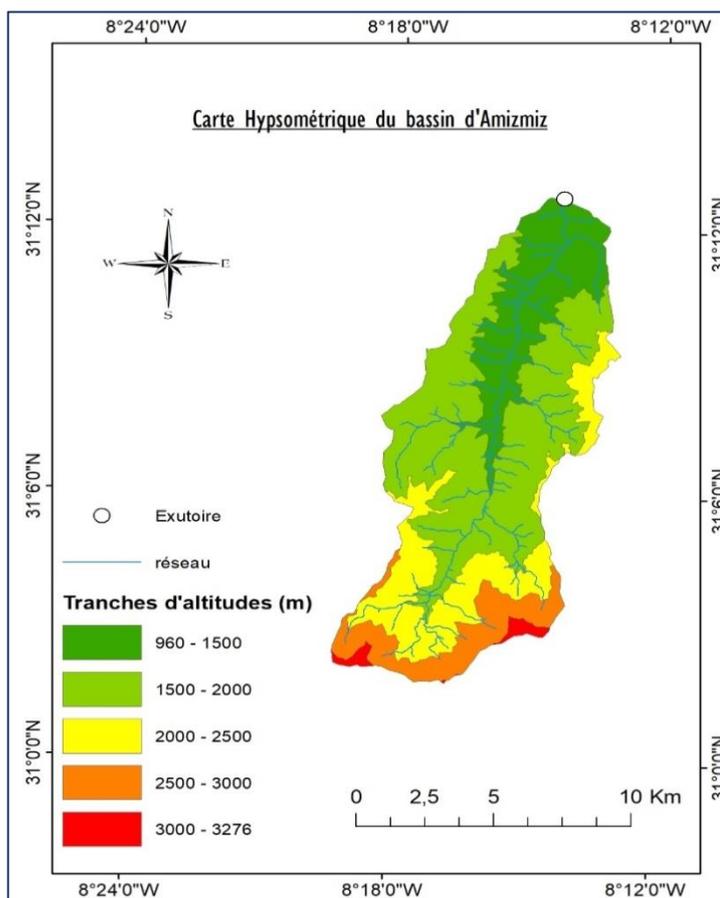
○ Relief :

L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitations, températures, humidité...) et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement.

Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices ou de caractéristiques suivantes :

2-b- La carte hypsométrique et courbe hypsométrique :

○ La carte hypsométrique :



- La carte hypsométrique illustre la variation spatiale des tranches d'altitudes en fonction des superficies.

- Les tranches d'altitudes qui varient entre 1500 et 2000 sont les plus dominantes.

Figure 4: Carte hypsométrique du bassin versant d'Amizmiz

○ La courbe hypsométrique :

La courbe hypsométrique fournit une vue globale de la pente d'un bassin versant et donc du relief. Cette courbe représente la distribution des altitudes du bassin en fonction de sa surface.

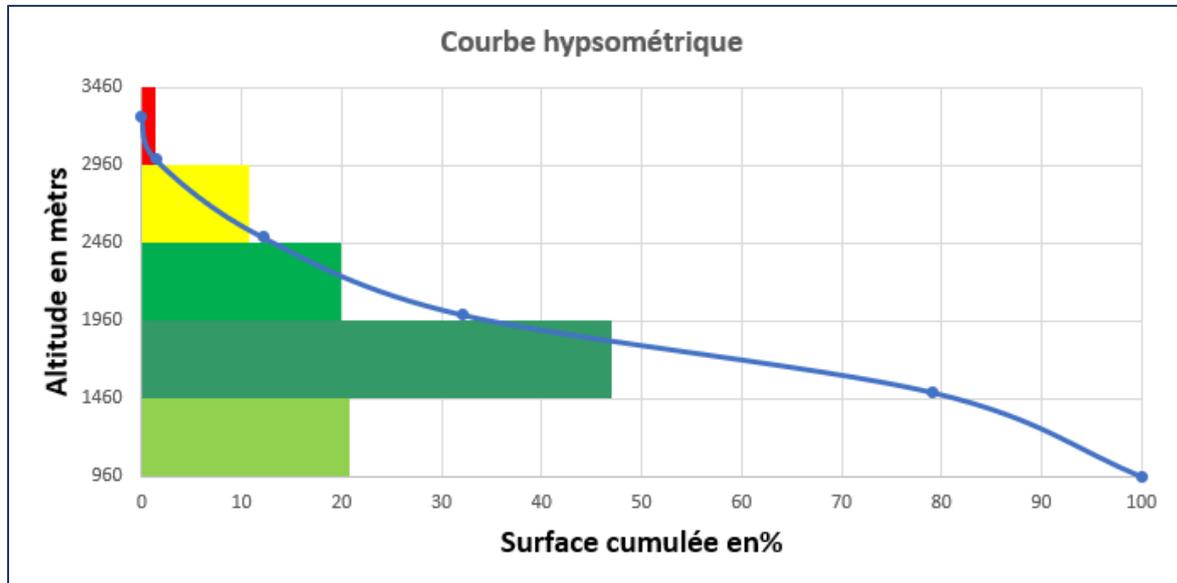


Figure 5: Courbe hypsométrique du bassin versant d'Amizmiz

Le bassin d'Amizmiz est caractérisé par une altitude maximale de 3276 m, et une altitude minimale de 960 m et la majorité de la surface du bassin est occupée par des terrains d'altitudes qui varient entre 1500 m et 2000 m.

○ Le rectangle équivalent :

Le rectangle équivalent est une transformation purement géométrique du bassin versant en un rectangle de dimensions L et l, ce dernier permet de comparer les bassins versants entre eux du point de vue de l'écoulement.

C'est une méthode qui permet de comparer les pentes de différents bassins versants pour comprendre l'effet des caractéristiques de la pente sur le débit.

Les dimensions du rectangle équivalent sont calculées par ces deux relations:

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

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

Avec :

L : longueur du rectangle équivalent **K_G** : l'indice de forme de Gravelius

I : largeur du rectangle équivalent **A** : la surface du bassin versant en km²

P : le périmètre du bassin versant en km.

La pente des cours détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin et donc le temps de concentration. Elle s'influence sur l'état d'écoulement des cours d'eau au niveau du bassin versant. En effet, la pente peut se traduire par l'infiltration de l'eau pour les faibles pentes et le ruissèlement de nature torrentielle pour des pentes fortes.

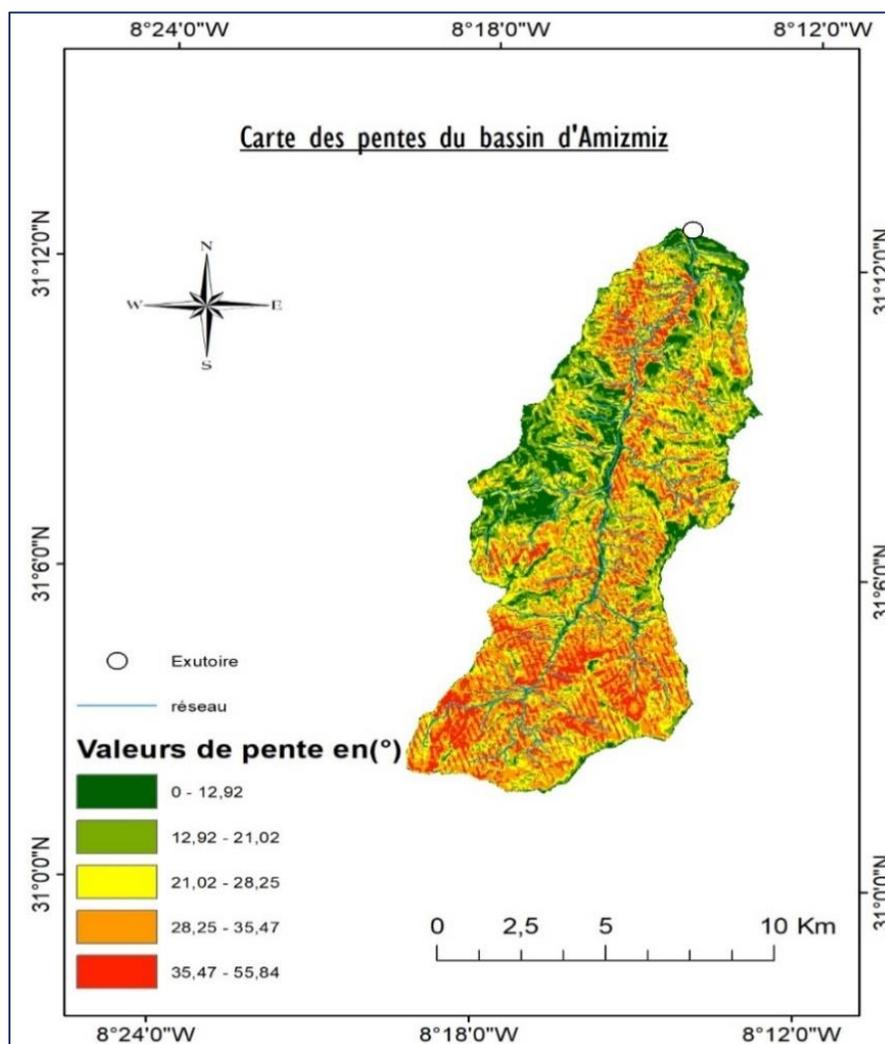


Figure 6: Carte des pentes du bassin versant d'Amizmiz

- La pente moyenne du bassin i_m :

$$i_m = \frac{\Delta H}{L}$$

Avec :

ΔH : La difference entre la hauteur maximale et minimale en (m)

L : la longueur du bassin versant en (m)

La pente moyenne du bassin d'Amizmiz est 0,12.

Paramètres	Valeurs
Surface Km ²	113.18
Périmètre Km	57.18
L'indice de forme de Gravelius K_G	1.50
Longueur du rectangle équivalent (Km)	19.64
Largeur du rectangle équivalent (km)	8.64
Altitude maximale(m)	3276
Altitude minimale(m)	960
Altitude moyenne(m)	1871.27
Dénivelé(m)	2316
Pente moyenne du bassin (m/m)	0.12

Tableau 2: Les données acquises du bassin versant d'Amizmiz

II-Contexte Climatique :

Amizmiz se trouve à **961m** d'altitude, un climat de steppe (Semi-aride) est présent à Amizmiz, tout au long de l'année il y a peu de précipitations à Amizmiz selon la classification de Koppen-Geiger, le climat est de type **BSK**.

- **B** : Climat Sec
- **S** : Semi-aride
- **K** : Sec et froid ; Température annuelle <18°

Les températures moyennes mensuelles varient entre **17°C** et **20°C**. Les mois les plus chauds sont généralement Juillet et Août avec **25°C** à **29°C** sur l'Atlas et la plaine de Haouz et **19°C** à **24°C** dans les zones côtières. Le mois le plus froid

est Janvier avec 12°C sur l'Atlas et la plaine du Haouz et 13°C à $14,5^{\circ}\text{C}$ dans les zones côtières (ABHT, 2002).

En se basant sur les données de pluviométrie journalière maximale de la station hydrologique Sidi Hssain sur l'ouad Amizmiz. La station enregistre une pluviométrie annuelle moyenne de l'ordre de **417mm**.

III-Contexte géologique :

La région d'Amizmiz se fait partie du massif ancien du Haut Atlas (MAHA) dit aussi le Haut Atlas du Marrakech. Ce dernier est limité par le haut atlas central à l'EST et le haut atlas occidentale ou atlantique à l'OUEST.

Le haut atlas du Marrakech est subdivisé par les auteurs en trois blocs séparés par des failles NNE et SSW, il s'agit des domaines : Orientale, Central et Occidental.

Le secteur d'Amizmiz montre une série litho stratigraphique allant du Paléozoïque au tertiaire :

- **Le Paléozoïque :** est représenté par des terrains sédimentaires métamorphisés et déformés d'âge cambrien et ordovicien, et des terrains magmatiques représentés principalement par le granite d'âge hercynien.
- **Le mésozoïque :** est représenté quant à lui par des terrains sédimentaires d'âge allant probablement du portlandien (sommet du Jurassique) jusqu'au Crétacé supérieur. Cette série repose en discordance sur les terrains Paléozoïque (granite et schiste).
- **Tertiaire :** Les terrains d'âge éocène qui reposent en discordance sur le crétacé.

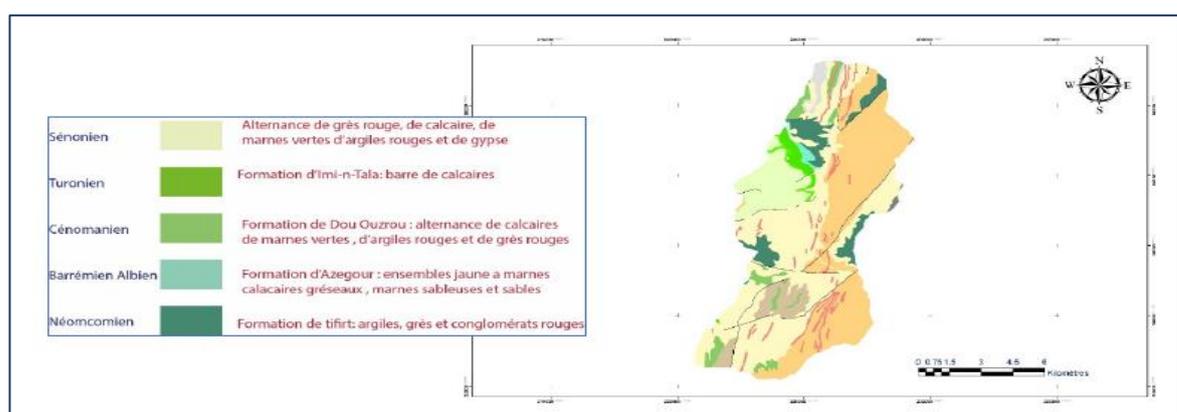


Figure 7: Carte géologique du bassin versant d'Amizmiz (extraite de la carte géologique d'Amizmiz (1/100 000))

IV-La problématique d'étude :

Afin d'étudier la vulnérabilité de douar Amizmiz face aux inondations une investigation doit être menée, pour relever des traces des inondations antérieures.

Le Douar Amizmiz est subdivisé en deux parties par un ouad portant le même nom. Un village toujours exposé au risque d'inondation, c'est pour cela il est devenu nécessaire d'estimer et d'étudier les données des débits et précipitations ainsi que les périodes de retour des crues sur ce bassin d'Amizmiz.

La complexité réside dans le manque des données, car nous sommes entrain d'étudier un bassin non-jaugé, ce qui nous incite à recourir à la méthode de la transposition entre trois stations adjacentes au bassin d'étude souhaitée, qui sont la station de Sidi Hssain, Iguir N'kouris et Immi Lhemmam.

CHAPITRE II :
ETUDE
HYDROPLUVIOMETRIQUE.

I-Régime pluviométrique :

1-variabilité annuelle :

Au cours de la durée qui s'étant depuis 1998 jusqu'à 2017, la pluviométrie a connu une forte irrégularité interannuelle, traduite par le climat aride à semi-aride de la zone d'étude.

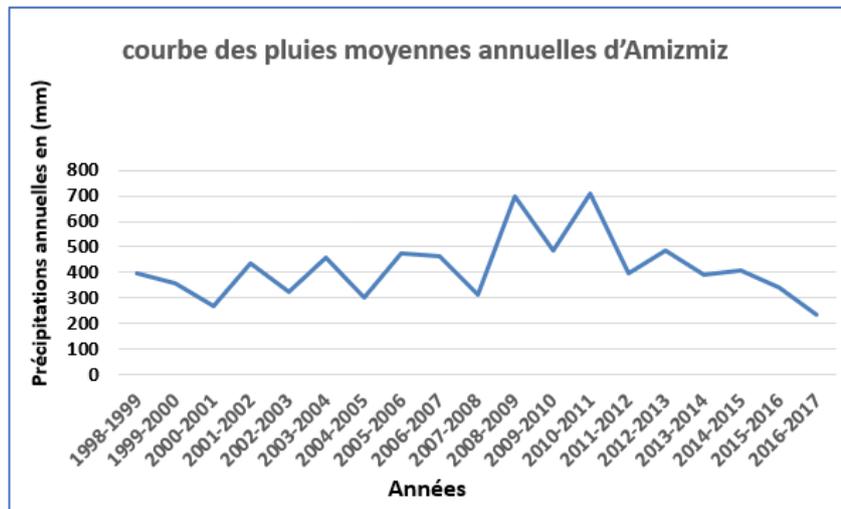


Figure 8: La courbe des pluies moyennes annuelles d'Amizmiz

D'après cette courbe on en déduit que les années exceptionnellement pluvieuses sont les années 2008-2009 et 2010-2011.

2-Variabilité saisonnière :

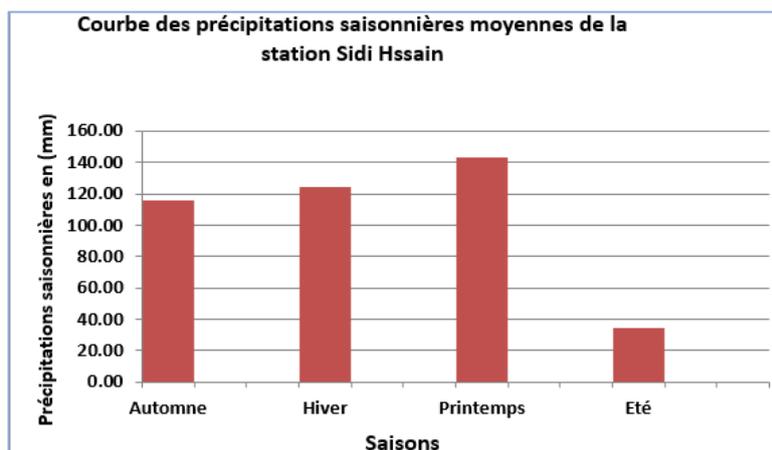


Figure 9 : Courbe des précipitations saisonnières moyennes de la station Sidi Hssain

La période saisonnière pluviométrique est constituée de trois phases :

- Une phase plus pluvieuse : le printemps d'une moyenne de **143,66 mm**

- Une phase moyennement pluvieuse : l'automne et l'hiver d'une moyenne respectivement **115,78 mm** et **124,23 mm**
- Une phase sèche : l'été d'une moyenne de **34,23 mm**

3-Variabilité mensuelle :

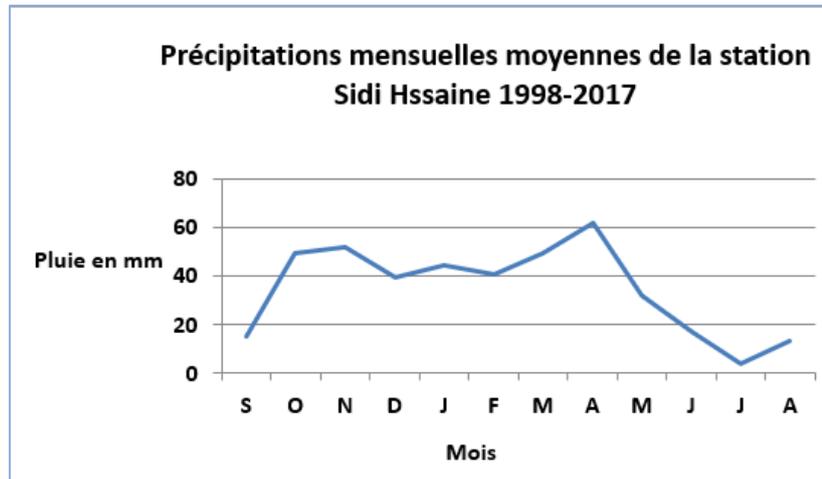


Figure 10: La courbe des précipitations mensuelles moyennes de la station Sidi Hssain

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.

II-Régime hydrologique de l'Oued Amizmiz à la station de Sidi Hssain :

1- Variabilité annuelle :

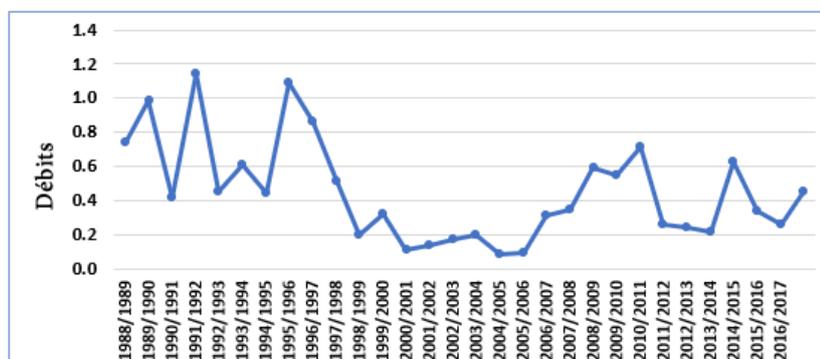


Figure 11: La courbe des débits moyens annuels

La courbe montre une irrégularité des débits au cours de ces **29 ans**.

2- Variabilité saisonnière :

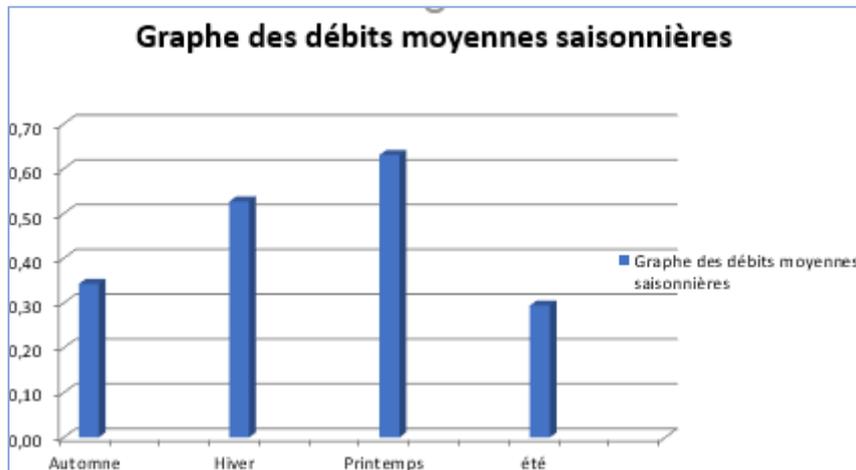


Figure 12: graphe illustrant les débits moyens saisonniers

D'après ce graphe on peut déduire que la saison du **printemps** constitue le pique de la variation.

3-Variation mensuelle :

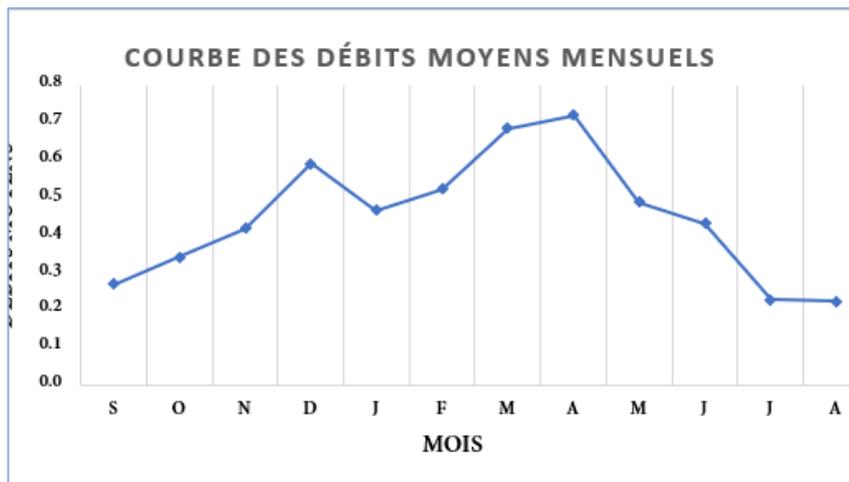


Figure 13 : Courbe illustrant la variation des débits moyens mensuels

Semblablement à la courbe des précipitations, la courbe des débits 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.

III- Calculs de temps de concentration :

Le temps maximal que met une goutte pour parcourir tout le bassin versant jusqu'à son exutoire. Ce dernier est influencé par plusieurs paramètres morphologiques dont on peut essentiellement citer : la taille, la forme et le relief.

Le temps de concentration est le plus souvent estimé à l'aide de plusieurs formules empiriques dont on va utiliser celles les plus générales et classiques.

○ Formule de Giandotti :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5 L}{0.8\sqrt{D}} \quad T_c = 1.57 \text{ heures}$$

T_c : temps de concentration (heures).

S : surface du bassin versant (Km²).

L : longueur du rectangle équivalent (Km).

D : Le dénivelé différence entre l'altitude moyenne et l'altitude minimale.

○ Formule de Ventura :

$$T_c = \frac{7.62}{60} \times \left(\frac{S}{I_m}\right)^{0.5} \quad T_c = 3.90 \text{ heures}$$

T_c : temps de concentration (heures).

S : surface du bassin versant (Km²).

I : pente moyenne du bassin versant (m/m).

○ Formule Kripich :

$$T_c = \frac{0.0195}{60} \times \left(\frac{L}{\sqrt{I_m}}\right)^{0.77} \quad T_c = 1.49 \text{ heures}$$

T_c : temps de concentration (heures).

L : longueur du bassin versant (m).

I_m : pente moyenne du bassin versant (m/m).

○ Formule Passini :

$$T_c = 0.108 \times \left(\frac{\sqrt[3]{S \cdot L}}{\sqrt{I_m}}\right) \quad T_c = 4.06 \text{ heures}$$

T_c : temps de concentration (heures).
S : surface du bassin versant (Km²).
L : longueur du bassin versant (Km).
I_m : pente moyenne du bassin versant (m/m).

○ Formule US Corps :

$$T_c = 16.682 \times \left(\frac{L \times S^{-0.25}}{1000} \right)^{0.77}$$

T_c = 4.14 heures

T_c : temps de concentration (minutes).
L : longueur du bassin versant (mètres).
I_m : pente moyenne du bassin versant (m/m).

○ Formule espagnole :

$$T_c = 0.3 \times \frac{L^{0.77}}{I_m^{0.1925}}$$

T_c = 4.47 heures

T_c : temps de concentration (heures).
L : longueur du Talweg (Km).
S : pente moyenne du Talweg (m/m)

Le tableau au-dessous représente les valeurs :

Formules	Temps de concentration (heures)
Formule de Giandotti	1.57
Formule de Ventura	3.90
Formule Kripich	1.49
Formule Passini	4.06
Formule US Corps	4.14
Formule espagnole	4.47

Tableau 3: Temps de concentration calculés

La moyenne des temps de concentration calculés ayant des valeurs comparables et avoisinantes correspond au temps de concentration au niveau du bassin d'Amizmiz.

Le temps de concentration du bassin d'Amizmiz est :

4.14 heures

- **L'averse et l'intensité de pluie :**

Une averse est définie comme étant un ensemble de pluies lié a un déséquilibre météorologique bien défini. La durée de cette averse varie de quelques heures à plusieurs jours et peut également occupée une superficie allant de quelques kilomètres carrés ou bien un orage à quelques milliers de kilomètres carrés sous forme de pluies cyclonique.

C'est pour cela, une averse est peut-être considérée comme un épisode de pluie continue a de différentes intensités. L'intensité maximale d'un évènement pluvieux est exprimée par sa durée en une période de retour donné, à l'aide de plusieurs formules.

La formule la plus fréquente :

- **Formule de Montana**

$$i(t) = \frac{a}{t^b}$$

Avec :

i(t) : l'intensité maximale de pluie en (mm/h, mm/min).

t : la durée de la tempête.

a et b : des coefficients de Montana dépendant des périodes de retour ainsi que de la durée d'évènement pluvieux.

En prenant **t** la durée de la tempête égale au temps de concentration de notre bassin et les coefficients **a** et **b** dans la région de Marrakech vont prendre les valeurs suivantes :

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

. **Tableau 4: les coefficients de Montana à Marrakech ville.**

A partir des données, nous avons établi le tableau des intensités maximales suivant :

T(ans)	i (t) en (mm/h)
2	1.20
5	2.05
10	2.62
20	3.16
50	3.87
100	4.40

Tableau 5: les valeurs de l'intensité maximale pour chaque période de retour.

IV- Estimation des débits de crues au niveau de la zone d'étude:

D'après les analyses pluviométriques et l'étude morphologique de notre bassin établies, l'étape suivante est l'estimation des débits de pointe en faisant intervenir pas mal de facteurs climatiques et physiographiques du bassin d'étude.

Le débit de pointe est peut-être calculé à l'aide de deux méthodes selon la disponibilité des données :

- **Cas 1** : un bassin semi à une station de jaugeage, l'estimation donc va être faite statistiquement en se basant sur des lois d'ajustement des données mesurées directement sur les lignes d'écoulement alimentées par le bassin versant.
- **Cas 2** : un bassin non jauge-le cas de notre bassin d'étude- qui n'a fait l'objet d'aucun échantillonnage d'aucune série d'observation de débits. Dans cette situation le débit de pointe va être évalué en recourant aux méthodes empiriques et rationnelles.

- **Méthode empirique :**

Une méthode qui permet d'exprimer le débit de pointe en relation avec les caractéristiques morphologiques expérimentales du bassin et quelques coefficients empiriques.

- **Méthode rationnelle ou pseudo-rationnelle :**

Une méthode qui fait appel au stockage provisoire de l'eau sur les bassins et les conduites. La précision de cette méthode est essentiellement liée à l'estimation qu'on a fait du coefficient de ruissellement et du temps de concentration.

- **Le coefficient de ruissellement :**

Le coefficient de ruissellement C_r est défini comme étant le rapport entre la hauteur d'eau ruisselée à la sortie d'une surface donnée, c'est à dire **la pluie nette** et la hauteur d'eau précipitée, qu'on appelle également **la pluie brute**.

Varie en fonction de surface (plus ou moins imperméable, ouverte ou cloisonnée), de la nature du sol (sableux, limoneux, gréseux ...), de sa couverture (forêt, culture...), de sa pente, de l'intensité de pluie et son état de saturation lié aux antécédents pluviométriques.

Une surface dont le coefficient de ruissellement se rapproche de zéro est considérée performante dans le sens où elle réduit le risque d'inondation.

Le coefficient de ruissellement est peut-être déterminé par la relation suivante :

$$C_r = \frac{D_{moy}}{P_{moy}}$$

$$C_r = 0.34$$

D_{moy} : Débit moyen annuel.

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle.

Le tableau ci-dessous résume des valeurs de coefficient de ruissellement en fonctions des types de surface.

Type de surface	C_r
Zone de centre-ville	0.7-0.95
Zone résiduelle pavillons isolés	0.30-0.50
Zone résiduelle pavillons groupés	0.60-0.75
Zone industrielle	0.50-0.90
Cimetières – Parc	0.10-0.25
Rue	0.80-0.85
Trottoirs	0.75-0.90
Pelouse (sols sableux, faible pente)	0.05-0.10

Tableau 6: coefficient de ruissellement.

1-Méthode rationnelle ou pseudo-empirique :

- [Formule de Turazza](#) :

$$Q = \frac{C_r \times i \times A}{3.6}$$

Sachant que :

$$i = \frac{a(T)}{t^{b(T)}}$$

Avec :

Q : Débit maximal à l'exutoire (en m³/s).

C_r : Coefficient de ruissellement (sans unité).

i : Intensité moyenne maximale sur la durée t_c pour une période de retour donnée (mm/h).

A : Superficie du bassin versant (Km²).

a et b : Coefficient de montana pour une période de retour **T** donnée.

- [Formule de Burkli-ziegler](#) :

$$Q = 0.0039 \times C_r \times H_{1h} \times A^{0.75} \times i_m^{0.25}$$

Avec :

Q : débit maximal (en m³/s) de période de retour T

i_m = pente moyenne du bassin versant (en mm/m).

H_{1h} : précipitation maximale (en mm) pendant 1 heure

A : surface du bassin versant (en ha)

C_r : coefficient de ruissellement (sans unité)

2-Méthode empirique :

- [Formule de Hazan Lazarevic](#) :

Cette formule est développée dans le territoire marocain en utilisant des données provenant d'une quinzaine de station hydrologique répartit sur différents bassins couvrant le Maroc. Il permet de calculer le débit de pointe de la crue milléniale par la relation suivante :

$$Q_{1000} = a \times A^b$$

Avec :

Q₁₀₀₀ : Débit de crue milléniale en m³/s

A : Superficie du bassin en Km²

a et b : Coefficients variant avec la taille du bassin, sa zone géographique et la pluviométrie annuelle.

Le tableau ci-dessous représente les différentes valeurs des coefficients a et b selon la pluviométrie et la distribution géographique.

	Province du Nord			Moyen Atlas			Haut Atlas
	Rif Central	Rif Occidental	Rif Oriental				
a	15.55	9.78	7.58	14.94	13.51	13.47	9.38
b	0.776	0.793	0.808	0.636	0.613	0.587	0.742
Pluviométrie (mm)	1000-1300	800-1000	600-800	700-900	500-700	400-500	200-400

Tableau 7: Les coefficients a et b de la formule d’Hazan-Lazarevic.

Le bassin d’Amizmiz appartient au Haut Atlas donc les coefficients a et b vont prendre les valeurs suivantes : **a=9.38** **b=0.742**

Après nous pouvons en déduire les débits de récurrences autres que Q (1000) en utilisant la formule initiale de FULLER suivante :

Avec :

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

Q(T) : le débit de crue pour une période de retour T.

T : période de retour.

a : Coefficient régional, prend la valeur de 2 au le Maroc

- Formule de FULLER :

La formule est exprimée comme suit :

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

Avec :

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

A : Superficie du bassin versant en (km²).

C : Coefficient régional variant en fonction du climat allant de 0.7 à 3.5.

N : Coefficient régional varie en fonction du relief allant de 80 à 100.

Les tableaux ci- dessous montrent les successivement les valeurs de C et N :

- **Pour le coefficient C :**

Les valeurs de C	Climat
0.7 à 0.8	Région humide
0.8 à 2	Région aride
3 à 3.5	Région saharienne

Tableau 8: les valeurs de coefficient C en fonction du climat:

Dans notre cas, on prend **C=0.8**

- **Pour le coefficient N :**

Les valeurs de N	Région
80	Plaine
85	Relief accidenté
100	Montagne

Tableau 9: Les valeurs de coefficient N en fonction du relief

Après les calculs nous avons établie de tableau des résultats suivant :

		Débits de pointe en m ³ /s			
		10ans	20ans	50ans	100ans
Méthode Rationnelle	Formule de Turazza	28.00	33.77	41.37	47.03
	Formule de Burkli-ziegler	30.19	36.33	40.29	50.26
Méthode Empirique	Formule de Hazan Lazarevic	235.05	282.22	344.57	392
	Formule de Fuller	147.55	167.25	193.38	213.13

Tableau 10: Débits de pointe obtenus par les deux méthodes

La méthode rationnelle a donnée des résultats loin de la réalité, conséquence normale d'une méthode conforme qu'avec les bassins de faible superficie.

V-Analyse fréquentielle des débits instantanés des bassins voisins et transposition (HYFRAN) :

- Préviation et prédétermination du débit maximum de crue :

Pour la prédétermination des débits maximaux de crue on utilise l'analyse statistique dite l'analyse fréquentielles qu'est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés, caractéristiques d'un processus donné hydrologique ou autre, afin d'en définir les probabilités d'apparition future des crues précédentes et leurs périodes de retour à une station donnée, Ceci permettrait de calculer la probabilité pour qu'un débit d'une valeur donnée survienne un nombre de fois donné pendant une durée de temps : 10 ans, 50 ans, 100 ans par exemple...

Les données de base pour notre analyse de la fréquence des crues sont constituées par une série de débits maximums annuels des trois stations Sidi Hssain, Igui'Nkouris, Imin lhemmam relatives à une période, la plus longue possible.

Pour le choix des crues, on prend en compte le plus fort débit instantané de chaque année.

On classe ces crues par ordre décroissant en attribuant à chacune d'elle son rang R et sa fréquence expérimentale :

$$FD = \frac{R - \frac{1}{2}}{n}$$

Ou bien sa fréquence au non-dépassement :

$$FND = 1 - \frac{R - \frac{1}{2}}{n}$$

Avec :

R : le rang

n : le nombre d'années

On essaie après d'ajuster à la série des crues, une loi de probabilité théorique qui pourra la représenter.

- Analyse fréquentielle et étude de performance pour la station Igui N'kouris :

1-Etude fréquentielle

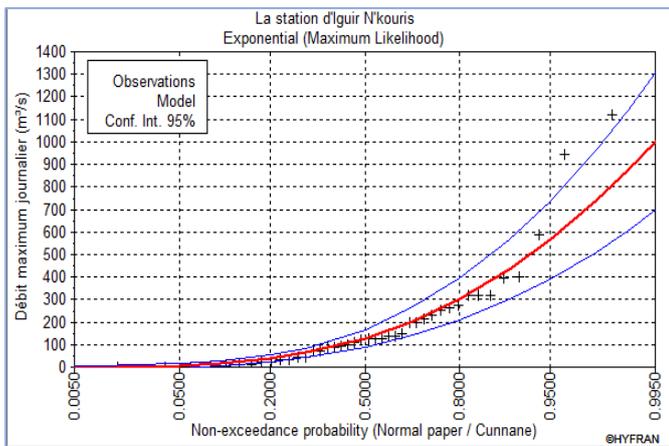


Figure 14: Modèle Exponentiel

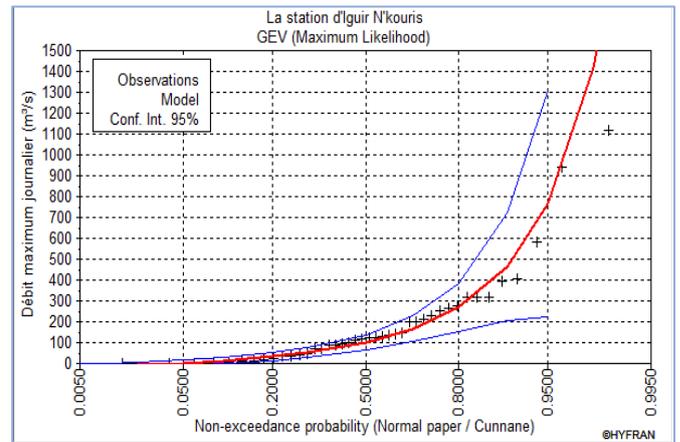


Figure 15: Modèle GEV

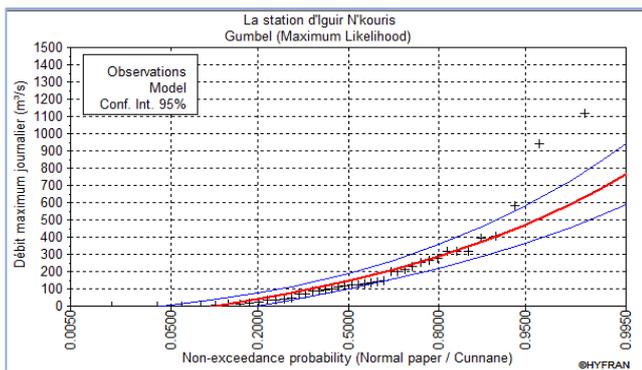


Figure 16: Modèle Gumbel

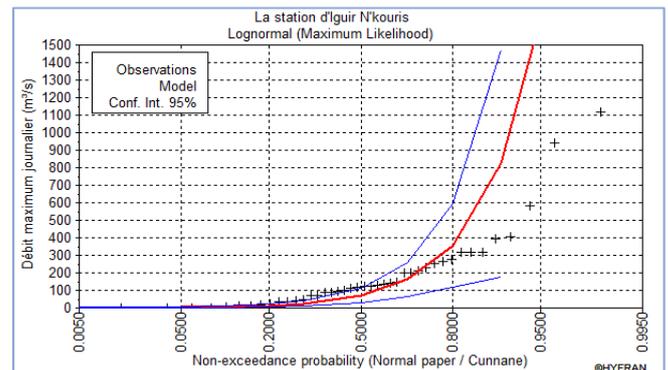


Figure 17: Modèle Log normal

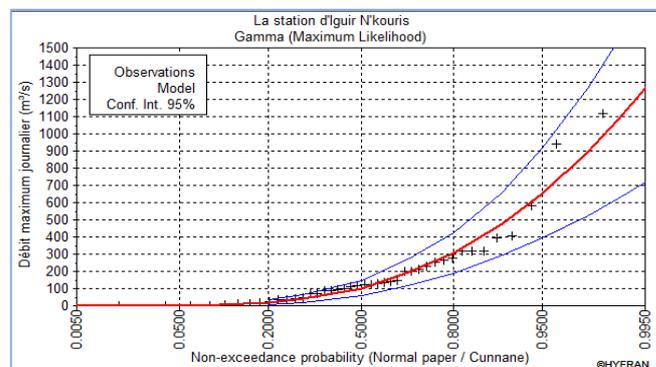


Figure 18: Modèle Gamma

2-Etude de performance :

L'étude de performance est une comparaison des critères obtenus après une analyse fréquentielle des données qui expriment le degré d'accomplissement des objectifs poursuivis et donc l'ajustement. Pour qu'un modèle soit performant doit être à la fois efficace et efficient. Lorsqu'on estime un modèle statistique il est possible d'augmenter la vraisemblance du modèle en ajoutant des paramètres. Le critère d'information d'Akaike (AIC) et le critère d'informations Bayésien (BIC), permettent de pénaliser les modèles en fonction du nombre de paramètres afin de satisfaire le critère de parcimonie qui sert à éliminer les explications improbables d'un phénomène. On choisit le modèle le plus adéquat avec le critère d'informations le plus faible.

Modèles	Q estimé	BIC	AIC
Gamma	1079.655	523.596	520.121
Exponentiel	870.227	532.188	528.713
Log normal	6070.185	538.489	535.014
GEV	2222.289	541.383	536.170
Gumbel	677.953	553.880	550.405

Tableau 11: Comparaison des critères de performance des cinq modèles

D'après le tableau des résultats ci-dessus, on en déduit que le modèle le plus adéquat est celui de **Gamma** ayant la plus faible valeur d'**AIC** et **BIC**.

Pour plus de précision il est devenu impératif d'intervenir d'autres critères qui valident notre choix au modèle.

	Caractéristiques de population	Caractéristiques du modèle
Moyenne	186	186
Standard de déviation	232	233
Médiane	102	121

Tableau 12: comparaison des caractéristiques de population et de modèle

D'après le modèle choisi, le tableau ci-dessous représente les débits estimés pour chaque période de retour :

Temps de retour (ans)	10	20	50	100
Q estimé (m ³ /s)	476	653	894	1080

Tableau 13 : Les débits estimés pour chaque période de retour de La station Iguir N'Kouris

1-Etude fréquentielle :

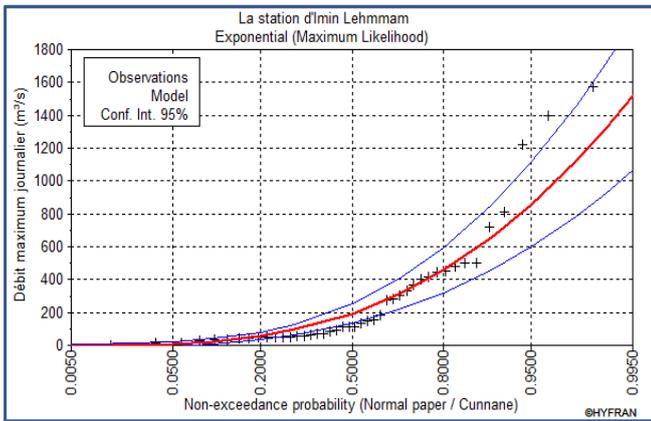


Figure 19: Modèle Exponentiel

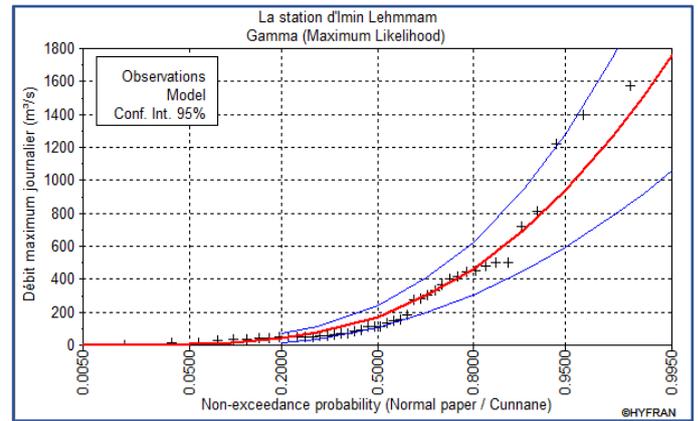


Figure 20: Modèle Gamma

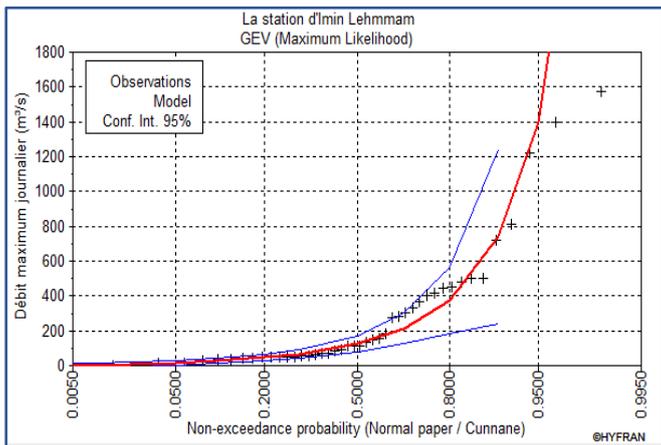


Figure 21: Modèle GEV

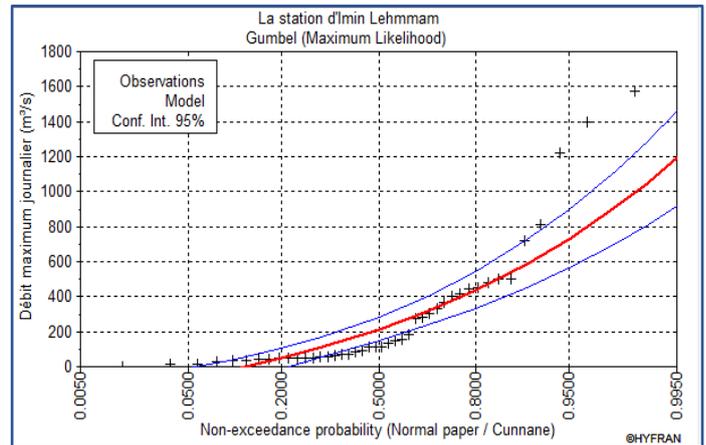


Figure 22: Modèle Gumbel

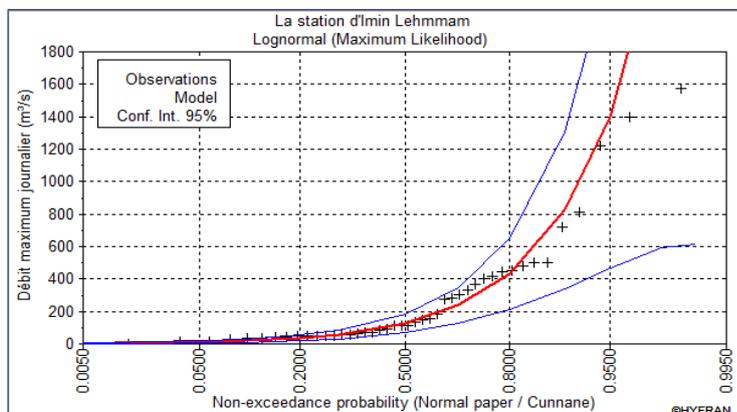


Figure 23: Modèle Log normal

2 - Etude de performance

Modèles	Q estimé	BIC	AIC
Gamma	1509.663	589.269	585.701
Log normal	3791.165	590.800	587.231
GEV	5791.640	592.860	587.507
Exponentiel	1319.106	593.823	590.255
Gumbel	1052.668	621.681	618.113

Tableau 13: Comparaison des critères de performance des cinq modèles

	Caractéristiques de population	Caractéristiques du modèle
Moyenne	282	282
Standard de déviation	326	366
Médiane	170	111

Tableau 14: comparaison des caractéristiques de population et de modèle

D'après les résultats de deux tableaux, on conclut que le modèle le plus adéquat est celui de Gamma, il est caractérisé par des faibles valeurs de **AIC** et **BIC**, et les caractéristiques de population et celle de modèle sont semblables.

D'après le modèle choisi, le tableau ci-dessous représente les débits estimés pour chaque période de retour :

Temps de retour (ans)	10	20	50	100
Q estimé (m ³ /s)	697	938	1260	1510

Tableau 15: Les débits estimés pour chaque période de retour de la station Imin Lehemmam

- Analyse fréquentielle et étude de performance pour la station Sidi Hssain :

1-Etude fréquentielle :

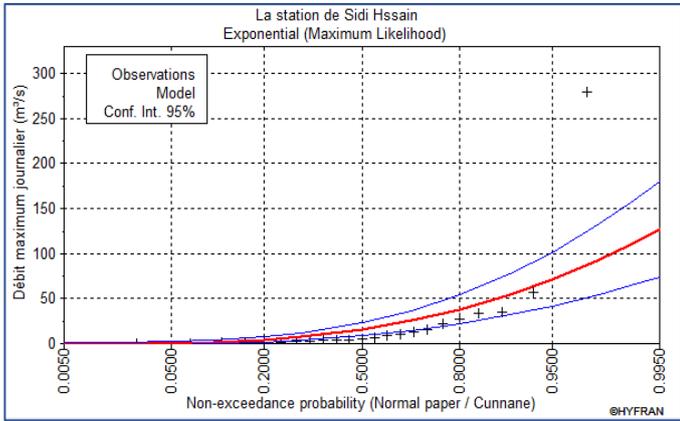


Figure 24: Modèle Exponentiel

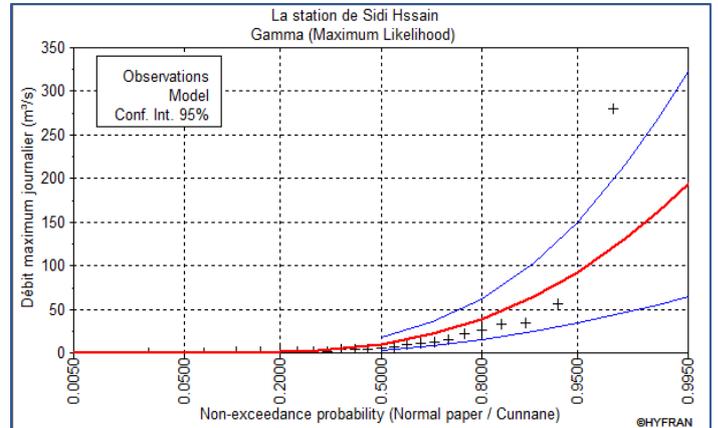


Figure 25: Modèle Gamma

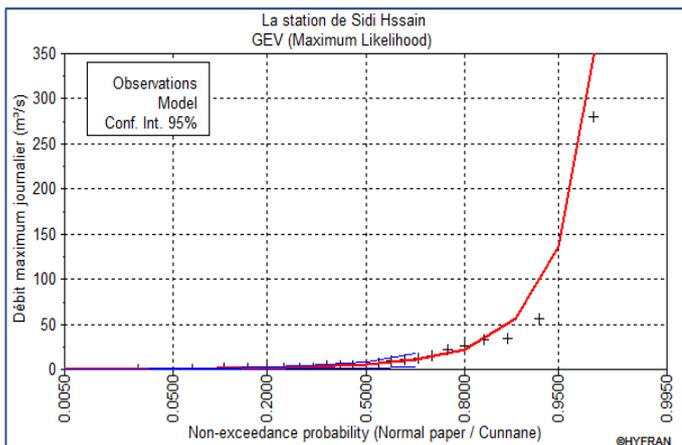


Figure 26: Modèle GEV

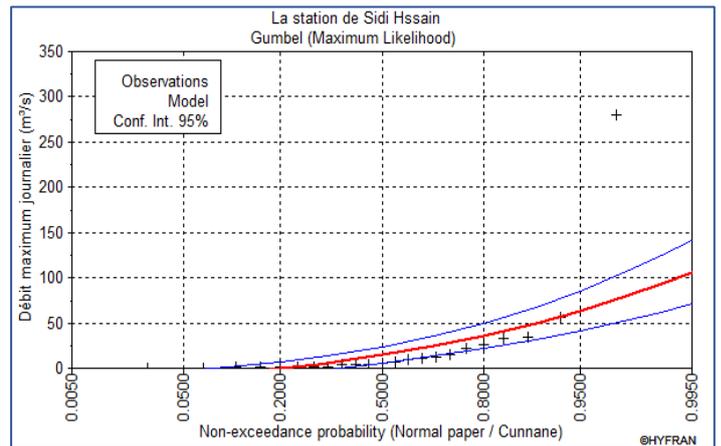


Figure 27: Modèle Gumbel

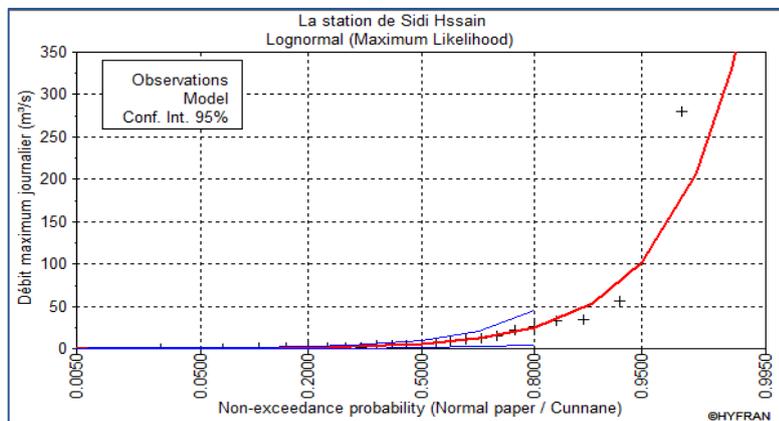


Figure 28: Modèle Log normal

2-Etude de performance :

Modèles	Q estimée	BIC	AIC
Log normal	331.768	176.422	174.151
GEV	988.715	181.211	177.805
Gamma	162.288	183.949	181.678
Exponentiel	110.408	198.781	196.510
Gumbel	93.416	222.704	220.433

Tableau 16 : Comparaison des critères de performance des cinq modèles

	Caractéristiques de population	Caractéristiques du modèle
Moyenne	26 ,2	23,3
Standard de déviation	117	57,8
Médiane	5,73	5,03

Tableau 17 : comparaison des caractéristiques de population et de modèle.

D'après les résultats de deux tableaux ci-dessus on conclut que le modèle Log normal est le plus adéquat, puisqu'il est caractérisé par des faibles valeurs de **BIC** et **AIC**, et de mêmes caractéristiques.

D'après le modèle choisit, le tableau ci-dessous représente les débits estimés pour chaque période de retour :

Temps de retour (ans)	10	20	50	100
Q estimé (m ³ /s)	53.6	101	206	332

Tableau 18 : Les débits estimés pour chaque période de retour de la station Sidi Hssain.

- **Méthode de Transposition :**

Afin de pouvoir déterminer le débit de pointe de notre bassin non-jaugé, nous avons recouru à la méthode de transposition entre trois stations adjacentes du bassin d'étude qui sont Sidi Hssain, Imin Lhemmam et Iguir N'kouris.

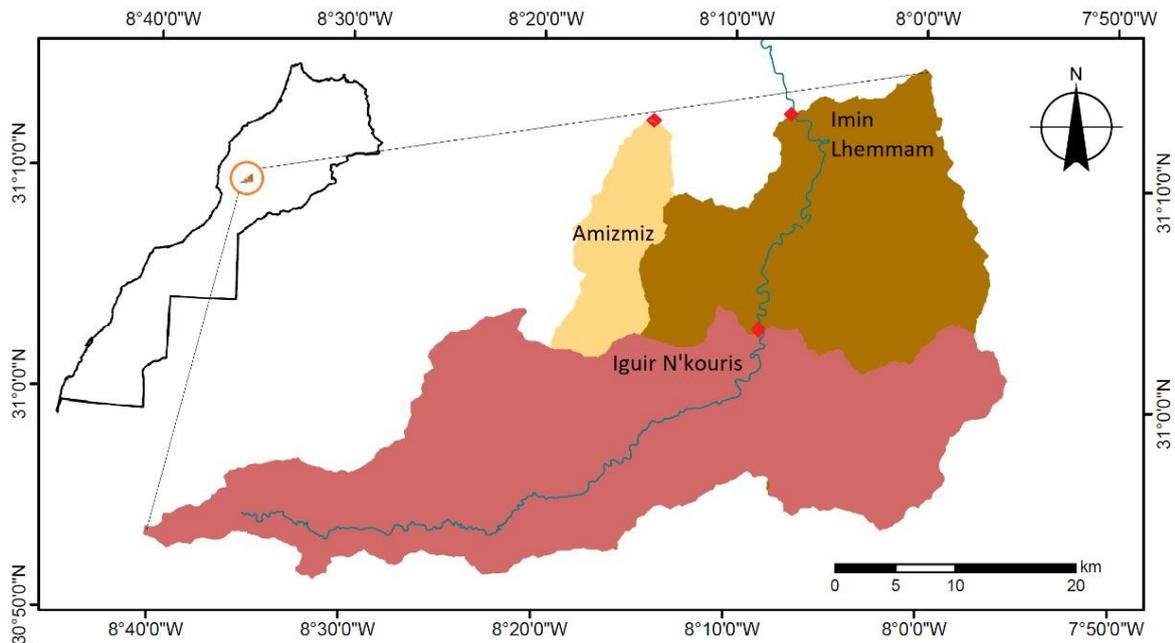


Figure 29: Localisation géographique des trois bassins versants .

Bassin versant	Station	Superficie en (Km ²)	Débit de pointe estimé
N'fis	Immi Lehemmam	1270	1510
N'fis	Iguir N'kouris	848	1080
Amizmiz	Sidi Hssain	105	332

Tableau 19: Les surfaces et les débits estimés des stations étudiées.

Ces stations sont choisies pour la raison suivante : le nombre des années qu'on dispose dans la station de sidi Hssain constitue une population insuffisante pour faire estimer un débit de crue centennale, et reste aussi incomparable avec celle d'Iguir N'kouris et Imin Lhemmam ayant des populations de plus de 40 ans.

Premièrement, on va commencer par la transposition entre la station d'Iguir N'kouris et celle de Imin Lhemmam pour faire sortir le paramètre t , ayant un caractère d'universalité que l'on peut considérer également comme suffisant pour un hydrologue, en lui permettant de caractériser par un même indice les crues d'intensité comparables.

Ensuite, on va appliquer la même valeur de t obtenu dans l'étape précédente sur la station de Sidi Hssain et le bassin d'Amizmiz pour faire sortir le débit manquant.

Le débit de pointe est peut-être estimé en utilisant la formule FRONCO-RODIER :

$$\frac{Q}{Q_0} = \left(\frac{s}{s_0}\right)^t$$

$$t = 1 + \frac{k}{10}$$

En premier temps, nous avons utilisé les données des deux stations Immi Lhemmam et Iguir N'Kouris, afin de trouver la valeur de t :

Avec :

Q : Débit de pointe sur la station d'Immi Lhemmam (m^3/s)

Q_0 : Débit de pointe sur la station d'Iguir N'Kouris (m^3/s)

S : Superficie de la station Immi Lhemmam en km^2

S_0 : Superficie de la station Iguir N'kouris en Km^2

t : Coefficient d'universalité pour une période de retour donnée

Le tableau ci-dessous résume les résultats trouvés pour la valeur de t pour chaque période de retour :

Période de retour(ans)	10	20	50	100
La valeur de t	1.05	1.11	1.18	1.20

Tableau 20: Résultats obtenus pour la valeur de t .

- Estimation des débits du bassin d'Amizmiz :

D'après le bilan établi nous avons pu conclure les débits manquant de notre bassin d'étude pour chaque période de retour :

Période de retour(ans)	10	20	50	100
Débit estimé(m^3/s)	58	109.77	225.08	363.27

Tableau 21: Résultats finaux des débits estimés par la méthode de transposition

- L'hydrogramme de crue :

L'hydrogramme de crue est une courbe qui exprime l'évolution du débit en fonction du temps en un point donnée d'un réseau hydrographique ou d'un cours d'eau, représentée en forme cloche dissymétrique devisée en quatre parties :

Le tarissement d'avant la pluie nette, **crue**, **décru**e et **tarissement** d'après la recension hydro- pluviométrique étudiée.

Les temps caractéristiques de ce hydrogramme :

- **Le temps de réponse t_p** : c'est une durée de temps qui sépare le centre de gravité de la pluie nette du pic de crue ou parfois du centre de l'hydrogramme dû à l'écoulement de surface.
- **Le temps de concentration t_c** : est le temps maximal que met une goutte pour parcourir tout le bassin versant jusqu'à son exutoire.
- **Le temps de montée t_m** : le temps qui sépare le début d'une montée significative de l'hydrogramme et le moment d'apparition du débit maximum.
- **Le temps de base t_b** : le temps qui caractérise la durée de crue, c'est pendant lequel le débit diffère significativement du débit habituel.

Les différentes formes d'hydrogramme de crue :

- **L'hydrogramme naturel** : établi à partir des données de débits mesurées directement au niveau d'un cours d'eau jaugé.
- **L'hydrogramme synthétique** : obtenu en se basant sur les caractéristiques du bassin versant ainsi que celle des événements pluvieux, afin d'établir un hydrogramme naturel.
- **L'hydrogramme unitaire sans dimension SCS** : en cas de manque de données suffisantes, le graphe est peut-être établi sous forme d'un hydrogramme triangulaire simple en utilisant seulement le temps de concentration et le débit de pointe.

Dans notre cas nous avons travaillé avec le type dernier en établant le l'hydrogramme suivant :

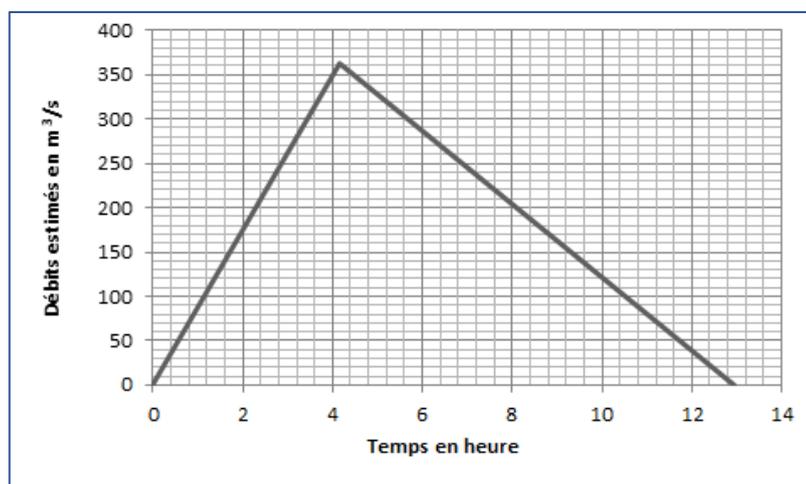


Figure 30: Hydrogramme de crue centennale

CHAPITRE III :
MODELISATION HYDRAULIQUE ET
CARTOGRAPHIE DES ZONES
INONDABLES

I-STIMULATION HYDRAULIQUE :

1-Principe :

La stimulation hydraulique est une étude qui permet de déterminer les zones de débordement dans l'Oued Amizmiz. La modélisation à une dimension, grâce au logiciel HEC-RAS, elle permet d'une part la simulation de crue à différentes périodes de retour, et d'autre part de voir l'évolution hydraulique de l'oued Amizmiz en utilisant les hauteurs, les énergies et les vitesses de l'écoulement.

Cette stimulation peut-être élaborée par des méthodes physiques ou mathématiques de modèle de stimulation du cycle d'eau et de son incidence sur un bassin hydrologique.

Les objectifs de cette opération sont :

- L'analyse du comportement d'un cours d'eau exposé à un phénomène hydrologique d'une période de retour donnée.
- La détermination des zones inondables.
- Le dimensionnement des constructions et la stimulation de leur effet.

2-Modèles de stimulation :

- Modèle unidimensionnel :

La modélisation hydraulique unidimensionnelle (1D) repose sur la résolution des équations de Barré – Saint-Venant. Celle-ci est basée sur une série d'hypothèses dont les principales sont :

- L'écoulement est unidimensionnel (ou filaire) ;
- La répartition des vitesses est uniforme dans une section transversale donnée.
- La répartition des pressions sur une verticale est hydrostatique.

- Modèle bidimensionnel :

La modélisation fine avec un modèle bidimensionnel (2D) se justifie dans les sites d'étude pour :

- Acquérir des résultats de vitesses plus précis.
- Représenter un système hydraulique spécifique.
- Représenter des écoulements complexes engendrés par les écoulements en site urbain dense.
- Apporter des précisions indispensables sur les conditions locales d'écoulement.

Le modèle 2D est un régime permanent basé sur l'hypothèse que la pointe de crue est suffisamment étalée pour qu'elle s'installe au paroxysme de la crue un régime d'écoulement à débit constant. Il est applicable sur des petits cours d'eau, sur lesquels les champs d'inondations sont limités.

II-Résultats de la stimulation et interprétation :

Nous avons injecté le débit de pointe de notre bassin d'étude dans le logiciel HecRas en utilisant le modèle 1D, après nous avons établi la carte suivante :

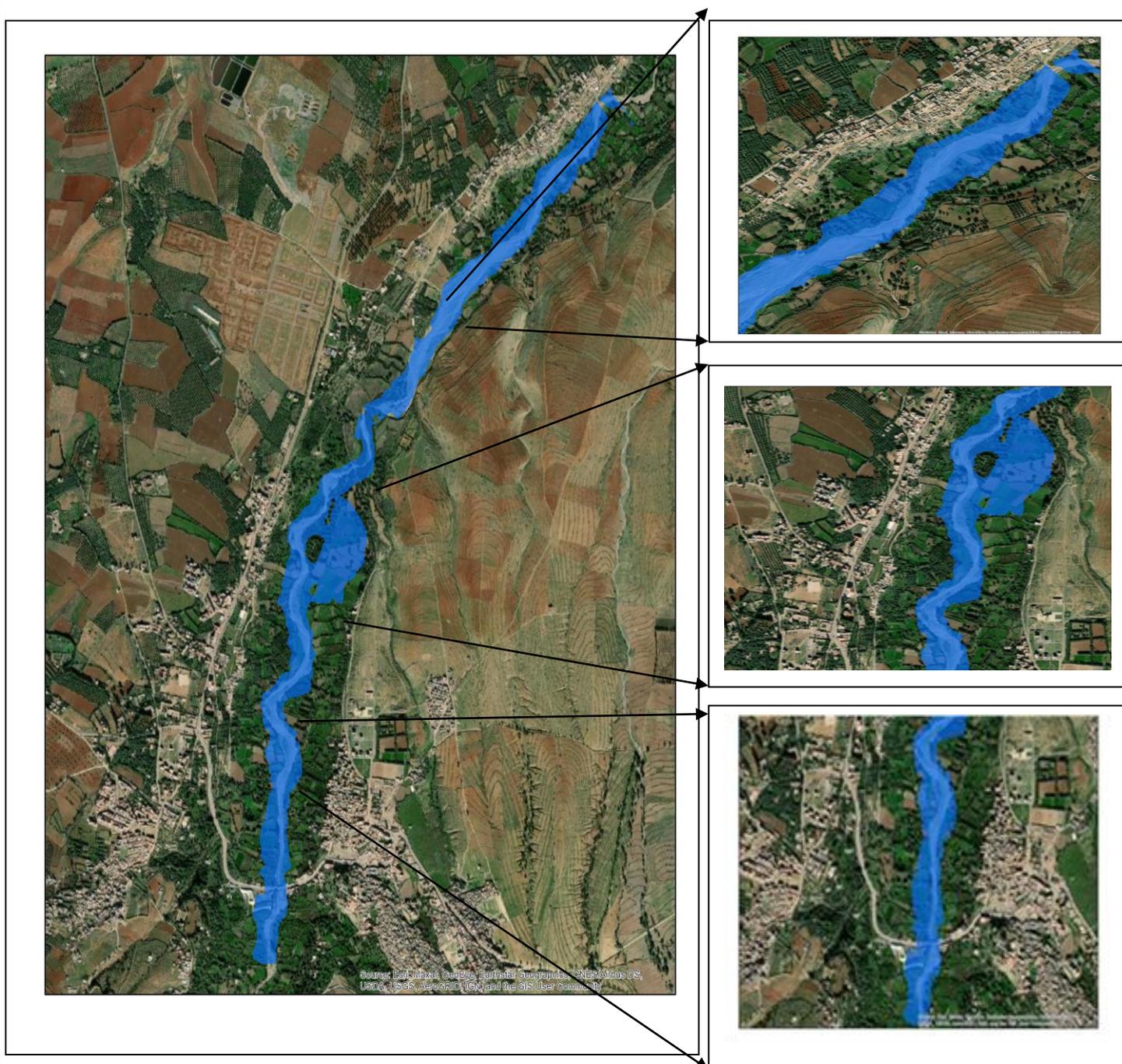


Figure 31: Carte illustrant les résultats de modélisation sur l'Ouad Amizmiz en projetant le débit centennal sur google image.

Pour établir cette carte il faut obligatoirement fixer un paramètre appelé le coefficient de Manning :

- Coefficient de Manning du rugosité de lit permet d'avoir une modélisation la plus proche de la réalité en prenant en compte la vitesse de l'eau sur le fond de l'Oued et sur les rives. Pour notre cas, nous avons fixé le paramètre en une valeur d'ordre de 0.033.

Le tableau ci-dessous montre la distribution des valeurs indicatives du coefficient de rugosité :

Les rives	0.033
Lits bétonnés	0.015
Lits naturels avec végétation	0.05 à 0.1

Tableau 22 : Les valeurs indicatives de coefficient de Manning

Interprétation des résultats :

-La carte établie nous a permis de découvrir l'étendue de la crue centennale de notre oued par rapport au douar Amizmiz.

-Lors d'analyse et de l'interprétation nous avons constaté que l'oued après une période de retour de 100 ans ne va pas déborder les zones d'habitats mais plutôt va envahir le lit majeur du fleuve occupé par des parcelles agricoles localisé au voisinage de cette localité.

La crue donc provoquera des dégâts matériels et économiques en détruisant ces cultures qui n'échappent pas des effets de cet aléa.

Delà, on peut déduire que les autochtones du douar sont conscients du risque de débordement et c'est pour cela qu'ils ne construisent pas dans ces zones exposées aux inondations, mais leur choix au site d'activité agricole est expliqué par la fertilité et la productivité élevée au niveau ces zones :

- Les sols subissent un renouvellement permanent des nutriments indispensables aux développement des plantes lors de la période de crue.
- La profondeur du sol est suffisante pour le développement du système racinaire et pour retenir une quantité d'eau suffisante.
- Un bon drainage, permet une aération du sol suffisante pour la respiration.
- Un taux convenable de la matière organique aboutit à une forte rétention d'eau et une bonne structure du sol.
- La vitesse d'écoulement d'eau diminue avec la végétation.
- Les plans créent des pores qui facilite l'infiltration d'eau.

✓ Plan de protection proposé :

Afin d'assurer la protection des populations contre les risques d'inondations et réduire la vulnérabilité de leurs biens, un plan national de protection contre les inondations est en cours d'élaboration par le Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement. Dans l'attente de l'adoption et de la mise en œuvre des mesures et actions retenues dans ce plan, et après l'analyse des résultats de la stimulation, nous pouvons proposer un plan de protection à suivre pour réduire l'ampleur des pertes en cas d'inondations.

- Eviter le dépôt des déchets solides, des gravats... etc. dans les lits des cours d'eau et dans les dépressions et les zones d'épandage naturel des crues. Car ces dépôts réduisent la section d'écoulement et augmentent la débitance de l'oued.

- construire un remblai (terre, couche de rochers) afin de protéger les cultures ou les zones contenant du fumier ou des engrais par exemple.

- La pose sur le terrain des repères de crues historiques et des signalisations au niveau des zones à risque d'inondation afin d'interdire toute construction ou aménagement dans ces sites.

- Dans notre cas, l'oued va envahir la parcelle agricole, c'est pour cela qu'il est préférable de développer une structure de sol adéquate afin que l'eau puisse s'infiltrer correctement dans le sol.

Par exemple chaque hiver, il faut étaler une couche de sable ou de compost sur les sols argileux ou limoneux qui sont facilement érodables à force d'eau. La structure s'améliorera au cours du temps et l'eau s'y infiltrera plus rapidement. Ils peuvent également creuser tous les mètres un trou aussi profond que le trépan ou qui dépasse la couche fixe, puis remplir les trous de gravier ou de sable drainant pour permettre une évacuation un peu plus rapide de l'eau.

Conclusion générale :

Cette étude porte sur une estimation hydrologique des paramètres influençant l'écoulement des eaux dans le bassin d'Amizmiz, afin de cartographier les zones exposées aux inondations et de proposer des plans réduisant le risque de débordement.

L'étude hydrologique a montré que l'oued Amizmiz possède un petit bassin versant dont le périmètre et la superficie sont respectivement estimés à 57.18 kilomètres et 113.18 kilomètres-carrés. Les caractéristiques physiques de ce bassin versant montrent qu'il possède une forme allongée avec un rectangle équivalent de 19.64 Km de long et 8.64 Km de largeur. L'analyse de la carte hypsométrique et celle des pentes montre que l'écoulement le long de la vallée de l'oued Amizmiz se dirige vers le Nord du bassin.

Pour l'estimation des débits de crues au niveau non gaugé d'Amizmiz, nous avons utilisé des bassins versants voisins jaugés, puis procédé à une transposition vers le point non jaugé. Cette procédure a permis d'estimer la crue centennale, qui serait de l'ordre de 363 m³/s.

La modélisation hydraulique établie à l'aide du logiciel HecRas a permis de tracer l'étendue de cette crue centennale par rapport à la localité d'Amizmiz. Ceci dans le but de délimiter les zones susceptibles aux inondations après une période de retour de 100 ans.

Ces sites qui seront inondés semblent inclure essentiellement les cultures agricoles des autochtones du douar et non pas les zones d'habitats.

Le bilan obtenu après la stimulation hydraulique au cours de cette étude peut servir aux décideurs dans le choix des types d'interventions et d'actions pour l'aménagement des zones inondables en donnant une idée générale sur le comportement de l'oued Amizmiz lors du dépassement de débits de pointe relatifs à des périodes de retour données.

REFERENCES :

EL HADAJI Ayoub, 2019. ETUDE DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS AU NIVEAU DU DOUAR LALLA AARIBA COMMUNE DE NFIFA, PROVINCE DE CHICHAOUA (MAROC), projet de fin d'étude, licence science et technique. EE, FST Marrakech, 44 p.

EL GOUMI Said ,2017. MODELISATION HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE ET IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR UNE ZONE DE MONTAGNE EN CLIMAT SEMI-ARIDE : CAS DES SOUS BASSINS VERSANTS D'AMIZMIZ ET N'FIS (MAROC), projet de fin d'étude, Master spécialisé science de l'eau, FST Marrakech 108 p.

J.FRANCO, J.A.ROUDIER. Essai de classification des crues maximales observées dans le monde. P4

HDID Fatima, RAFIK Hiba, 2018. ETUDE HYDROLOGIQUE ET SIMULATION HYDRAULIQUE POUR LA DELIMITATION DES ZONES INONDABLES AU NIVEAU DE LA LOCALITE DE TLET IGHOU, PROVINCE D'AL YOUSOUFIA ,(MAROC), projet de fin d'étude, Licence science et technique. EE, FST Marrakech. 2018

IBOUH.H, SAIDIA, HIBTI,M, 2006 /2007. CAMP DE TERRAIN DANS LA REGION D'AZEGOUR. Guide des enseignants.P2.

LAGHOUSLI Malika, AZRIF Khalid, 2019. ETUDE HYDROLOGIQUE ET SIMULATION HYDRAULIQUE POUR LA DELIMITATION DES ZONES INONDABLES PAR L'OUED ISSIL, PROTECTION ET SOLUTIONS (MARRAKECH, MAROC) projet de fin d'étude, licence science et technique. EE, FST Marrakech

1D Flood Mapping with Hec-GeoRas.P49

NESTOR Raul Rocha, 2014. Débits de crue et analyse hydrologique de petits bassins versants, P17 et 18. EVALUATION DES DEBITS DE POINTE POUR LES PETITS BASSINS VERSANTS AGRICOLES DU QUEBEC.P1

SAIDI Mohamed El Mehdi, 2013. APPORT DES LOGICIELS DE SIG DANS LA MORPHOMETRIE DE Q BASSIN VERSANTS L'EXEMPLE D'ArcGIS. Guide méthodologique d'utilisation.P9

Webographie

<https://www.umoncton.ca/prof/node/1315>

<https://resources.arcgis.com/fr/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>

<https://www.cerretti.fr/details-hec-ras-96.html>

<https://fr.slideshare.net/vrd123/formules-hydro>

<http://www.eau-tensift.net/menu/labht/ou-agissons-nous.html?L=0%27>