



**Faculté des sciences et techniques Département**  
**Des sciences de la Terre**  
**Mémoire pour l'obtention :**  
**Du diplôme de Licence en Sciences et Techniques**  
**Option « Eau et Environnement »**

**Année universitaire : 2022 – 2023**

---

**ETUDE DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS AU  
NIVEAU DU DOUAR HENCHANE, COMMUNE TELT EL  
HENCHANE, PROVINCE D'ESSAOUIRA**

---

**Réalisée par :** EL GASSOUSI HOUDA

ECHANBOURA SARA

EI HKIM KHAOULA

**Soutenu :** Le 20 JUIN 2023

**Devant le jury composé de :**

Pr. IDRIS CHAFIKI: FST Marrakech, Encadrant

Ing. NABIL WARDI: ABHT Marrakech, Co-Encadrant

Pr. Azizi Abdelatif : FST Marrakech, Examineur



## REMERCIEMENTS

*Avant d'entamer les différentes parties de ce rapport, on tient tout d'abord à remercier ALLAH qui nous a aidé et nous a donné la patience et le courage durant ces années d'étude.*

*Nous voudrions adresser nos remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de notre mémoire.*

*Nous tenant à remercier sincèrement notre encadrent Monsieur CHAFIKI Driss pour avoir dirigé nos travaux et pour son encouragement, ses conseils et sa disponibilité.*

*Nous tenant aussi à remercier vivement tout le personnel de l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift (ABHT) et plus particulièrement Monsieur WARDI Nabil pour l'encadrement de notre stage de fin d'études.*

*Nous tenons également à exprimer notre gratitude au Professeur Mohamed El Mehdi SAIDI pour le temps qu'il nous a consacré. Son aide a été d'une grande utilité pour l'aboutissement de travail.*

*Les mots ne suffisent pas pour remercier nos très chers parents pour leurs confiances, leurs sacrifices, leurs encouragements, leurs amours et leurs prières, merci infiniment.*

*Merci à nos chers sœurs et frères pour leurs soutiens et leurs encouragements.*

## TABLE DES MATIERES

liste des figures.....	5
liste des photos :.....	5
liste des tableaux.....	6
les abréviations.....	7
outil de travail.....	8
introduction général :.....	9
présentation de l'agence du bassin hydraulique de tensift (abht):.....	10
chapitre 1 : présentation de la zone d'étude .....	12
1. contexte géographique et administratif:.....	12
2. contexte climatique:.....	12
3. contexte géologique:.....	13
chapitre 2 : étude hydrologique .....	16
1. morphologie du bassin versant: .....	16
1.1. délimitation du bassin versant : .....	16
2.1. superficie et périmètre:.....	18
2.2. indice de compacité: .....	18
3. caractéristiques topographiques du bassin versant: .....	18
3.1. le relief:.....	18
3.1.1. carte hypsométrique:.....	19
3.2. le rectangle équivalent:.....	20
3.3. les pentes: .....	21
3.3.2. pente moyenne de l'écoulement .....	22
4. temps de concentration: .....	22
5. conclusion :.....	25
chapitre 3 : les méthodes d'estimation des débits des crues.....	26
1. méthode hydrométéorologique: gradex:.....	26
1.1. principe :.....	26
1.2. méthodologie .....	26
2. méthodes empiriques :.....	29
2.2. formule de fuller ii : .....	29
2.1. formule de mallet-gautier : .....	30
2.2. formule de hazan-lazarvic :.....	30
3. méthode statistique: .....	31
3.1. analyse des graphes :.....	31
3.2. analyse des critères statistiques :.....	32
3.3. franco-rodier : .....	33
4. conclusion:.....	34



chapitre iv : simulation hydraulique établissement des cartes des zones inondables.....	35
1. introduction:.....	35
2. etapes de modélisation: .....	35
2.1. données d'entrée: .....	35
2.2. paramètre du modèle: .....	36
2.3. simulation des crues pour une période de retour de 100 ans et carte des zones inondables :.....	37
3. interprétations des résultats : .....	39
3.1. les profils en longs : .....	39
4.plan de protection:.....	41
conclusion général :.....	43
bibliographie :.....	44
annexe : .....	47

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte de la zone d'action de l'agence du bassin hydraulique tensift.....	11
Figure 2: Carte de situation de la zone d'étude.....	12
Figure 3: Carte géologique schématique de la zone d'étude, Extrait de la carte géologique du MAROC ...	13
Figure 4: carte de réseau hydrographique du bassin telt el henchane.....	17
Figure 5: carte hypsométrique du bassin telt henchane.....	19
Figure 6: courbe hypsométrique du bassin telt henchane.....	20
Figure 7: le rectangle équivalent du bassin versant .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 8: Carte des pentes du bassin .....	21
Figure 9: Ajustements graphique des données de Pjmax et Qjmax selon la méthode de Gradex .....	28
Figure 10: Ajustement graphique des débits instantanés maxima annuels selon les lois statistiques à la station IGROUNZAR.....	32
Figure 11: profils topo utilisés pour la simulation hydraulique. ....	36
Figure 12: carte des zones inondables sous forme TIN .....	36
Figure 13: carte des zones inondables établie pour une période de retour de 100 ans. ....	37
Figure 14: les zones menacant par ouad au periode des cruex .....	
Figure 15: Carte des zones inondables établie pour une période de retour de cent ans superposée à une image Google Earth de la zone d'étude. ....	38
Figure 16: sections illustrant les niveaux d'eau dans chaque profil.....	39
Figure 17: carte des zones inondable avec des exemples d'emplacements des murs.....	40
Figure 19: des exemples des murs de soutènement contre les inondations.....	42
Figure 18: exemple de grillage à double torsion et leur avantage.....	42
Figure 20: exemple de canal trapézoïdal en béton.....	42

## LISTE DES PHOTOS :

PHOTO 1: L'oued Ouazzi à l'entrée de la zone d'étude présente un lit marqué. ....	14
PHOTO 2: des digues réalisées par les particuliers de Douar Ait Labyed pour la protection de leurs biens. .....	15
PHOTO 3: occupation du lit de l'oued par des végétations de petite taille .....	15

## LISTE DES TABLEAUX

tableau 1: les formules de calcul le temps de concentration . . . . .	23
tableau 2: les resultats de calcul le temps de concentration . . . . .	24
tableau 3: les paramètres du bassin telt el henchane. . . . .	25
tableau 4 : extrapolation des débits par la méthode Gradex. . . . .	27
tableau 5: les résultats de la transposition des Q obtenues par gradex. . . . .	29
tableau 6: les résultats des calculs par méthode empirique . . . . .	31
tableau 7: Ajustements numériques des lois statistiques pour la période de retour 100 ans. . . . .	32
tableau 8: Estimation des débits selon la loi Exponential . . . . .	33
tableau 9: Transposition du débit instantané maximum annuel. . . . .	34
tableau 10: Les débits retenus pour l'oued ouazi pour différentes périodes. . . . .	37

## LES ABRÉVIATIONS

---

ABHT : Agence du Bassin Hydraulique du Tensift

HEC-RAS: Hydrologic Engineering Centers River Analysis System

MNT : Modèle Numérique de Terrain

TIN :Les réseaux triangulés irréguliers

Bv : Bassin versant

SRTM :the nasa shuttle radar topographique mission

DEM : degital élévation model



## Outile de travail

---

**Arc-Gis** : est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques, est un ensemble de logiciels Système d'information géologique réalisé par la société ESRI. Il est composé par 3 applications essentiels :

**ArcCatalog** : pour la gestion et la navigation dans les bases de données.

**ArcMap** : pour analyser les données, réaliser des produits cartographiques, Arctoolbox compose d'ensemble d'outils de transformation des données.

**MNT** : Est un modèle numérique de terrain est une représentation numérique tridimensionnelle de la topographie d'un terrain. Il s'agit essentiellement d'une matrice de points de données d'altitude répartis uniformément sur la zone analysée.

**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).

**Hyfran-plus** : Hyfran-Plus est un logiciel utilisé pour la modélisation hydrologique des bassins versants. Ce logiciel est largement utilisé pour la gestion des ressources en eau, la prévision des crues, l'analyse des débits d'étiage Il est basé sur des méthodes hydrologiques bien établies, telles que le modèle du bilan hydrique, le modèle de l'unité de réponse hydrologique (URH) et d'autres approches adaptées aux spécificités des bassins versants.





## Introduction général :

*L'inondation est une submersion plus ou moins rapide des surfaces habitables suite à de fortes pluies de durée ou d'intensité. En fait, le degré d'inondation se produit périodiquement et dépend des conditions de mesure. L'inondation correspond au débordement d'eau lors d'une inondation, et peut survenir suite à une augmentation du débit dans les cours d'eau ou à une concentration du ruissellement.*

*L'inondations est un risque naturel qui peut entraîner des pertes de vie, des dommages matériels et une dégradation de l'environnement. A l'échelle du bassin méditerranéen, ce risque occupe la première place en termes de fréquence, après le risque sismique.*

*Le Maroc est classé comme un pays au climat majoritairement aride à semi- aride, comme en témoigne son impressionnante histoire d'inondations. Au Maroc, le haut Atlas occidentales en particulier est l'une des régions les plus touchées par cette phénomène. Par exemple, en 2019, après une inondation qui a submergé douar henchane et causé des pertes socio-économiques, c'est après cette inondation que l'attention a été attirée sur la zone et la nécessité d'étudier le phénomène d'inondation à douar ouazzi a été identifiée pour la prévention et la protection.*

*Dans notre étude nous allons étudier le bassin de Tensift et le précisement de l'oued ouazzi pour le caractériser et faire des prédictions face aux risques inondations, cette étude est réalisée au sein de l'agence du bassin hydraulique du Tensift dans le cadre de stage de fin d'étude. L'objectif sera de réaliser un document pour la protection des habitants de commune henchane contre la phénomène d'inondation.*



## Présentation de l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift (ABHT):

L'ABHT a été créée par le décret n°2-00-479 du 14 novembre 2000 et s'applique aux Article 20 de la loi sur l'eau. Sa mission est d'évaluer, planifier, développer et Gérer les ressources en eau dans sa zone d'opérations. Ce dernier représente une La zone d'étude totale est d'environ 24 800 kilomètres carrés (figure 1), y compris deux installations hydrauliques Bassin du Tensift (19 800 km<sup>2</sup>) et Bassin du Ksob-Igouzoulen (5 000 km<sup>2</sup>).

Objectifs de la création des Agences de Bassins Hydrauliques :

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

Agence du Bassin Hydraulique est chargée de :

- Réaliser les mesures et les études nécessaires à l'évaluation, la planification et la gestion des ressources en eau.
- Réaliser les mesures de qualité de l'eau et appliquer les dispositions réglementaires relatives à la protection des ressources en eaux et à la restauration de leur qualité - Elaborer le « PDAIRE » et de veiller à son application.
- Fournir les aides financières et l'assistance technique dans le domaine de la pollution des ressources en eau.
- Gérer et contrôler l'utilisation des ressources en eau mobilisées.
- Proposer et exécuter les mesures adéquates pour assurer l'approvisionnement en eau en cas de pénurie d'eau ou pour prévenir les risques d'inondations.
- Réaliser les infrastructures nécessaires à la prévention et à la lutte contre les inondations.
- Tenir un registre des droits d'eau reconnus et des concessions et autorisations de prélèvement d'eau accordée. (La Loi 10-95 sur l'Eau, Section III, Articles 20 – 24).

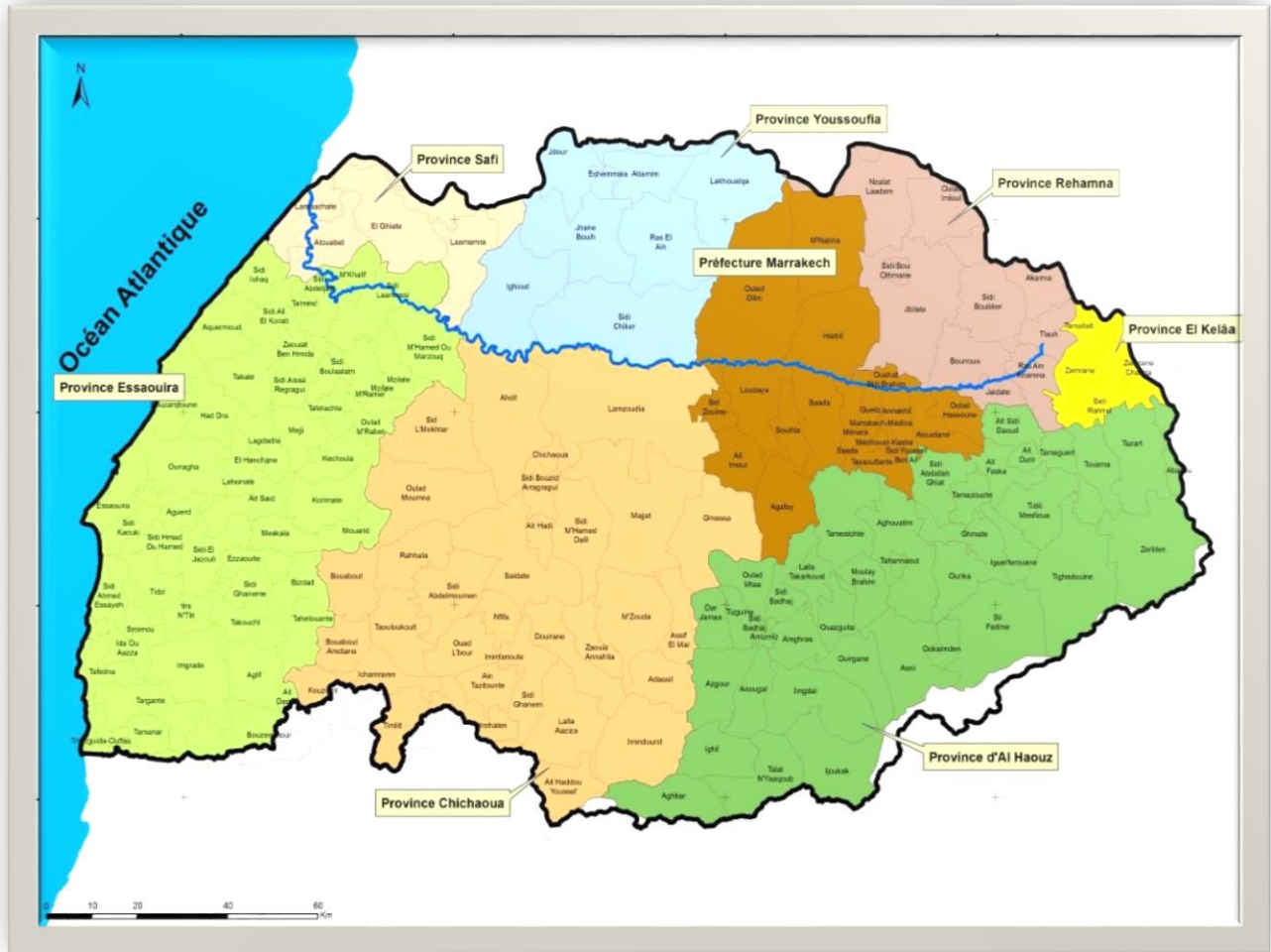


Figure 1: Carte de la zone d'action de l'agence du bassin hydraulique tensiometric

## Chapitre 1 : présentation de la zone d'étude

### 1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET ADMINISTRATIF:

La commune EL HENCHANE fait parties de la province d'Essaouira (fig :2). Celle-ci appartient à la région de Marrakech-Safi. Cette commune étudiée se localise à 37 km à l'Est d'Essaouira. El henchane compte environ 4970 habitants. Les limites et les cordonnées de ce douar sont données dans les tableaux d'annexe 1 ET 2.

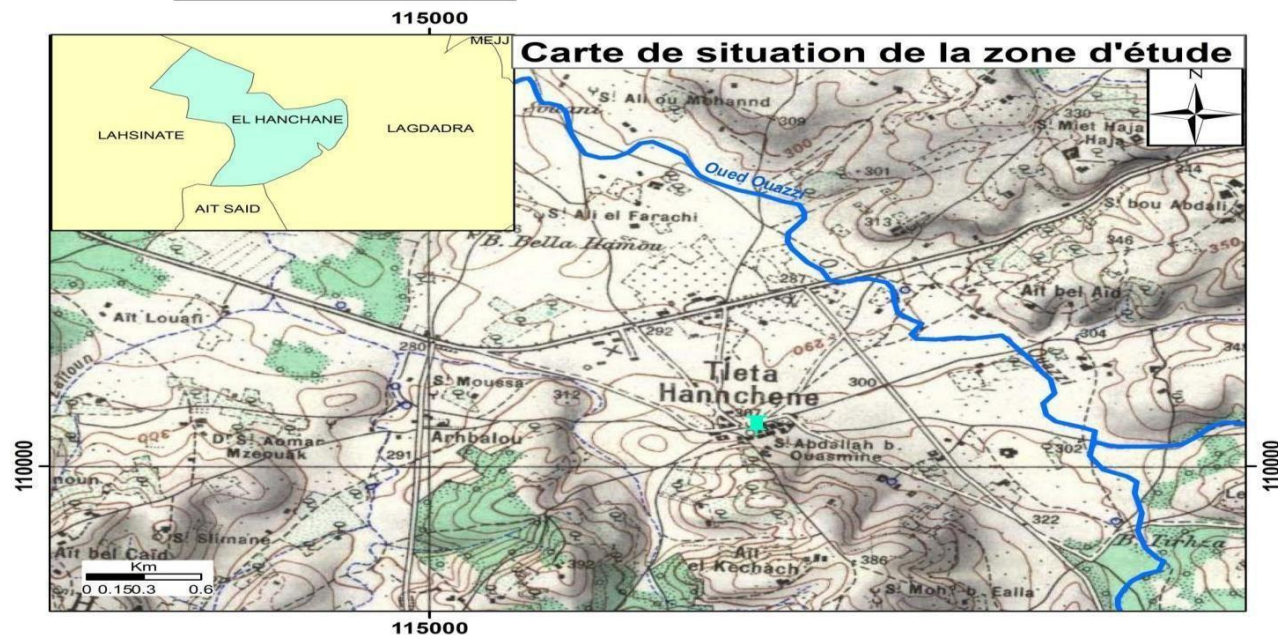
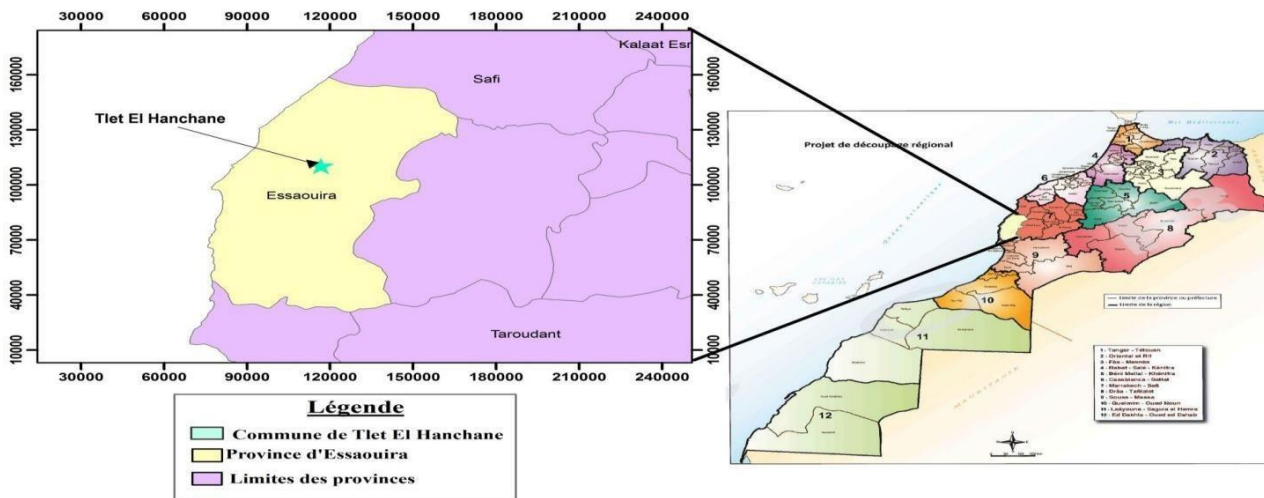


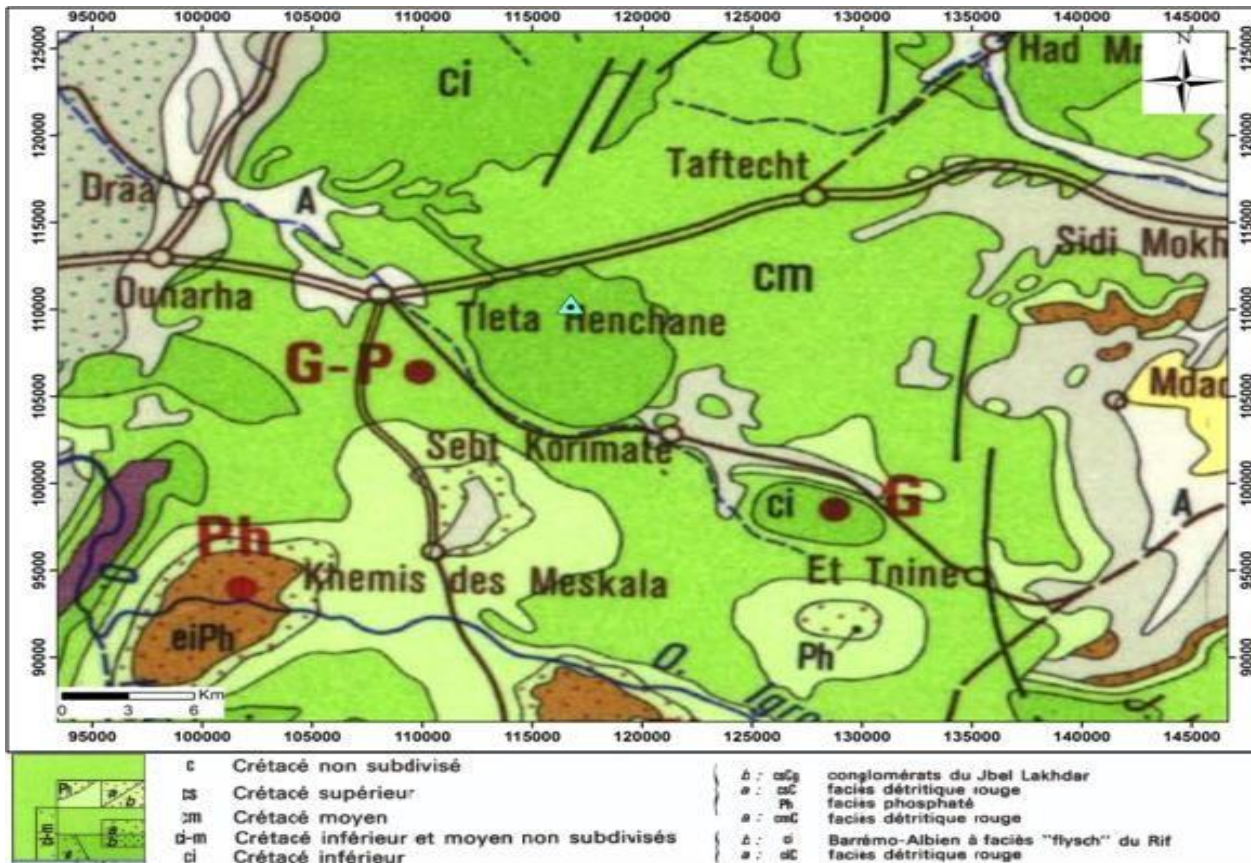
Figure 2: Carte de situation de la zone d'étude.

### 2. CONTEXTE CLIMATIQUE:

La région étudiée est marquée par un climat généralement semi-aride modéré à aride, une température moyenne de 17°C, un écart thermique ne dépasse pas 6°C et une pluviométrie moyenne de 260 mm/an à 300 mm/an. Le bassin d'Essaouira dans lequel se situe le secteur étudié se caractérise par deux saisons, l'une sèche s'étend d'avril à septembre et l'autre humide qui s'étend d'octobre à mars.

### 3. CONTEXTE GEOLOGIQUE:

La commune EL HANCHANE est située dans le bassin d'Essaouira-Chichaoua qui fait partie du grand bassin côtier du Sud-ouest marocain, s'étendant entre El Jadida au Nord et Agadir au Sud. La partie Sud de ce bassin, comprise entre l'oued Tensift et la plaine du Souss, correspond au Haut Atlas occidental. Les terrains à l'affleurement sont dominés par les formations du Crétacé dont les structures de surface reflètent l'empreinte de l'orogénèse



atlasique(figure3).

Figure 3: Carte géologique schématique de la zone d'étude, Extrait de la carte géologique du MAROC .

Les formations géologiques qui caractérisent la région peuvent être récapitulées comme Suits :

Crétacé inférieur : est la période la plus ancienne du Crétacé. On considère généralement qu'il s'est étendu de 146 Ma à 100 Ma ;

Crétacé supérieur : la plus récente subdivision du Crétacé. Il est généralement considéré comme étendu de 99,6 à 65,5 Ma. Il se termine avec une extinction massive, l'extinction KT;

[Pléistocène moyen](#) ou « [lonien](#) » (781 000 à 126 000 ans avant le présent) .

### Lithologie du bassin versant:

La lithologie du socle influence non seulement sur l'écoulement des eaux souterrains mais également le ruissellement, la perméabilité de terrain réduire la gravité des inondations par absorptions d'une partie des eaux.

Le bassin TELT EL HANCHANE caractérise par une dominance des facies détritiques rouge et des conglomérats, on trouve aussi des facies phosphate et des flysch.

### 4 - diagnostique d'oued ouazzi:

L'oued Ouazzi prend naissance au niveau des collines situées au Sud de la commune el henchane, Au départ de la zone d'étude (photo 1). IL traverse El Henchane et présente un historique d'inondations menaçant les habitations du centre et la route régionale RR207 et notre zone d'étude. Le tronçon de l'oued est de 1.5 km environ avec l'occupation par des végétations des petites tailles (photo 3). et commence depuis le pont menant vers douar Ait Labrouk jusqu'au douar Bir Sour passant par douar Ait Labyed et le centre El Henchane.

D'après les habitants de la zone, l'oued Ouazzi adopte un nouvel axe en rive gauche lors des débordements et il rejoint directement les habitations de douar Ait Labyed . Ensuite l'oued Ouazzi continue son chemin avec un lit dégagé et bien marqué jusqu'à la seqaya de douar Ait Labyed où un autre chemin préférentiel d'écoulement est créé et l'oued déborde encore une fois menaçant les habitants de Ait Labyed et leurs biens. Les habitants en construits des digues pour protéger leurs biens(photo 2). Cela a perturbé l'écoulement normal de l'oued Ouazzi.



PHOTO 1: L'oued Ouazzi à l'entrée de la zone d'étude présente un lit marqué.



**PHOTO 2:** des digues réalisées par les particuliers de Douar Ait Labyed pour la protection de leurs biens.



**PHOTO3:** occupation du lit de l'oued par des végétations de petite taille .

## Chapitre 2 : Etude Hydrologique

Etude hydraulique d'un bassin versant est une analyse de la circulation de l'eau dans un bassin versant. Elle permet de comprendre les phénomènes d'écoulement et de ruissellement des eaux de pluie sur un territoire donné. Cette étude est importante pour la gestion des ressources en eau et la prévention des risques d'inondation.

### 1. MORPHOLOGIE DU BASSIN VERSANT:

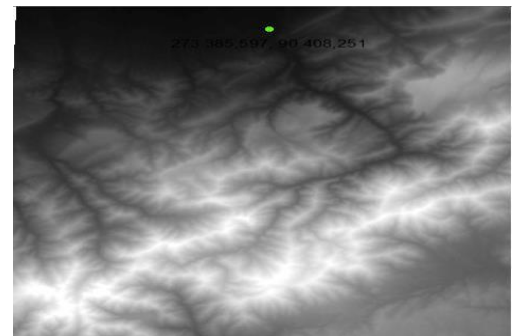
#### 1.1. Delimitation du bassin versant:

Notre délimitation de bassin qui alimenter oued el ouazzi est basé sur une carte topographique (figure 4) et un modèle numérique de terrain (MNT) d'une résolution de 30m pour imagerie la terre par méthode de télédétection [EarthExplorer \(usgs.gov\)](http://EarthExplorer.usgs.gov)

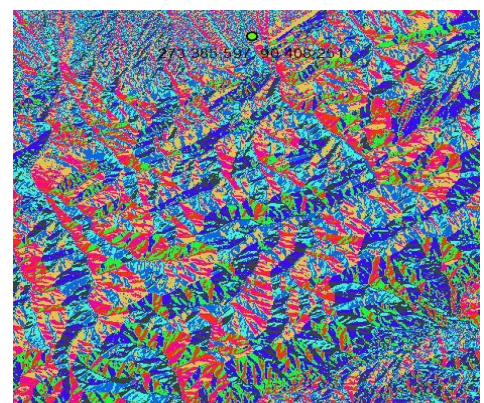
Après on utilise le logiciel ARCGIS qui nous permet de délimiter notre bassin, déterminer et tracer le réseau hydrographique, mesure des différents paramètres tel que ; la surface, périmètre, calcule la pente et l'altitude sous forme des tranches.

On passe par plusieurs étapes :

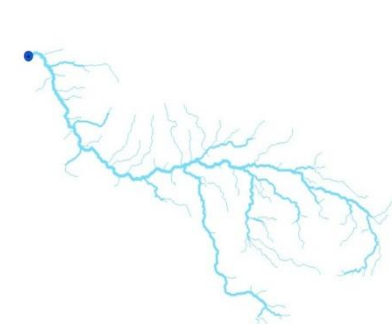
1. Conversion de la DEM découpée (par Global Mapper) en image raster lisible par ArcGIS (en utilisant la commande ArcToolbox/Conversion Tools-DEM to Raster),



2. La fonction « Fill » utilisée, permet de combler des cellules identifiées comme étant des points bas (Par défaut la commande recherche la plus faible valeur voisine d'altitude et l'utilise pour combler la dépression). Cette correction est nécessaire pour une meilleure délimitation du bassin



3. La commande « Flow Direction » (Directions des écoulements) utilisée, permet d'identifier les directions des écoulements dans la carte raster MNT.





4.La fonction « Flow accumulation» (Accumulation des écoulements) utilisée permet de calculer, pour chaque cellule, la quantité d'eau accumulée dans la cellule du fait des écoulements en amont.

5.La fonction Vectorisation du réseau hydrographique, Cette commande permet de générer une couche correspondant au réseau hydrographique. Le niveau de détail du réseau peut être défini par l'utilisateur en nombre de cellules : 200, 300, 500,

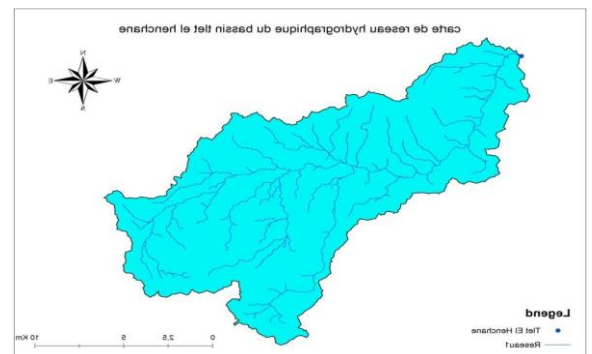
1000...etc. dans la fenêtre Expression. Ceci en y tapant value > nombre

(Plus le nombre est petit, plus le détail est grand).

6.La fonction « Watershed» (Bassin versant) permet de délimiter le bassin après avoir indiqué l'exutoire sur

le cours d'eau principal.

7.La commande « Clip» permet de découper le réseau hydrographique sur la limite finale du bassin versant.



8.Classification du réseau hydrographique (Strahler).

La classification de Strahler permet d'attribuer des ordres aux branches du réseau hydrographique selon leurs importances. Ensuite Il faut convertir la couche obtenue en shapefile linéaire par l'outil Conversion Tools (from raster to polyline).



## 2. CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DU BASSIN VERSANT :

### 2.1. Superficies et périmètre:

La superficie et le périmètre d'un bassin versant jouent un rôle clé dans son étude. Leur impact est dans la nature de la relation entre le débit et le temps, un petit bassin versant réagissant très rapidement à une averse.

Pour le bassin Telt elhchane, se prolonge sur une superficie de 217,82 Km<sup>2</sup> et un périmètre de 96,19 Km.

### 2.2. indice de compacité:

L'indice de compacité de Gravelius est utilisé pour caractériser la forme du bassin versant par rapport un cercle de  $KG = 1$ . Plus l'indice de compacité est proche de 1, plus la forme du bassin versant est circulaire ou régulière, tandis qu'un indice de compacité plus faible indique une forme plus allongée ou irrégulière :

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

$$KG = 1.8$$

P : périmètre du bassin en km (=96,19 km)

A: est la surface du bassin en km<sup>2</sup> (=217,82 km<sup>2</sup>)

## 3. CARACTÉRISTIQUES TOPOGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT:

### 3.1. le relief:

La topographie joue un rôle important sur l'écoulement d'eau car des nombreux paramètres varient en fonction d'altitude (intensité de précipitations, température, la pente...), on prend par exemple la pente qui influence sur la vitesse d'écoulement d'eau.

Le relief peut être déterminé par la courbe hypsométrique (figure6) qu'on réalise par une carte des tranches d'altitude à l'aide d'arc-gis (figure 5).

### 3.1.1. Carte hypsométrique:

Une carte hypsométrique est une carte topographique élaborer automatiquement sur ARCGIS. Cette carte représente les altitudes relatives des différentes parties d'un bassin versant en utilisant des couleurs différentes Pour les différentes classes d'altitude. Elle permet de visualiser les zones où latitude est anomalique(figures)

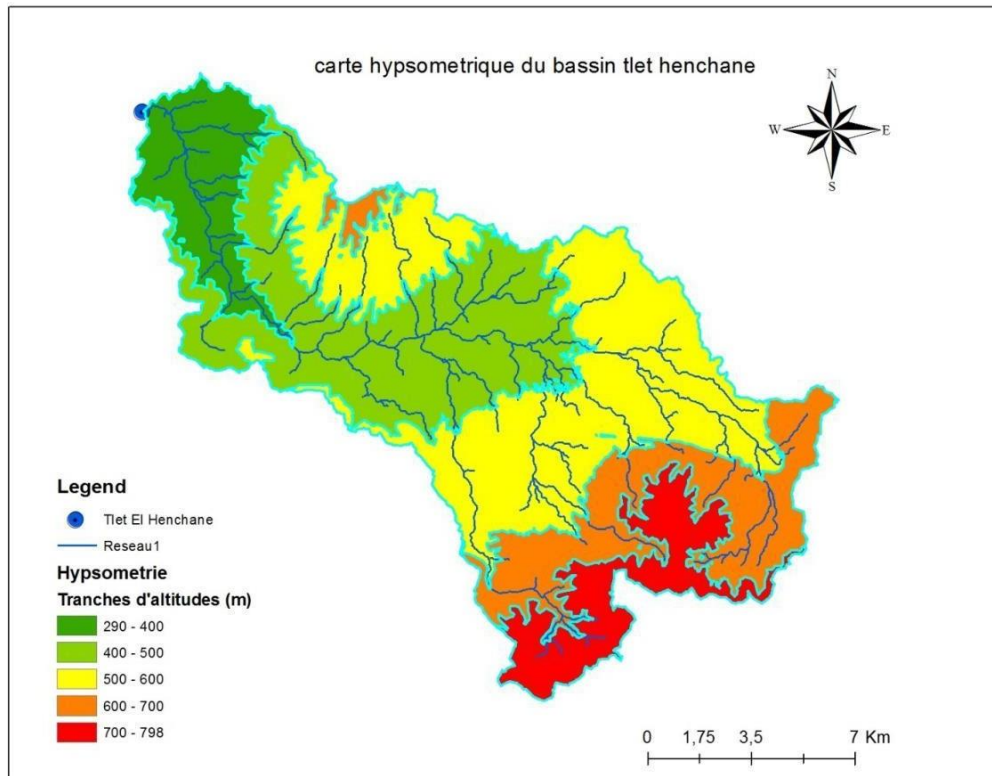


Figure 5: carte hypsométrique du bassin telt henchane.

La carte montre que la grande partie de leur superficie est occupé par des terrains avec une altitude de 500 à 600

### 3.1.2. la courbe hypsométrique:

C'est une courbe où l'on représente l'altitude en fonction de la superficie en pourcentage, celle-ci est obtenue en mesurant les surfaces comprises entre certaines tranches d'altitude (figure ci-dessous 6).

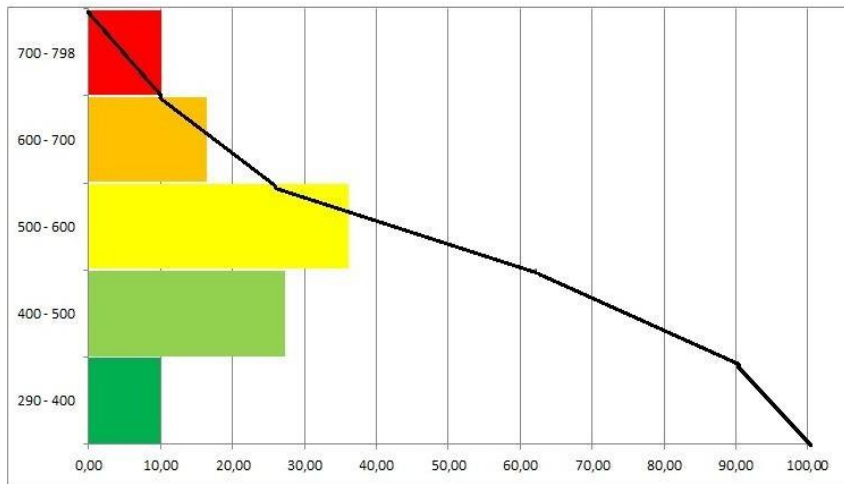


Figure 6: courbe hypsométrique du bassin telt henchane.

Notre bassin est caractérisé par une pente faible, altitude maximal de 798 mètres et minimal de 290 mètres, la grande partie de la surface du bassin et 36,20% de la superficie est occupé par des terrains d'altitude entre 500 à 600 mètres.

### 3.2. le rectangle équivalent:

Le rectangle équivalent est utilisé dans le calcul de la pente d'un bassin versant. Cette méthode permet de comprendre l'influence des pentes sur le débit (figure 7).

Les dimensions du rectangle :

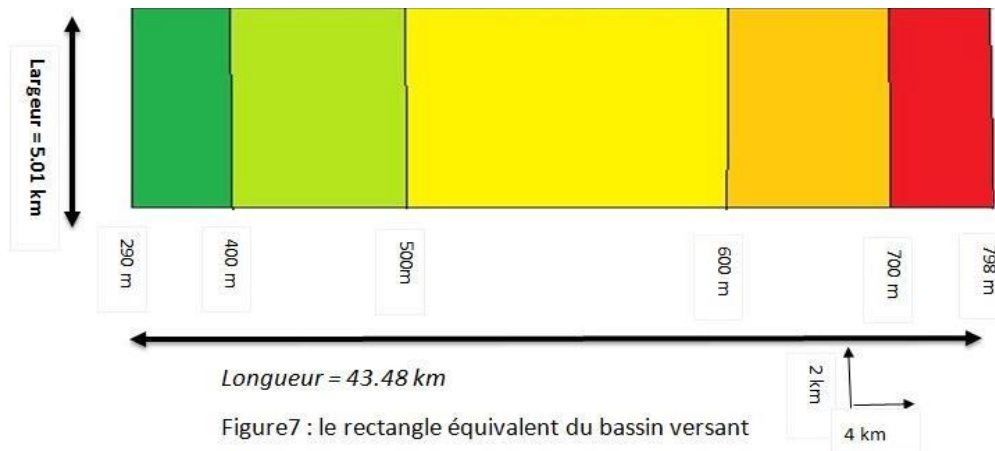
$$L(\text{largeur}) = KC \cdot \frac{\sqrt{A}}{1.12} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right)$$

$$\text{donc } Leq = 5.01 \text{ km}$$

$$l(\text{longueur}) = KC \cdot \frac{\sqrt{A}}{1.12} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right)$$

$$\text{donc } Leq = 43.48 \text{ km}$$

avec: *KC*: indice de compacité; et *A*: l'aire du bassin



Le rectangle montre la même résultats que la carte et courbe hypsométrique

### 3.3. les pentes:

#### 3.3.1. carte des pentes:

La carte de pente permet de visualiser les différentes pentes des zones de terrain dans le bassin versant (figure 8), ce qui peut aider à comprendre les processus hydrologiques, elle est obtenue automatiquement à partir du traitement d'un MNT.

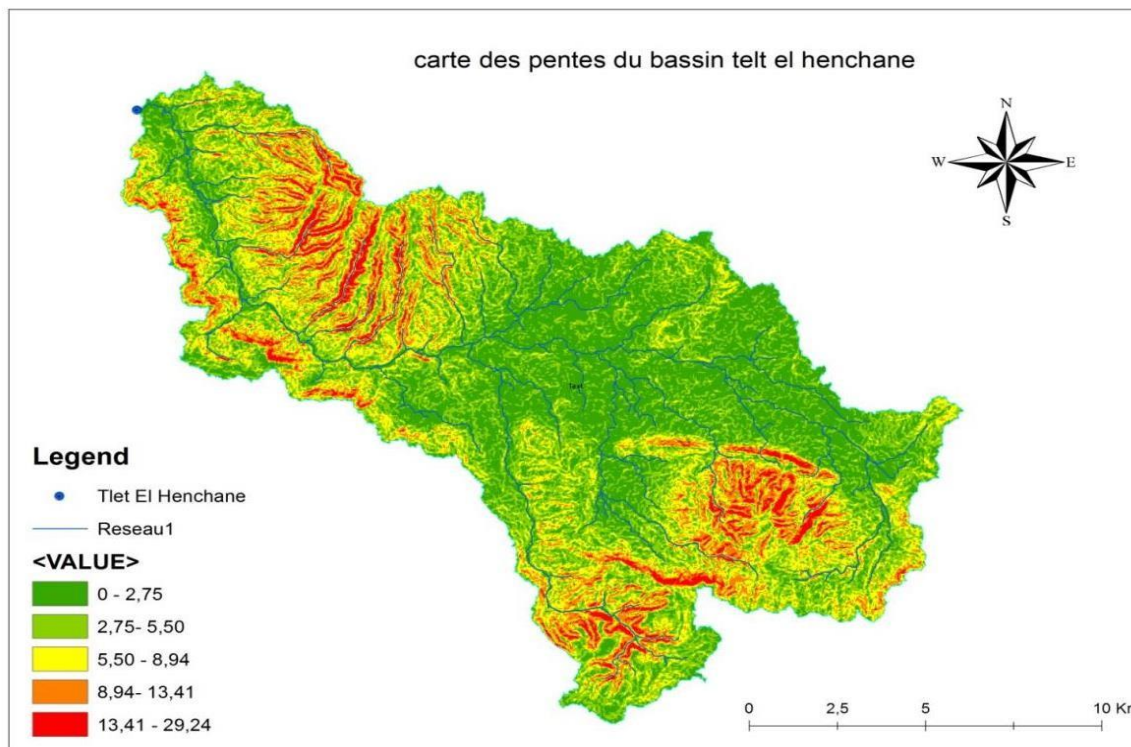


Figure 7: Carte des pentes du bassin .

Les pentes varient entre une pente minimale de 0° jusqu'à une pente maximale de 29,24°. La cartes nous permet de reconnaître les zones aval avec des faibles valeurs et les zones amonts par des max valeurs.

### 3.3.2. Pente moyenne de l'écoulement :

La pente moyenne de l'écoulement se calcule par la relation suivante :

$$P = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \cdot 100 = \frac{798 - 290}{43480} \cdot 100 = 11\%$$

avec: - H max: altitude max

H min: altitude min

L: est la longueur du cours d'eau principal en m.

La pente moyenne de l'écoulement d'un bassin versant est importante car elle peut avoir une incidence sur le comportement hydrologique du bassin versant. Les bassins versants avec une pente plus élevée ont tendance à avoir un écoulement plus rapide et plus turbulent, tandis que les bassins versants avec une pente plus faible ont un écoulement plus lent et plus régulier.

### 3.3.3. Indice de pente:

L'indice de pente est utilisé pour caractériser la topographie d'un bassin versant.

$$Ip(\text{Indice de pente } \%) = \frac{H_{max} - H_{min}}{Leq} \cdot 100 = \frac{508(m)}{43480(m)} \cdot 100 = 1.17\%$$

Avec : H max : l'altitude maximale.

H min : l'altitude minimale.

Leq : la longueur du rectangle équivalent.

## 4. TEMPS DE CONCENTRATION:

Le temps de concentration d'un bassin versant est le temps nécessaire pour qu'une goutte d'eau qui tombe sur la surface du bassin versant atteigne l'exutoire du bassin versant. Il représente le temps que met l'eau pour parcourir la distance entre le point le plus éloigné du bassin versant et l'exutoire. Il est utilisé pour estimer la réponse hydrologique d'un bassin versant à une précipitation.

L'estimation du temps de concentration est importante pour la gestion des eaux pluviales, car elle permet de dimensionner les structures de drainage pour protéger les zones urbaines et les infrastructures des inondations. Il est également important pour l'évaluation des risques d'inondation dans les zones vulnérables.

Le temps de concentration (TC) d'un bassin versant peut être calculé en utilisant différentes méthodes, notamment (tableau1)

<p>Formule de Giordotti:</p> $T_c = \frac{4\sqrt{5+1.5L}}{0.8\sqrt{Hm}}$	<p><math>T_c</math>: Temps de concentration  <math>S</math>: surface du bassin en <math>km^2</math>  <math>L</math>: longueur du talweg le plus long en Km  <math>Hm</math>: Dénivelé du talweg en m</p>
<p>Formule de Turazza:</p> $T_c = \frac{0.108}{\sqrt{I}} \cdot \sqrt[3]{S \cdot L}$	<p><math>S</math>: surface du bassin en <math>km^2</math>  <math>I</math>: pente moyenne du Talweg le plus long en m/m  <math>L</math>: longueur du talweg le plus long en Km</p>
<p>Formule de Kirpich:</p> $T_c(h) = 0.948 \frac{L \cdot 1.555}{H^{0.385}}$	<p><math>H</math>: Dénivelé max du talweg le plus long en m  <math>L</math>: longueur du talweg le plus long en m  <math>I</math>: pente moyenne du Talweg le plus long en m/m</p>
<p>Formule de Ventura:</p> $T_c(h) = 0.1272 \sqrt{\frac{S}{I}}$	<p><math>S</math>: surface du bassin en <math>km^2</math>  <math>I</math>: pente moyenne du Talweg le plus long en m/m</p>
<p>Formule de van te chow :</p> $T_c(h) = \left( \frac{0.868 \cdot L^3}{H} \right)^{0.385}$	<p><math>L</math>: longueur du talweg le plus long en Km  <math>H</math>: Dénivelé max du talweg le plus long en m</p>
<p>Formule Espagnole :</p> $T_c(h) = 0.3 \cdot \left( \frac{L}{I^{0.25}} \right)^{0.77}$	<p><math>I</math>: pente moyenne du Talweg le plus long en m/m  <math>L</math>: longueur du talweg le plus long en km</p>
<p><math>T_c(h) = \frac{16.686}{60} \left( \frac{L \cdot I^{-0.25}}{1000} \right)^{0.77}</math>          formule us corps :</p>	<p><math>L</math>: longueur du talweg le plus long en m  <math>I</math>: pente moyenne du Talweg le plus long en m/m</p>
<p>Formule mockus :</p> $T_c(h) = L^{0.8} \cdot I$	<p><math>L</math>: longueur du talweg le plus long en m  <math>I</math>: pente moyenne du Talweg le plus long en m/m</p>

tableau 1: les formules de calcul du temps de concentration .

<b>Formule de Giondotti :</b>	<b>9.82 h</b>
<b>Formule de Turazza :</b>	<b>7.75 h</b>
<b>Formule de Kirpich :</b>	<b>3.10 h</b>
<b>Formule de ventura :</b>	<b>6.36 h</b>
<b>Formule de van te chow</b>	<b>21.43 h</b>
<b>Formule Espagnole :</b>	<b>8.76 h</b>
<b>Formule us corps :</b>	<b>8.12 h</b>
<b>Formule mockus :</b>	<b>5.81 h</b>

tableau 2: les resultats de calcule le temps de concentration .

$$Tc(h) \text{ moyenne} = \frac{7.75+6.36+8.76+8.12}{4} = 7.75$$



## 5. Conclusion\_:

Caractéristiques	Unité	Valeur
Surface	Km <sup>2</sup>	217.81
Périmètre	Km	96.19
Altitude : Hmax	m	798
Altitude : Hmoy		540
Altitude : Hmin		290
Indice de compacité	%	1.8
Longueur du rectangle équivalent	Km	43.48
Largeur du rectangle équivalent	Km	5.01
Pente moyenne du bassin	%	8.7
Longueur du cours d'eau principal	Km	43.48
Indice de pente classique	%	1.17
Indice de Horton	%	0.115
Dénivelée	M	508
Temps de concentration moyenne	H	7.75

tableau 3: les paramètres du bassin telt el henchane.

## Chapitre 3 : les méthodes d'estimation des débits des crues

### Introduction :

Le but de ce chapitre est de faire une étude hydrologique visant à mieux connaître les crues au niveau de notre zone d'étude, en particulier en ce qui concerne les aspects relatifs au débit de pointe. Ce paramètre est

d'une importance capitale pour la simulation hydraulique de notre bassin versant telt el henchane qui fait l'objet du prochain chapitre, les débits de pointes relatifs aux crues dans ce bassins a été calculé par les méthodes suivantes :

Méthodes empiriques : Mallet Gauthier, Hazan-Lazareviç et Fuller ; Méthode de gradex ; Méthode d'ajustement ;

Analogie avec les bassins versants à l'aide de la formule de transposition de Franco-Rodier.

### 1. Méthode hydrométéorologique: Gradex:

#### 1.1. Principe :

L'approche hydrométéorologique repose sur le principe de la mise en relation des flux d'eau à Inondation. Cela implique d'utiliser les informations sur les précipitations pour calculer les débits de crue (tableau annexe 3). Pour ce faire, nous pouvons relier la loi de probabilité d'inondation à la loi de probabilité de pluie. C'est dans ce but que la méthode Gradex a été développée.

Cela s'applique à des bassins versants relativement imperméables dont la taille varie de dizaines à des milliers de kilomètres carrés et peut estimer les débits de crue extrêmes avec des occurrences rares à très rares (temps de retour supérieurs à 100 ans).

#### 1.2. Méthodologie

Les précipitations maximales quotidiennes ont été ajustées pour la loi de Gumbel , La pente de la droite de Gumbel est appelée Gradex, et cette loi correspond au paramètre  $1/a$ .

La méthode Gradex suppose que la loi d'ajustement du débit est extrapolée selon une pente égale à la pente du Gradex pour la pluie correspondante sur le débit décennal ( $T = 10$  ans) .

L'unité de débit est convertie en mm Cette opération permet d'exprimer les deux variables dans la même unité, ce qui rend leur association(FIGURE9) .

Le passage du débit extrapolé  $Q_{ext}$  au débit de pointe  $Q_p$  se fait selon la relation suivante :

$$Q_p = C_p \times Q_{ext}$$

$C_p$  est le coefficient de pointe, qui dépend de l'analyse du débit instantané maximum  $Q_{inst}$  et débit journalier maximum  $Q_{moy}$ , généralement il est obtenu par le rapport suivant :

$$C_p = \frac{Q_{inst}}{Q_{moy}}$$

Pour le calcul, la méthode Gradex suit les étapes suivantes :

Déterminer le rang  $r$ .

Calculer la probabilité au non dépassement FND par la formule suivante :

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

Avec :

$R$  : le rang.

$n$  : le nombre des années de la série.

$$y = -\ln(-\ln(FND))$$

Calculer la variable réduite  $y$  :

Déterminer les paramètres d'ajustement étant :

Le paramètre d'échelle :  $\frac{1}{a} = 0.78\sigma$

$\sigma$  : l'écart-type de la série des pluies.

Le paramètre de forme :

$$P_0 = \bar{P} - (1/a \times 0.577)$$

$\bar{P}$  : La moyenne des pluies.

Le résultat d'extrapolation des débits par la méthode Gradex est exprimé dans le tableau 4 suivant :

Temps de retour (ans)	Fréquence (F)	Fréquence au non-dépassement $t$ (FND)	Variable réduite (y)	Débit extrapolé (mm)	Débit extrapolé (m3/s)
10	0.1	0.9	2.25	10.589	110.3
25	0.04	0.96	3.20	35.030	364.9
50	0.02	0.98	3.90	52.896	551.0
100	0.01	0.99	4.60	70.631	735.7

tableau 4 : extrapolation des débits par la méthode Gradex.

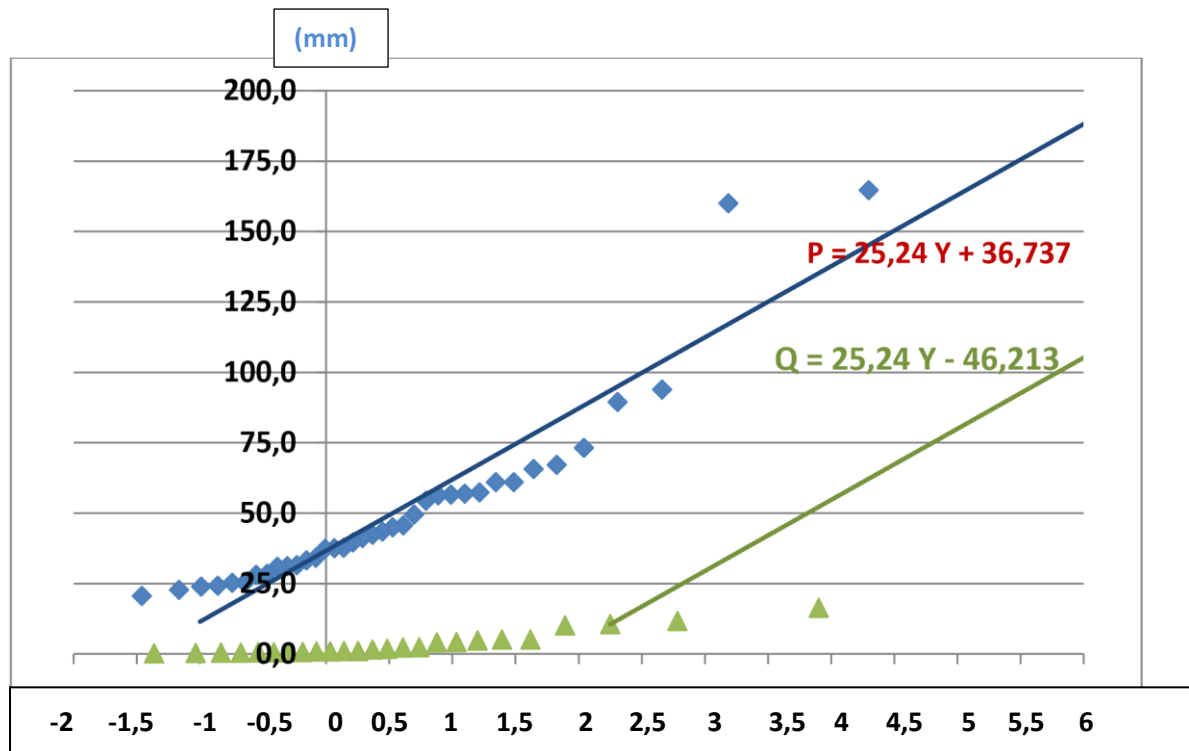


Figure 8:Ajustements graphique des données de Pjmax et Qjmax selon la méthode de Gradex .

D'après l'ajustement graphique( figure 9) on observe que les deux courbes sont parallèles et cela de Qjmax est au-dessous de la courbe PJ max, ce qui explique que la quantité des eaux ruisseler est inférieure à les Précipitations. les valeurs DE Qt sont logiques donc on peut utiliser cette méthode pour les calculs de débit.

#### METHODE FRANCOU rodier :

Afin de pouvoir déterminer les débits de pointe du bassin, on a transposé les débits de la station la plus proche « igrounzar » vers notre bassin après une détermination du coefficient de FrancoRodier(tableau5) :

D'abord, on calcule le paramètre K (coefficient de Franco-Rodier) en appliquant la formule suivante :

$$K_T = 10 \times \left( 1 - \frac{\ln\left(\frac{Q_T}{10^6}\right)}{\ln\left(\frac{A_2}{10^8}\right)} \right)$$

Avec :

$Q_T$ : Débit extrapolé par Gradex pour une période de retour T (m<sup>3</sup>/s).

$A_2$ : Superficie du bassin versant IGRNZAR (Km<sup>2</sup>).

Puis on utilise la valeur de Kt pour calculer le débit de crue dans le bassin versant telt el henchane , selon la formule ci-dessous :

Avec :

$$Q_T = 10^6 \times \left( \frac{A_1}{10^8} \right)^{\left(1 - \frac{K_T}{10}\right)}$$

$Q_T$ : Débit du bassin versant TELT HENCHAN (m<sup>3</sup>/s).

$A_1$ : Superficie du bassin versant TELT HENCHAN (Km<sup>2</sup>).

Le tableau au-dessous représente les résultats de la transposition des débits obtenus par l'ajustement :

Temps de retour (ans)	Q par gradex (m3/s)	ancou-Rodier	
		Fr	$Q_T$ (m3/s)
10	110.3	2.15	35.9
25	364.9	3.18	137.6
50	551.0	3.5	208.8
100	735.7	3.8	308.75

tableau5:les résultats de la transposition des Q obtenues par gradex.

Avec :  $A_1 = 218 \text{ Km}^2$   
 $A_2 = 900 \text{ Km}^2$

## 2. Méthodes empiriques :

Les méthodes empiriques sont utilisées lorsqu'on ne possède que peu ou pas de données sur les débits des crues dans une région.

Il existe plusieurs formules pour le calcul des débits de pointe relatifs à chaque période de retour, parmi celles utilisées au Maroc on trouve :

### 2.2. Formule de Fuller II :

$$Q_T = (1 + a \log(T)) \times \left[ A^{0.8} + \left( \frac{8}{3} \times A^{0.5} \right) \right] \times \frac{4}{3} \times \frac{N}{100}$$

Avec :

$Q_T$  : Débit maximal pour la période de retour T en (m3/s)

A : Superficie du bassin versant en (km<sup>2</sup>)

T : Période de retour

a : Coefficient qui varie entre 0.7 à 3.5 (voir tableau annexe 4) : (On prend a = 0.8)

N : Coefficient régional qui varie de 80 à 100 (voir tableau annexe 5) : (On prend N = 80).

### 2.1. Formule de Mallet-Gautier :

Elle est Représenté sous forme :

$$Q_T = 2 \times k \left[ \log(1 + a + P_{an}) \times \frac{A}{\sqrt{L}} \right] \times \sqrt{1 + 4 \log(T) - \log(A)}$$

$Q_T$ : Débit de pointe [m<sup>3</sup>/s] pour la période de retour T

K : Coefficient qui varie de 0.5 à 6

(0.5 Pour les grands bassins versant et 6 pour les petits bassins versants de fortes pentes).

Au Maroc, on prend K = 2

a : Coefficient entre 20 et 30 (au Maroc, on prend a = 20)

L : Longueur du plus long talweg (Km)

A : Superficie du bassin henchane (Km<sup>2</sup>)

T : Période de retour

Pan : Pluie moyenne annuelle (m)

### 2.2. Formule de Hazan–Lazarvic :

$$Q_{1000} = K1 \times S^{K2}$$

Q(1000) : Débit de pointe en [m<sup>3</sup>/s] de récurrence 1000 ans

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

Les valeurs des paramètres K1 et K2 dépendent de la situation géographique de la zone et de sa pluviométrie moyenne annuelle (voir tableau annexe 6).

Nous prenons K1 = 9.3 K2 et K2 = 0.742

La transposition des débits des crues milléniales aux débits de récurrence T se fera par la formule de Fuller I

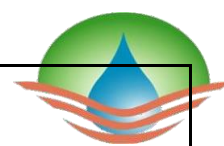
$$Q(T) = Q_{m \max} \times (1 + a \log T)$$

Q(T) = Débit de pointe de période de retour T.

Qm max : moyenne des débits maxima instantanés annuels.

De ce raisonnement Qm max en 100 ans = Q(100) / (1+ a log 100). D'où :

$$Q(T) = Q_{1000} (1+a \log T / (1+a \log 1000))$$



	Q10(m3/s)	Q25(m3/s)	Q50(m3/s)	Q100(m3/s)
Fuller II	218.17	256.76	285.95	315.15
Mallet-Gautier	285.26	360.61	408.48	451.30
Hazan-Lazarvic	269,85	317.58	353.68	389.78

QT : Débit de pointe en m3/s et A : coefficient varie entre  $0.7 < a < 3$  (on prend  $a=2$ )

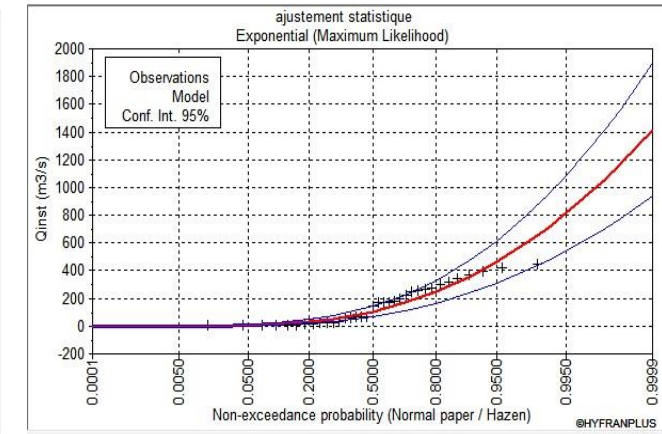
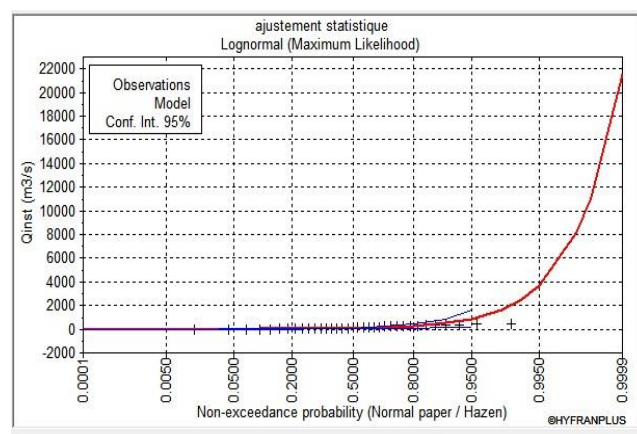
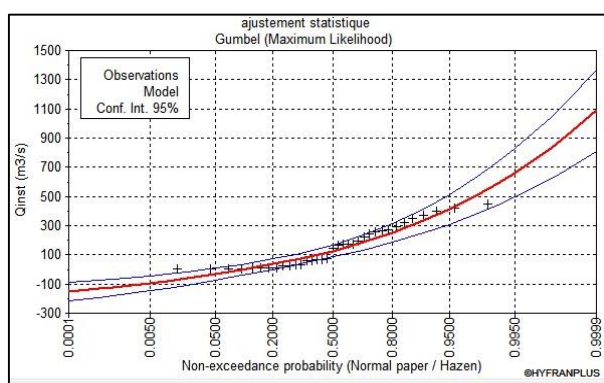
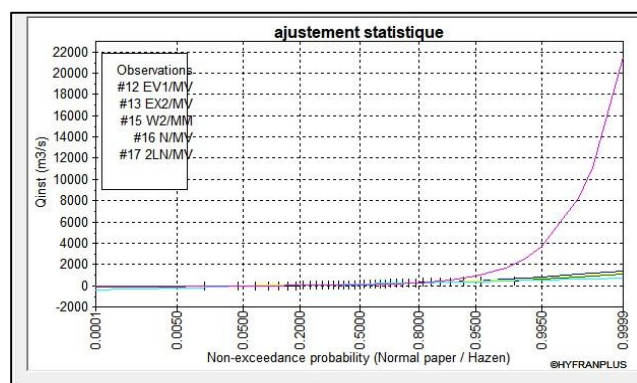
tableau 6: les résultats des calculs par méthode empirique .

### 3. Méthode statistique:

La méthode permet de prédéterminer débit maximal d'un crue et sa période de retour utilisant les analyses des crues passées pour déterminer la probabilité d'occurrence, ont utilisé série des débit journaliers maximaux enregistrés par station ignouzar ( à 25 km par notre bassin ) sur une période d'observation ( de 1778 jusqu' à 2010) . Les lois statistiques appliquées dans cette étude sont : les lois normales et lognormal, loi de Gambel, loi de Weibull et loi exponentielle.

Cette étude a été réalisée avec le logiciel Hyfran Plus (figure10 ).

#### 3.1. Analyse des graphes :



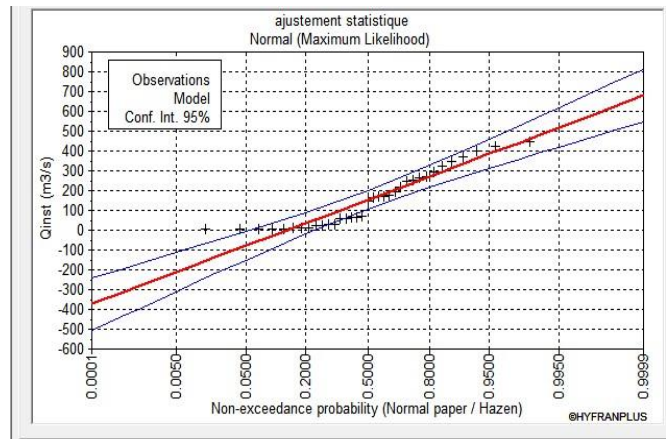
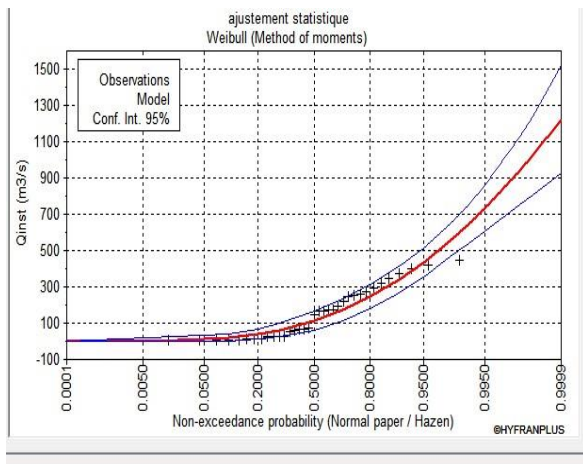


Figure 9: Ajustement graphique des débits instantanés maxima annuels selon les lois statistiques à la station IGROUNZAR.

Figure 10 montre des graphiques présentant la distribution des lois statistiques. Visuellement on remarque que le lois Exponential présente le meilleur ajustement De la variable débit instantané maxima annuel.

### 3.2. Analyse des critères statistiques :

Le tableau suivant montre les valeurs observées des critères d'information Bayésien (BIC) et d'Akaike (AIC) qui permettent de comparer le degré d'ajustement. Les meilleurs ajustements correspondent aux plus faibles valeurs de ces critères statistiques.

Lois statistiques	Débit estimé (m3/s)	BIC	AIC
Exponential (Maximum Likelihood)	708.386	429.659	426.548
Weibull(Method of moments)	646.093	431.158	428.047
Lognormal (Maximum Likelihood)	2533.688	434.007	430.897
Gumbel (Maximum Likelihood)	587.291	446.633	443.522
Normal (Maximum Likelihood)	482.554	452.058	448.948

tableau 7: Ajustements numériques des lois statistiques pour la période de retour 100 ans.



Les ajustements numériques confirment que la loi Exponential est la meilleure loi pour estimer les débits .

La loi Exponential permet d'estimer des débits pour différentes périodes de retour, comme le montre le tableau 8 ci-dessous :

Période de retour (ans)	10	20	50	100
Débit estimé (m3/s)	354	461	602	708

tableau 8: Estimation des débits selon la loi Exponential .

### 3.3. Francou-Rodier :

La transposition des débits d'IGROUNZAR obtenus par l'ajustement vers le bassin versant Tensift se fait par la formule de Francou-Rodier .

D'abord, on calcule le paramètre K (coefficient de Francou-Rodier) en appliquant la formule suivante :

$$K_T = 10 \times \left( 1 - \frac{\ln\left(\frac{Q_T}{10^6}\right)}{\ln\left(\frac{A_2}{10^8}\right)} \right)$$

Avec :

$Q_T$ : Débit estimé par l'ajustement pour une période de retour T (m3/s).

$A_2$ : Superficie du bassin versant IGRNZAR (Km<sup>2</sup>).

Puis on utilise la valeur de K pour calculer le débit de crue dans le bassin versant telt el henchane , selon la formule ci-dessous :

Avec :

$$Q_T = 10^6 \times \left( \frac{A_1}{10^8} \right)^{\left(1 - \frac{K_T}{10}\right)}$$

$Q_T$ : Débit du bassin versant TELT HENCHAN (m3/s).

$A_1$ : Superficie du bassin versant TELT HENCHAN (Km<sup>2</sup>).

Le tableau au-dessous représente les résultats de la transposition des débits obtenus par l'ajustement :

Temps de retour (ans)	Q selon la loi exponentiel en (m3/s)	Francou-Rodier	
		$K_T$	$Q_T$ (m3/s)
10	354	3.16	134.12
20	461	3.4	183.4
50	602	3.62	244.3
100	708	3,76	293.2

tableau 9: Transposition du débit instantané maximum annuel.

Avec :  $A_1 = 218 \text{ Km}^2$   
 $A_2 = 900 \text{ Km}^2$

#### 4. Conclusion:

La méthode	Le débit estimé pour 100 ans par m3/s
Gradex	308.75
Fuller II	315.15
Mallet-Gautier	451.30
Hazan-Lazarvic	389.78
Ajustement statistique	293.2

Tableau10 : les résultats de tous les méthodes

Les valeurs de débit obtenus par les trois méthodes sont presque semblables , mais on se base dans la simulation sur le débit estime par ajustement car il est le plus précis .

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

### 1. INTRODUCTION:

La modélisation hydraulique permet de simuler le comportement hydrologique d'un Bassin Versant suite à des événements pluvieux prédéterminés. L'un des outils informatiques qui permettent d'effectuer cette modélisation est le logiciel HEC-RAS, développé par le Centre d'Ingénierie Hydrologique de l'armée américaine (HEC-RAS, 2016). Ce logiciel permet de calculer des hydrogrammes de crues en vue, notamment de prévoir les crues et leur impact.

Dans le cas de la présente étude, le programme HEC-RAS a été utilisé pour simuler la capacité hydraulique du bassin étudié pour les crues de période de retour de 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.

### 2. ETAPES DE MODÉLISATION:

#### 2.1. Données d'entrée:

##### a. La topographie :

La préparation des données géométriques est réalisée à l'aide du logiciel ARC GIS. Les données d'élévation du terrain sont essentielles pour la modélisation hydrologique. Celles-ci permettent de déterminer la géométrie du bassin d'étude sur laquelle s'appuient les calculs du modèle hydrologique. L'approche utilisée consiste à créer une série de profils de terrain à travers le lit de la rivière concernée (Fig11.).

L'élaboration de tels profils nécessite une formation de base telle que des modèles numériques de terrain et des cartes topographiques. Bien entendu, la qualité des profils de terrain et la fiabilité des résultats de modélisation dépendent du niveau de précision et de résolution des informations de terrain disponibles.

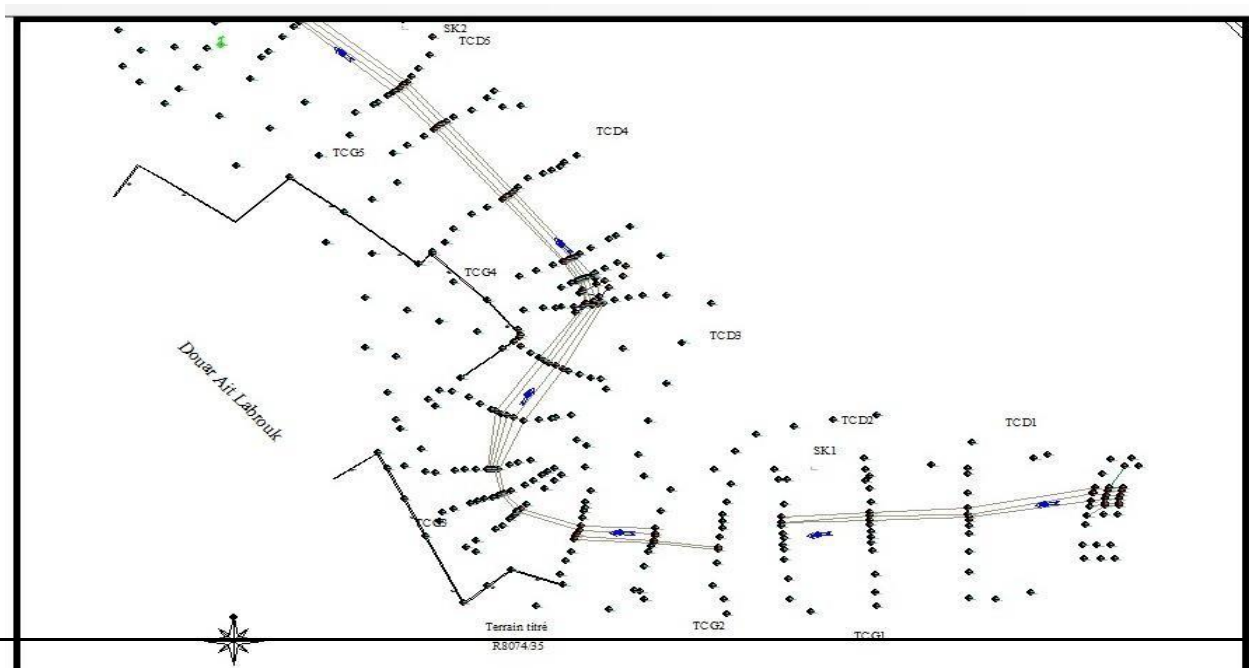


Figure 10: profils topo utilisés pour la simulation hydraulique.

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

La réalisation d'une simulation hydraulique nécessite la disponibilité des données de terrain ou d'élévation d'une résolution (figure12). La base de données utilisée dans le cas de cette étude est issue d'un modèle numérique de terrain extrait du SRTM du Maroc et a une résolution de 30 m. ces données ont d'abord été comparées à un système de coordonnées géographiques avant de commencer à extraire des profils de terrain. Le système métrique lambertien du nord du Maroc. Cette étape est très importante lors de l'intégration du profil dans le logiciel HEC-RAS. Ensuite, LE DEM a dû être converti en tin (figure 12), un format développé par ESRI (26191.prj) pour être plus compatible avec le programme HEC-RAS.

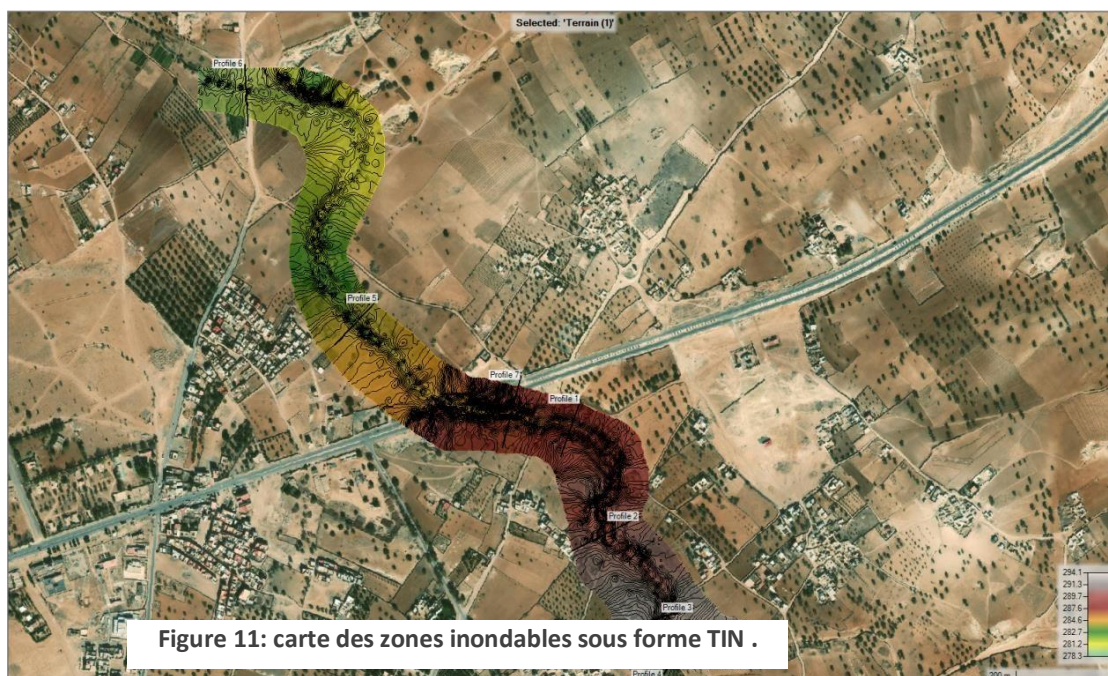


Figure 11: carte des zones inondables sous forme TIN .

### 2.2. paramètre du modèle:

#### a. Coefficient de Manning:

Le coefficient de Manning est un paramètre qui représente la rugosité de la surface du lit du cours d'eau qui tend à freiner les écoulements. La résistance à l'écoulement dépend de l'effet conjugué de différents facteurs qui affectent la section du cours d'eau. Le calcul du coefficient de Manning peut être obtenu par des formules empiriques qui décomposent la résistance à l'écoulement en plusieurs parties prenant en compte la composition du lit, sa géométrie, la présence de végétation, etc. :

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m.$$

$n_0$ : Valeur de base du Manning pour un canal droit uniforme  $n_1$ : irrégularités du fond

$n_2$  : variation de la géométrie du canal  $n_3$ : présence d'obstacles

$n_4$ : végétation

m : facteur de correction des méandres

Lors de la simulation des crues de l'oued Ouazzi, les valeurs de La Valeur utilisée pour ce paramètre lors de la présente étude est 0.035 (voir tableau annexe7).

**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 Ouazi pour différentes périodes de retour sont indiqués dans le tableau suivant :

T(ans)	10	20	50	100
Qp(m3 /s)	134.12	183.4	244.3	293.2

tableau 10: Les débits retenus pour l'oued ouazi pour différentes périodes.

**2.3. Simulation des crues pour une période de retour de 100 ans et carte des zones inondables :**

Après avoir intégré tous les paramètres nécessaires à la modélisation hydraulique dans le logiciel HEC-RAS, nous avons pu simuler une étendue de crue équivalente à une période de récurrence de 100 ans. Les résultats de cette simulation sont présentés dans les figures 13 et 14.

Les résultats montrent que les crues de crue centennale menacent les constructions situées en bordures de l'oued ouazzi, il s'agit les habitats des trois douar de la commun el henchane, qui sont situés sur la rive gauche de l'oued, aussi les eaux submergent les terres agricole (voir les profils sur les cartes) et débordent sur le pont du RR207(fig14 15 ).



Figure 12:carte des zones inondables établie pour une période de retour de 100 ans



Figure 13: les zones menacant par ouad au periode des cruex .



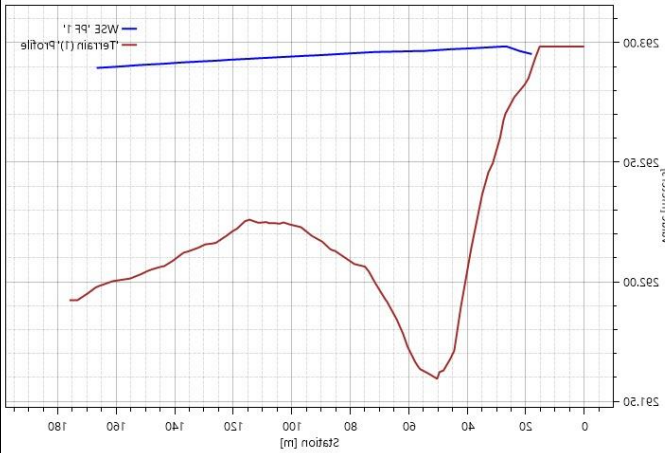
Figure 14: Carte des zones inondables établie pour une période de retour de cent ans superposée à une image Google Earth de la zone d'étude.



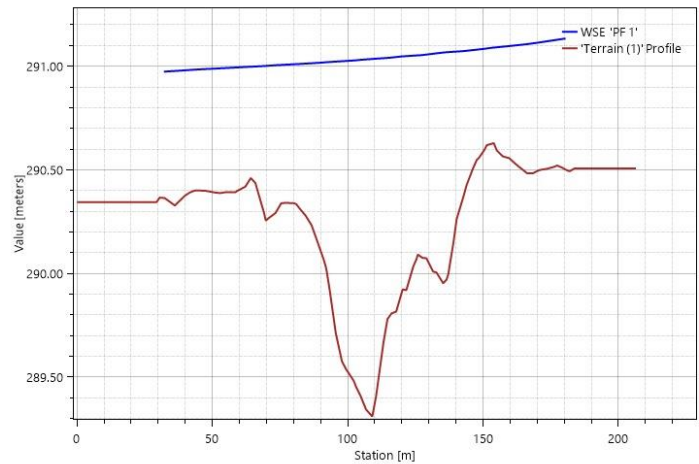
### 3. Interprétations des résultats :

#### 3.1. Les profils en longs :

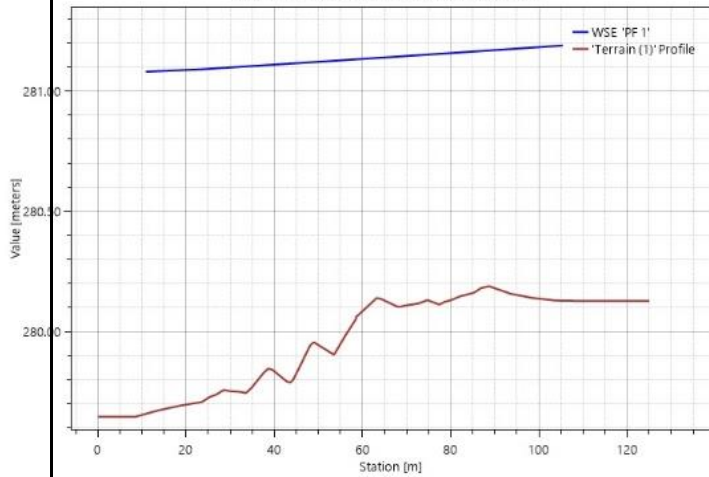
Water Surface Elevation on 'Profile Line: Profile 1'



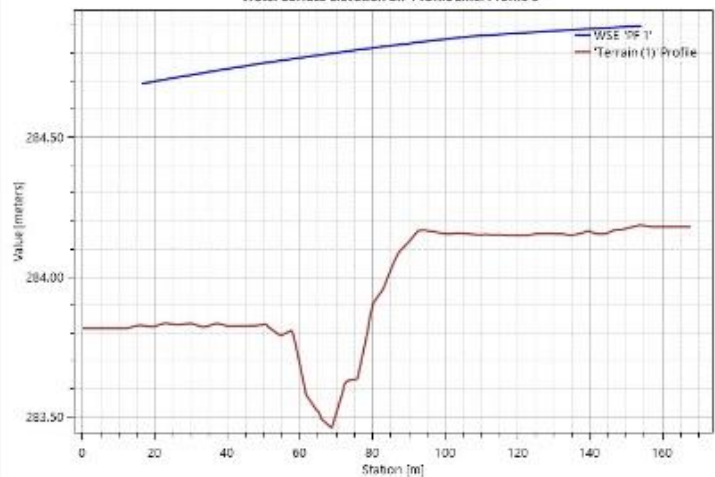
Water Surface Elevation on 'Profile Line: Profile 3'



Water Surface Elevation on 'Profile Line: Profile 7'



Water Surface Elevation on 'Profile Line: Profile 5'



Water Surface Elevation on 'Profile Line: Profile 5'

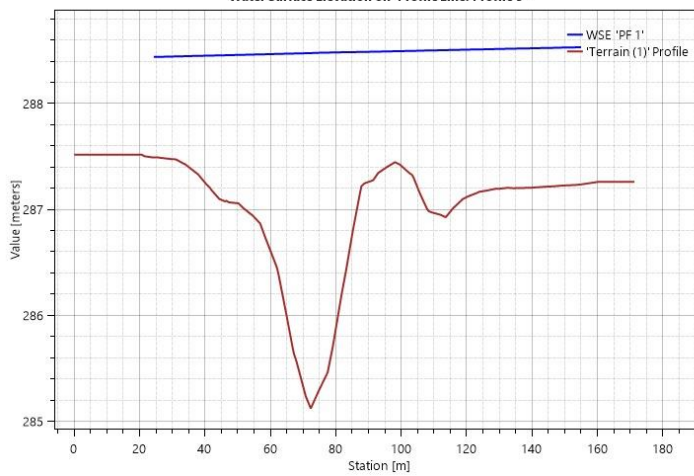


Figure 15: sections illustrant les niveaux d'eau dans chaque profil.

D'après observations de chaque courbe au-dessus (figure 16) , on trouve que le niveau des eaux de crues sur notre zone d'étude dépasse un mètre comme il est montré dans les profils , donc Il faut pris en compte les résultats dans notre proposition de protection .

On doit donc construire des murs de protection de 2 m au long le méandre et surtout sur les parties convexe pour éviter l'érosion des végétations et les maisons(figure 17) .



Figure 16: carte des zones inondable avec des exemples d'emplacements des murs.



#### 4.PLAN DE PROTECTION:

Pour réduire l'impact des inondations au niveau des zones menacées par les inondations de l'oued ouazzi, on propose les constructions des murs pour la protection (figure 18), on base sur plusieurs critères.

Les digues en gabion sont des digues déformables, résistantes et moins chère avec un prix de 400dh le m<sup>3</sup>, d'où leur utilisation dans le cas de notre projet Les gabions peuvent être utilisés pour plusieurs types d'ouvrages, ou ils combinent les Fonctions de protection contre l'érosion et le soutènement.

Ces ouvrages peuvent être soit:

- Ouvrages de soutènement,
- Protection anti-affouillement,
- Revêtement des canaux,
- Barrages mobiles
- Revêtements qui équipent les berges de rivières,
- Protection des lits de rivière contre l'érosion.

Dans le cas de notre projet, les gabions seront utilisés comme ouvrages de soutènement pour protéger d'une part contre l'affouillement, d'autre part contre

l'érosion des berges et des lits de l'Oued ouazzi, et enfin contre l'inondation de ce dernier.

Le choix de grillage qui va adapter et aussi important, c'est pour ça on propose un grillage à double torsion puisqu' il permet aux ouvrages finis de se déformer de manière significative sans se rompre et sans se « détricoter » si un fil est coupé (figure19) avec une résistance à la corrosion du grillage et des fils métalliques.



Figure 17: des exemples des murs de soutènement contre les inondations.

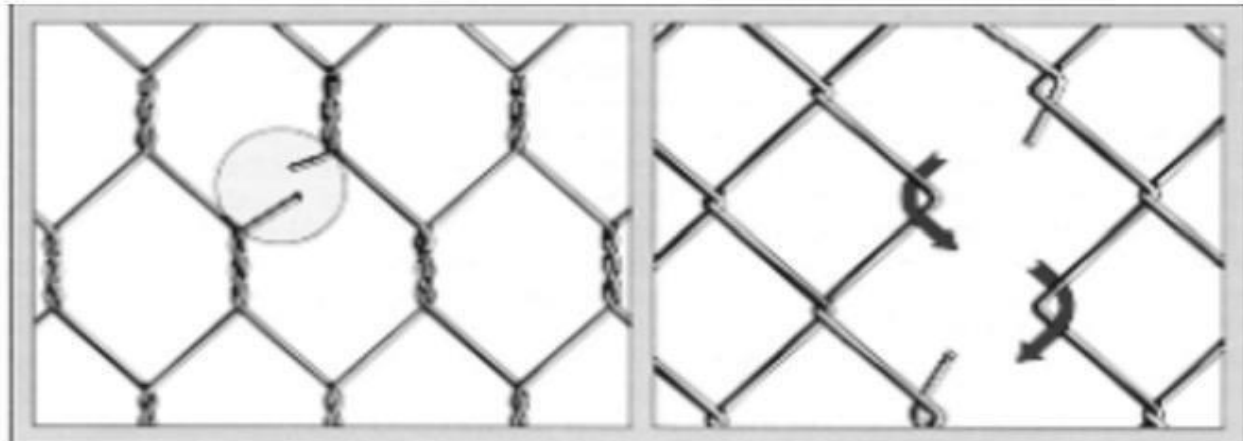


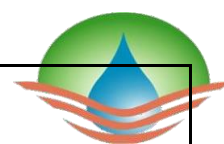
Figure 18: exemple de grillage à double torsion et leur avantage.

S' il y a une manque de gabion , on peut utilisé une autre solution c'est le canal trapézoïdal en béton (Figure 20) ,un canal trapézoïdal en béton est une structure de drainage utilisée pour nettoyer, transporter et éliminer l'eau de surface. Il est couramment utilisé dans les systèmes de drainage .

La forme trapézoïdale du canal permet une meilleure efficacité hydraulique par rapport à une section rectangulaire ( un écoulement plus efficace de l'eau), car elle réduit la turbulence de l'écoulement et permet une meilleure capacité de transport ; Cela permet de minimiser les risques d'inondation et de congestion dans les zones urbaines. Le béton est un matériau couramment utilisé pour construire ces canaux en raison de sa résistance, de sa durabilité et de sa capacité à résister aux contraintes mécaniques.



Figure 19: exemple de canal trapézoïdal en béton.



## Conclusion général :

---

La présente étude hydrologique concerne oued Ouazzi qui draine bassin versant de Telt el Henchane, situées au bassin Tensift dans la région d'Essaouira. Elle a été menée dans le cadre de notre projet de fin d'études passé au sein de l'agence du bassin hydraulique de Tensift. Cette étude cible une zone qui souffre des débordements récurrents des eaux collectées par Ouazzi.

Elle vise à délimiter les périmètres à risque d'inondation au sein de cette zone.

La première étape du travail a concerné le traitement des données relative au relief topographique de la zone d'étude à l'aide d'arc-gis qui a permis d'extraire l'ensemble des caractéristiques physiques nécessaires au calcul des temps de concentration par différentes méthodes. Ce dernier constitue un paramètre hydrologique très important pour l'estimation du débit de pointe.

La seconde étape a porté sur l'estimation des débits de pointe de notre bassin versant étudié, pour plusieurs périodes de retour, en utilisant différentes méthodes. Les valeurs retenues sont celles de la méthode d'ajustement statistique qui est la plus précise au nos données des pluies portées par station Igrounzar.

Par ailleurs, la modélisation hydraulique réalisée à l'aide du logiciel hec-ras a permis de simuler la remontée des eaux de la crue centennale et de délimiter les zones inondables concernées par les débordements de ces eaux à l'échelle de la zone d'étude. Les cartes obtenues montrent que ces débordements menacent des constructions situées en bordure de l'oued ainsi que des zones agricoles localisée en rive gauche de celles-ci.

Pour faire face à cette situation, nous proposons un aménagement hydraulique qui consiste à construire un mur de protection en gabions au long du convexité de notre oued.

## Bibliographie :

- Etude de protection des douars de la commune de tlet al hanchane contre les inondations province d'Essaouira, marché n° 43/2015/abht, agence du bassin hydraulique de tensift.
- Hydrologie opérationnelle ,2éme année filières ihe-ive et météo , département hydraulique , environnement et climat ,école hassania des travaux publics . Page : 21, 22 .
- Saraane asmaa, ben yahia roukaya. 2018 etude hydrologique du bassin versant du tensift et recherche des solutions pour réduire les effets néfastes des crues extrêmes. marrakech, (maroc)  
projet de fin d'etude, licence ssc. tech. ee, fst marrakech 2018, page : 30, 31 ,32, 34, 38
- Ayoub elhaddaj ; 2019 etude de protection contre les inondations au niveau du douar lalla aariba, commune de nfifa, province de chichaoua (Maroc) projet de fin d'etude, licence ssc. tech. ee, fst marrakech 2019.
- Apport des logiciel desig dans la morphométrie des bassin versants léexemple d'arcgis , mohamed el mehdi saidi .  
earthexplorer (usgs.gov)  
<https://geograchid.blogspot.com/2016/05/fichier-kml-telecharger-mnt-dem-maroc.htm>
- www.saidi.ma
- Ajraoui :etudes de conception des aménagements de l'oued chouf cherg pour la protection contre les inondations de la ville de missour 2015-2016. page : 81 ,83

## Annexe :

Tableau Annexe 1 :

	EL HANCHANE
Cordonnées en degrés décimale	Latitude :31.5270 Longitude :-9.4253
Cordonnées en degrés minutes secondes	31°31'37.5'' au Nord 9°25'31.3'' au ouest
Altitude	319m

Tableau Annexe 2 :

Province	Commune	Douars
Essaouira	El Hanchane	Ait Labrouk
		Ait Labyed
		Bir Sour

Tableau Annexe 3 :

Année	P max j (mm)	Qmax(m3/s)
1977-78	39,6	11.5
1978-79	33.3	16.8
1979-80	67.2	8.1
1980-81	42.4	25
1981-82	93.9	10.6
1982-83	34.2	2.32
1983-84	45.0	7.95
1984-85	49.5	106.4
1985-86	37.6	6.5
1986-87	20.6	3.62
1987-88	61.1	43.3
1988-89	164.7	43.8
1989-90	56.6	2.04
1990-91	61.1	24.62
1991-92	57.0	4.74
1992-93	24.0	1.36
1993-94	31.0	2.6
1994-95	28.5	6.97
1995-96	65.7	122.11
1996-97	89.5	50
1997-98	73.2	19.6
1998-99	31.2	1.92
1999-00	25.3	53.8
2000-01	37.4	10.33
2001-02	28.1	53.8
2002-03	43.5	3.45
2003-04	37.7	2.74
2004-05	160	1.07
2005-06	31.6	10.22
2006-07	25.3	2.7
2007-08	41.2	5.13
2008-09	56.4	110.3
2009-10	54.5	171.1
2010-11	24.3	
2011-12	45.7	

Tableau Annexe 4:

Valeur de N	Région
80	Plaine
85	Relief accidenté
100	Montagne

Tableau Annexe 5 :

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

Tableau Annexe 6 :

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 Annexe 8:

T	Gumbel	lognormal	Weibull	exponentiel	Normal
2	127	71.2	113	106	153
5	250	259	245	247	272
10	332	509	341	354	335
20	410	890	435	461	386
50	511	1670	556	602	444
100	587	2530	646	708	483

tableau Annexe 9 :

<b>B) Cours d'eau naturels</b>	
1) Propres, rives en ligne droite	0.025
2) Idem 1 avec quelques herbes et pierres	0.030
3) Avec méandres, avec quelques étangs et endroits peu profonds, propres	0.035
4) Idem 3, l'eau à l'étiage, pente et sections plus faibles	0.040
5) Idem 3, avec quelques herbes et pierres	0.033
6) Idem 4, avec pierres	0.045
7) Zones à eau coulant lentement avec herbes ou fosses très profondes	0.050
8) Zones avec beaucoup de mauvaises herbes	0.075



ANNEES	Qi max
1966	71.300
1967	4.500
1968	60.000
1969	13.600
1970	12.700
1971	23.500
1976	7.200
1977	4.510
1978	65.400
1979	56.600
1980	28.300
1981	172.000
1982	144.325
1983	169.656
1984	194.986
1985	220.317
1986	245.648
1987	270.978
1988	296.309
1989	321.639
1990	346.970
1991	372.300
1992	397.631
1993	422.962
1994	448.292
1995	167.300
1996	263.000
1997	175.300
1998	65.600
1999	3.980
2000	23.700
2001	29.820
2002	255.190
2003	11.310