

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**



Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique

**MEMOIRE**

**Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER**

**FILIERE : Hydraulique**

**OPTION : Hydraulique urbaine**

**THEME**

**Examen du risque d'inondation due aux  
eaux pluviales de la ville de Sidi Aissa**

**Présenté par :**

**-Bachiri Aida**

**Dirigé par :**

**- Mr Hasbaia**

**Promotion: 2020 /2021**



# Dédecase



Je dédie ce travail :

A ma famille, elle qui m' a doté d' une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis  
aujourd' hui :

Particulièrement à mon père Bachiri Aissa, la lumière de mes jours, la source de mes efforts  
pour le gout a l' effort qu' il a suscité en moi, de par sa rigueur

A toi mon ange gardien ceci est mon profonde gratitude pour ton amour éternel, que ce  
rapport soi le meilleur cadeau que je puisse t' offrir A, la femme de mon cœur, ma vie et mon  
bonheur maman Khadidja Bachiri que je l' aime trop

A ma grand mère d' amour a ma deuxième mère que je l' apprécie tout ma vie Chebli El  
Hamlaouiya

A vous mes frères Brahim Bachiri et Mouhamed Bachiri, et seif et à mon âme sœur Donia  
Bachiri que je l' adore trop

je le dédi ce travail avec mon amour absolu et ma ptite sœur Sabine et A ma seule amie  
Aimeur chems et à toutes personnes que j' aime et qui m' aiment

A tous mes oncles et mes tantes

A tous ma grande famille

Aussi pour docteur Houdaifa el Aieb pour son soutien est beaucoup des conseils



## REMERCIEMENT

Avant tout,

je remercie DIEU tout puissant miséricordieux  
qui a illuminé mon chemin et qui a donné la volonte, la patience  
et le courage pour réaliser et terminer ce modeste travail du fin d'étude.

Je tiens tout particulièrement

à exprimer ma profonde gratitude à mes parents pour leur  
encouragement, leur soutien et pour les sacrifices qu'ils ont enduré.

Je tiens à remercier vivement mon promoteur

Mr Hasbaia Mahmoud

d'avoir accepté de diriger ce travail et de créer autour

de moi un environnement de recherche par ses conseils et son soutien

permanent et je remercie, aussi mes deux professeurs Mr Djerbouai Salim et Mr Mezali  
Farouk ,ainsi qu'à toute l'équipe de département du

l'hydraulique.

## Sommaire :

Sommaire .....	
List des figures .....	
List des tableaux .....	
Résumé .....	
Introduction générale .....	I
<b>Chapitre I : Généralité sur les inondations</b>	
<b>I.1 Introduction</b> .....	02
<b>I.2 Généralité sur les inondations</b> .....	02
I.2.1 Définition .....	02
I.2.2 Historique des inondations dans le monde .....	02
I.2.3 Etude climatique .....	03
I.2.4 Les paramètres influençant les inondations .....	04
I.2.4.1 Facteurs anthropiques (humaines) .....	04
I.2.4.2 Facteurs naturels (pluie, neige) .....	04
I.2.4.3 La nature et l'occupation de sol .....	05
I.2.5 Les types d'inondation .....	05
I.2.5.1 Les inondations des plaines .....	05
I.2.5.2 Le ruissellement pluvial (rapide) .....	06
I.2.5.3 Les remontées des nappes .....	07
I.2.5.4 La rupture d'une digue .....	07
I.2.5.5 Les crues torrentielles .....	08
<b>I.3 Les inondations en Algérie</b> .....	09
<b>I.4 Risque d'inondation</b> .....	11
I.4.1 Les plans d'exposition aux risques des inondations (PERI) .....	11
I.4.2 Définition du concept du risque .....	11
I.4.2.1 L'aléa .....	13
I.4.3 L'organisation du risque d'inondation .....	13
<b>I.5 Gestion du risque d'inondation</b> .....	14
I.5.1 La réglementation .....	14
I.5.2 La prévision .....	14

I.5.3 L'aménagement du bassin versant .....	14
I.5.3.1 Au niveau des versants .....	14
I.5.3.2 Au niveau du lit .....	15
<b>I.6 Les crues .....</b>	<b>16</b>
I.6.1 Le processus de formation des crues .....	16
I.6.2 La période de retour de crues .....	17
I.6.3 Mesures techniques de protection contre les inondations .....	17
I.6.3.1 Apprécier la situation de danger .....	17
I.6.3.2 Identifier les déficits écologiques et y remédier.....	17
I.6.3.3 Différencier les objectifs de protection.....	18
I.6.3.4 Retenir si possible, évacuer si nécessaire .....	18
I.6.3.5 Limiter les interventions .....	18
I.6.3.6 Examiner les points faibles .....	18
I.6.3.7 Garantir l'entretien .....	18
I.6.3.8 Assurer l'espace nécessaire .....	18
I.6.3.9 Respecter les besoins .....	18
<b>I.7 Conclusion .....</b>	<b>18</b>
<b>Chapitre II : PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE</b>	
<b>II.1 Introduction .....</b>	<b>21</b>
<b>II.2 Présentation de la zone d'étude .....</b>	<b>21</b>
II.2 .1 Situation géographique du sidi Aissa .....	21
II.2 .1 .1le lieu et l'emplacement du domaine d'étude spécifique .....	21
II.2.2 Situation climatique du Sidi Aissa .....	26
II.2.2 .1Température .....	26
II.2.2 .2 Ensoleillement .....	27
II.2.2 .3 Evaporation .....	27
II.2.2 .4 Evapotranspiration .....	28
II.2.2 .5 Vents .....	28
II.2.2.6 Pluviométrie .....	29

II.2.2.6 .1 Pluie moyenne annuelle .....	30
II.2.2.6 .2 Pluies maximales journalières .....	30
<b>II.3 Conclusion .....</b>	<b>31</b>
<b>Chapitre III : ETUDE MORPHOMETRIQUE</b>	
<b>III .1 Introduction .....</b>	<b>33</b>
<b>III.2. Caractéristique géomorphologique de bassin versant</b>	
III.2.1 Définition du bassin versant .....	33
III.2.2 Caractéristiques physiques et leurs influences sur l'écoulement des eaux .	33
III.2.3 Caractéristiques géométriques .....	33
III.2.3.1 Surface et périmètre .....	33
III.2.3.2 les formes .....	34
III.2.3.3 Relief .....	37
<b>III.3 Caractéristiques des altitudes (hypsométrie) .....</b>	<b>37</b>
III.3 .1 Les courbes hypsométriques .....	37
<b>III.4 Altitudes caractéristiques .....</b>	<b>38</b>
III.4.1 Les altitudes maximales et minimales .....	38
III.4.2 L'altitude moyenne .....	39
III.4.3 L'altitude médiane .....	39
III.4.4 La dénivelée utile (simple) .....	39
<b>III.5. Les indice de pente .....</b>	<b>39</b>
III.5 .1 La pente moyenne .....	39
III.5 .2 La pente globale .....	40
III.5 .3 La pente de Roche .....	40
III.5.4 Dénivelée spécifique .....	41
<b>III.6. Caractéristiques hydrographique .....</b>	<b>42</b>
III.6.1 Ordre du cours d'eau (hiérarchisation du réseau).....	42
III.6 .2 Les caractéristiques du chevelu .....	43
III.6 .2 .1 La densité de drainage .....	43
III.6 .2 .2 La densité hydrographique .....	44
III.6.2.3 La pente moyenne du cours d'eau principale .....	44
<b>III.7 Les paramètre en relation avec les écoulements .....</b>	<b>44</b>
III.7.1 Le temps de concentration .....	44

III.7.2 Vitesse de propagation de la crue ( $V_c$ ) .....	45
<b>III .8. Conclusion .....</b>	<b>47</b>
<b>Chapitre IV : Etude hydrologique</b>	
<b>IV.1. Introduction .....</b>	<b>49</b>
<b>IV.2. Analyse des données pluviométriques .....</b>	<b>49</b>
IV.2.1. Précipitation maximales journalières .....	49
IV.2.2. Ajustement des pluies maximales journalières .....	49
IV.2.3. Choix de la loi d'ajustement .....	50
IV.2.3.1. Ajustement suivant la loi de GALTON (Log Normale) .....	51
IV.2.3.2 Ajustement suivant la loi de GUMBEL .....	53
IV.2.3.3. Comparaison entre les deux lois d'ajustement .....	55
<b>IV.3 Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes fréquences</b>	
IV.3.1 Intensité maximales à différentes fréquences .....	56
<b>IV.4. Etude des crues</b>	
IV.4.1. Débits maxims fréquentiels .....	58
IV.4.2.1 Formule de Mallet – Gautier .....	58
IV.4.2. 2Formule de Possenti .....	58
IV.4.2.3 Formule de Sokolovsky .....	59
IV.4.2 Hydrogramme de crue .....	60
<b>IV.5. Conclusion .....</b>	<b>62</b>
<b>Chapitre V : Simulations des crues et la cartographie de l'alea</b>	
<b>V.1 Introduction .....</b>	<b>64</b>
<b>V.2 Les modèles hydrauliques .....</b>	<b>64</b>
V.2.1 Modèles 1D .....	64
V.2.1.1 Equation de continuité (Conservation de la masse) .....	65
V.2.1.2 Conservation de la quantité de mouvement (énergétique) .....	65
V.2.2 Modèles 2D .....	66
VI.2.3 Modèles 3D .....	66
<b>V.3 Description du modèle RubarBE .....</b>	<b>67</b>
<b>V.4 Utilisation du programme SAIRUBE3 .....</b>	<b>68</b>
V.4.1 Saisie du maillage .....	68

V.4.2 Saisie de la géométrie .....	68
V.4.3 Saisie du frottement .....	70
V.4.4 Saisie des données initiales .....	71
V.4.5 Saisie des conditions aux limites .....	71
<b>V.5 Déroulement d'une simulation .....</b>	<b>72</b>
<b>V.6 Les résultats de simulations .....</b>	<b>72</b>
<b>V.7 Topographie d'un cours d'eau .....</b>	<b>73</b>
V.7.1 Le lit mineur .....	73
V.7.2 Lit majeur .....	73
<b>V.8 L'aléa .....</b>	<b>73</b>
<b>V.9 Définitions de la hauteur de débordement Hd .....</b>	<b>73</b>
<b>V.10 Détermination de l'aléa de débordement dans une section .....</b>	<b>74</b>
<b>V.11 La cartographie de l'aléa .....</b>	<b>75</b>
<b>V.12 Conclusion .....</b>	<b>76</b>

## **Chapitre VI : LES MOYENS DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS**

<b>VI.1 Introduction .....</b>	<b>78</b>
<b>VI.2 Barrage écrêteur .....</b>	<b>78</b>
VI.2. 1 Conséquences et effets perturbateurs possibles .....	79
<b>VI.3 Bassin d'Amortissement .....</b>	<b>80</b>
VI.3.1 Principe de fonctionnement d'un bassin d'Amortissement .....	80
VI.3.2 Les avantages et les inconvénients .....	81
VI.3.3 Conditions et domaine d'utilisation .....	82
<b>VI.4 Calibrage .....</b>	<b>82</b>
VI.4.1 Les conséquences d'un calibrage .....	83
VI.4.1.1 Sur les débits de pointe .....	83
VI.4.1.2 Morphologiques pour le profil en long .....	83
VI.4.1.3. Morphologiques pour les berges .....	83
VI.4.2 Les inconvénients du calibrage .....	
<b>VI.5 Conclusion .....</b>	<b>84</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>86</b>
<b>Référence .....</b>	<b>88</b>

## **Table des figures :**

**Figure I.1** Inondation de la Seine en 1910.

**Figure I.2.** Le risque d'inondation dans le monde

**Figure I.3** Les paramètres influençant les inondations.

**Figure I.4** L'inondation de plaine.

**Figure I.5** L'inondation par ruissellement pluvial.

**Figure I.6** L'inondation par la remontée de nappe.

**Figure I.7** L'inondation par la rupture d'une digue.

**Figure I.8** La crue torrentielle

**Figure I .9 .10.11,12** les inondations en algéri

**Figure I.13** Définition du risque d'inondation

**Figure I.14** Courbe d'isorisque. (Dauphine, 2005).

**Figure I.15** Lit mineur.

**Figure I.16** Lit majeur.

**Figure I.17** Lit moyen

---

**Figure II.1.** Situation géographique de la ville du Sidi Aissa

**Figure II.2.** Une troncon d'oued djenane

**Figure II.3.** Queques photos d'oued djenane

**Figure II-4:** Histogramme de la température Source:ONM

**Figure II-5:** Histogramme de l'évaporation en %

**Figure II-06:** Histogramme du Pluie moyenne (mm) en %

**Figure II-07:** la carte de situation des stations pluviométriques et hydrométriques

---

**Figure III.1.** Délimitation du bassin versant d'oued djenane

**Figure III.2** Influence de la forme du bassin versant sur l'écoulement.

**Figure III.3.**Rectangle équivalent du bassin versant d'oued djenane

**Figure III.4** Courbe hypsométrique de sous bassin de l'oued Djenane

**Figure III.5** Réseau hydrographique de Bassin Versant d'Oued djenane

**Figure III.6** Cour d'eau principale du BV d'oued djenane

---

**Figure IV.1.** Représentation des observations sur papier normale

**Figure IV.2.**Représentation graphique de l'ajustement par la loi de log normale

**Figure IV.3.**Représentation graphique de l'ajustement par la loi de Gambel

**Figure IV.4** Courbe Intensité-Durée-Fréquence de sous bassin d'Oued djenane

**Figure IV.5** Courbe Pluie de courte durée fréquentielle de sous bassin d'Oued djenane

**Figure IV.6** Hydrogramme des crues d'oued djenane

---

**Figure V.1** Le schéma de code du RubarBE.

**Figure V.2** Rentrer le nom de l'étude.

**Figure V.3** Liste des choix principaux.

**Figure V.4** Les étapes de saisie de la géométrie.

**Figure V.5** La géométrie d'oued Djenane

**Figure V.6** Les étapes de saisie du frottement.

**Figure V.7** Les conditions limites d'oued Djenane ( $T = 100$  ans).

**Figure V.8** L'hauteur de débordement Hd.

**Figure V.9** L'aléa dans une section.

---

**Figure VI.1** Coupe schématique d'un barrage écrêteur de crues.

**Figure VI.2** Schéma principal barrage écrêteur.

**Figure VI.3** Schéma principal de bassin d'Amortissement.

**Figure VI.4** Principe de fonctionnement de bassin d'Amortissement.

**Figure VI.5** Calibrage et chenalisation d'un cours d'eau.

**Figure VI.6** des sections après le calibrage (0+977m) et (2+679)

## **List des tableaux :**

**Tableau II.1** : Répartition mensuelle de la température **Source:ONM**

**Tableau II.2** : Répartition mensuelle d'ensoleillement **Source : ONM**

**Tableau II.3** : Evaporation moyenne mensuelle **Source : ONM**

**Tableau II.4** : Evapotranspiration mensuelle **Source : ONM**

**Tableau II.05** : la vitesse moyenne mensuelle des vent **Source : ONM**

**Tableau II.06** Les stations pluviométriques au voisinage du site **donne de L'ANRH**

**Tableau II.7** Répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle **donne de L'ANRH**

**Tableau II.8.** Les précipitations maximales journalières (1968-1996) **donne de L'ANRH**

**Tableau III.1.** Les Dimensions du rectangle equivalent

---

**Tableau III.2** Répartition en pourcentage de la surface élémentaire de l'oued djenane.

**III.3.** Temps et vitesses de concentration de BV

**III.4.** Caractéristiques principales du bassin versant d'oued djenane

**Tableau IV.1.** Les précipitations maximales journalières (1968-1996)

**Tableau IV.2.**Caractéristique de la série de donnée avec N = 29Ans

**Tableau IV.3.** Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON

**Tableau IV.4.** Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL

**Tableau IV.5** Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes fréquences de bassin du Oued djenan

**Tableau IV.6** Débits fréquentiels obtenus par la méthode MALLET-GAUTHIER

**Tableau IV.7** Débits fréquentiels obtenus par la méthode de possenti

**Tableau IV.8** Débits fréquentiels obtenus par la méthode de sokolovsky

**Tableau IV.9** Les différents valeurs de  $\gamma$ .

---

**Tableau V.1** Exemple de résultat sous forme texte (oued Djenane).

### Résumé

Les crues et les inondations ont des effets très destructifs, en particulier dans les régions arides et semi-arides comme l'Algérie. Les crues de la ville de Sidi Issa à M'sila (632 km<sup>2</sup>) sont mal connues. A travers cette étude nous avons déterminé les crues fréquentielles (pour des périodes de retour T= (50, 100 et 1000ans) d'oued djenane, Elles sont des crues rapides avec des pics et des durées variables, les crues ainsi déterminées ont été simulées par le code de calcul Rubarbe (développé à l'Irstea de Lyon) pour estimer les débordements dans chaque section et pendant toute la période de la crue. Dans le cadre de cette étude, on s'est limité d'oued djenane le plus grand oued qui tavarce la ville de Sidi Aissa, l'étude des autres oueds ne pose aucun problème particulier. Les débordements calculés ont été utilisées pour délimiter l'alea d'inondation sur une carte de Google Earth , et proposer des solutions.

### Summary :

Floods are a devastating phenomenon for humans and nature, especially in countries characterized by a dry and a semi-arid climate such as Algeria. Floods in the city of Sidi Issa in M'sila (632 km<sup>2</sup>) have not been adequately studied, and there are no accurate estimates for them, in this study, we have determined by a hydrological way the value of the flow and the shape of the potential flood through (100,500,1000) Wad El-Ginan, these flows were simulated by a one-dimensional hydraulic program Rubarbe(1D). Designed by the laboratory Irstea-Lyo, within the framework of this study, we conducted this simulation on the Jinan Valley, the largest valley that crosses the city of Sidi Issa, knowing that expanding the study to other valleys does not pose any additional problem except for the time after obtaining the depth of the water flowing on the banks of the studied valley.

During each flood period, we have identified the flood risk area on the map taken from google earth and suggested solutions

**ملخص**

إن الفيضانات ظاهرة مدمرة للإنسان والطبيعة، خاصة في البلدان المتميزة بمناخ جاف وشبه جاف كالجزائر. فيضانات مدينة سيدي عيسى بالمسيلة ( 632 كم 2) لم تدرس بالشكل الكافي، ولا توجد تقديرات مضبوطة لها. في هذه الدراسة قمنا بطريقة هيدرولوجية بتحديد قيمة التدفق و شكل الفيضان المحتمل خلال (100,500,1000) لواد الجنان, هذه التدفقات تمت محاكاتها بواسطة برنامج هيدروليكي أحادي الأبعاد (Rubarbe(1D المصمم بالمخبر Irstea-Lyo في إطار هذه الدراسة قمنا بإجراء هذه المحاكاة على وادي الجنان اكبر واد يعبر مدينة سيدي عيسى مع العلم ان توسيع الدراسة الي الاودية الاخرى لا يطرح أي مشكل اضافي عدا الوقت بعد الحصول بالدقة على عمق المياه المتدفقة على ضفاف الواد المدروس وخلال كل مدة الفيضان قمنا بتحديد منطقة الخطر المعرضة للفيضان على الخريطة مأخوذة من google Earth واقتراح حلول

# **INTRODUCTION GENERALE**

### **Introduction Générale :**

L'Algérie est l'un des pays confrontés aux phénomènes de crues et d'inondations qui se manifestent de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social.

Les régions des hauts plateaux et du sud algérien, en générale, en connaissant ces derniers années, en relation avec les perturbations climatiques actuels, des changements notables dans le régime hydrologique des oueds de la région, plusieurs inondations générées par des crues éphémères de ces oueds ont causés des dégâts humains et matériels considérables. Aussi la prise en considération de des catastrophes hydro climatiques naturelles a conduit l'état à la programmation d'un grand nombre de projets d'aménagement de protection des centres urbains et économiques contre les inondations.

Dans ce contexte rentre notre mémoire de fin d'étude intitulée « Examen du risque d'inondation due aux eaux pluviales de la ville de Sidi Aissa ».

Ce travail est monté de la façon suivante :

- Le premier chapitre sera consacré à la présentation de l'aspect théorique et la problématique des crues et des inondations, l'exposé de la méthodologie globale d'évaluation du risque et à la présentation d'un inventaire des inondations en Algérie.
- Le second chapitre sera consacré à la présentation de la ville de Sidi Aissa et oued djenane.
- Le troisième sera consacré à l'étude morphométrie de ce oued.
- Le quatrième chapitre sera consacré à l'analyse des précipitations d'oued Djenane et leur ajustement aux lois de probabilité (loi de Galton et loi Gumbel). Et l'étude hydrologique ayant pour objectif de la détermination de bassin versant d'oued djenane, le plus grand oued qui traverse la ville de Sidi Aissa, et les hydrogrammes de crues à différentes périodes de retour et de définir les débits maximal probables correspondants en utilisant les différentes méthodes classiques.
- Dans le cinquième chapitre, on simule les crues fréquentielles (pour les périodes de retour : 50,100, 1000 ans) pour oued djenane par le code de calcul 1D dit (Rubarbe), les résultats ainsi obtenus sont utilisé pour cartographier les limites de débordement (l'aléa de débordement).

Dans ce dernier nous allons une proposition de certaines solutions pour la protection contre ce phénomène

On termine ce travail par une conclusion générale résumant les principaux résultats obtenus.

# **GENERALITE SUR LES INONDATIONS**

## I.1 Introduction

Les inondations sont des catastrophes naturelles qui touchent tout les pays du globe terrestre. Elles sont générées souvent par les débordements des cours d'eau traversant des villes et des agglomérations.

L'étude de ce phénomène est nécessaire pour limiter tous les dégâts et réduire l'impact sur les villes inondées.

Dans ce travail nous contribuons à expliquer quelles sont les caractéristiques et les risques des inondations et quelles sont les mesures pour la protection contre ce phénomène?

## I.2 Généralité sur les inondations

### I.2.1 Définition :

Une inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement sans eau. Le risque d'inondation est la conséquence de deux composantes :

- ✓ L'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement.
- ✓ L'homme qui s'installe dans la zone inondable pour y implanter toutes sortes de constructions, d'équipements et d'activités.

### I.2.2 Historique des inondations dans le monde :

La première mention d'une crue est celle de l'empereur romain Julien l'Apostat durant l'hiver 358/359 et la plus relatée dans la littérature historique est celle du 31 janvier 582 par Grégoire de tours (Renaud, 2006). Les crues les plus importantes de l'histoire de l'Ile-de-France, connues avec suffisamment de certitude, sont celles de 1658 (où la hauteur d'eau a atteint presque 8,96 m au pont d'Austerlitz), et celle de 1740 (h= 8,05m). Cependant, les hauteurs d'eau ne sont observées avec précision que depuis la fin du 19<sup>ème</sup> siècle. Depuis 1910, 12 crues majeures (de plus de 6 m) ont touché l'Ile-de-France et 28 crues ont atteint des hauteurs de plus de 5 m.

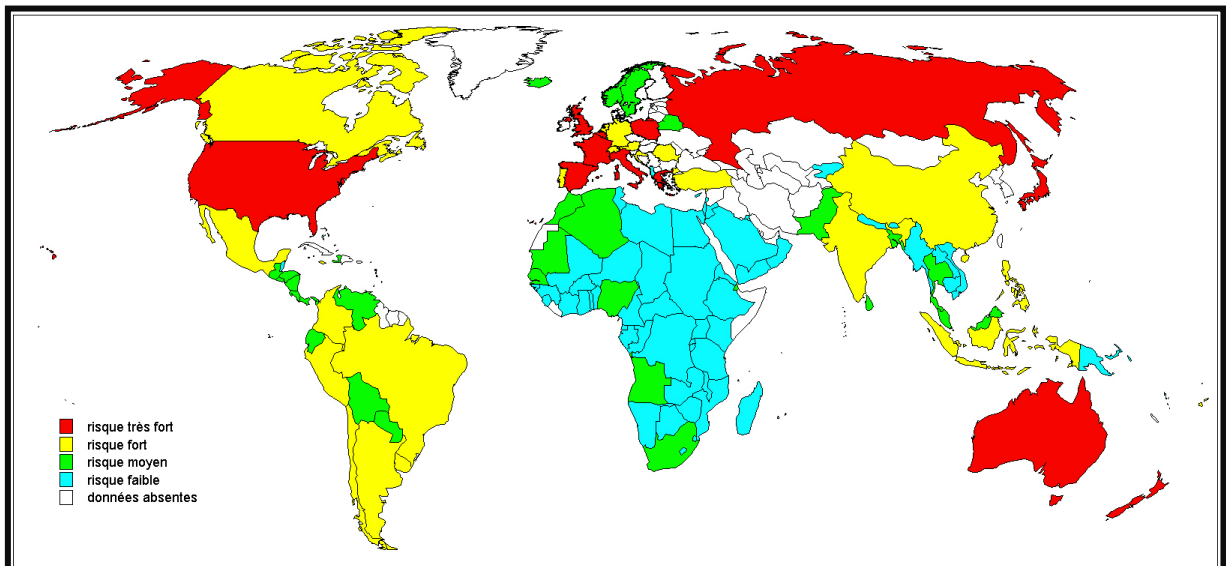


**Figure I.1** Inondation de la Seine en 1910.

D'autres inondations sont enregistrées dans d'autres pays du monde: [1]

- ✓ La crue du Mississippi de 1927 (200 victimes).
- ✓ L'inondation causée par la mer du Nord en 1953 (plus de 1800 victimes).
- ✓ Les inondations de 26 juillet 2010 au Pakistan (1760 victimes) ou de 2011 en Thaïlande (652 victimes).
- ✓ Dix personnes sont mortes en Andalousie et dans la région de Murcie dans les inondations provoquées par des pluies diluviennes (217 litres de précipitations par mètre carré) qui se sont abattues en 28 septembre 2012.

Nous allons vous montrer le risque sur la carte du monde :



**Figure I.2.** Le risque d'inondation dans le monde [source google]

### I.2.3 Etude climatique

Les conditions climatiques jouent un rôle déterminant sur le régime d'un cours d'eau, ce sont les précipitations surtout liquides, qui constituent le facteur essentiel. Elles interviennent par :

- ✓ Leur répartition spatiale.
- ✓ Leur répartition temporelle.

Ces différents aspects des précipitations sont plus ou moins modifiés selon un effet combiné des autres paramètres physiques (altitude et exposition) et climatiques (la température l'évaporation, l'évapotranspiration, les vents et l'humidité); des facteurs qui influent sur l'écoulement et le régime hydrologique du bassin.

### I.2.4 Les paramètres influençant les inondations

#### I.2.4.1 Facteurs anthropiques (humaines) :

✓ **L'urbanisation et l'implantation d'activités dans les zones inondables**

Elles constituent la première cause d'aggravation du phénomène. En parallèle, l'augmentation du niveau de vie et le développement des réseaux d'infrastructures ont accru dans des proportions notables la valeur globale des biens et la fragilité des activités exposées (vulnérabilité).

✓ **La diminution des champs d'expansion des crues**

Consécutives à l'urbanisation et parfois aggravées par l'édification de digues ou de remblais, elle a pour conséquence une réduction de l'effet naturel d'écrêtement des crues.

✓ **L'aménagement parfois hasardeux des cours d'eau**

Beaucoup de rivières ont été modifiées localement sans se soucier des conséquences en amont ou en aval. Ces aménagements (suppression de méandres, endiguement, etc.) peuvent avoir pour conséquences préjudiciables l'accélération des crues en aval et l'altération du milieu naturel.

✓ **L'utilisation ou l'occupation des sols sur les pentes des bassins versants**

Toute modification de l'occupation du sol (déboisement, suppression des haies, pratiques agricoles, imperméabilisation) empêchant le laminage des crues et la pénétration des eaux, favorise une augmentation du ruissellement, un écoulement plus rapide et une concentration des eaux.

#### I.2.4.2 Facteurs naturels (pluie, neige) :

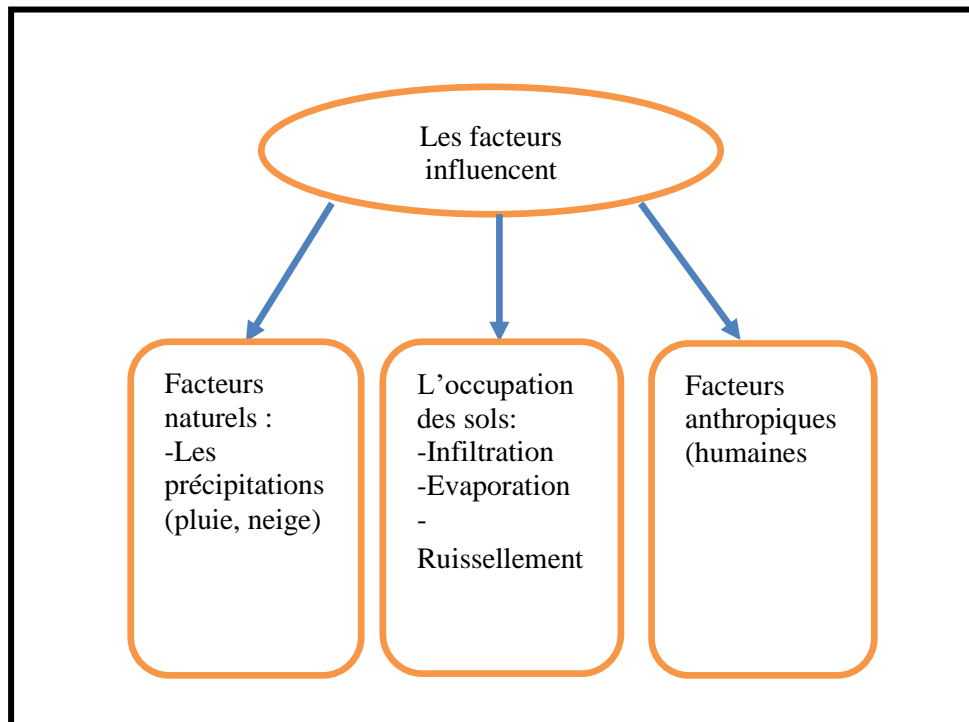
Les causes naturelles liées aux phénomènes météorologiques et au climat. L'eau de pluie ou de la neige est retenue par le sol, absorbée par la végétation ou évaporée, L'excédent formera les eaux de ruissellement qui, en atteignant les cours d'eau sont à l'origine des crues ou des inondations par élévation des lits des rivières.

Les crues se produisent généralement en automne ou en hiver quand la pluie et la fonte des neiges augmentent considérablement la quantité des eaux de ruissellement et aussi lorsque le sol et la végétation ne peuvent pas assimiler toute l'eau de ruissellement et provoquent une élévation du lit du cours d'eau.

Précipitation → crue → inondation

### I.2.4.3 La nature et l'occupation de sol :

La nature et l'occupation du sol dictent l'évaporation et la consommation d'eau par les plantes. L'absorption d'eau par le sol, l'infiltration dans le sous-sol ou le ruissellement influencent fortement le temps de concentration des eaux. Enfin, la topographie du lit, la pente et la forme du bassin versant jouent également le même rôle. Ainsi, pour une même quantité de pluie, une crue apparaîtra ou non.



**Figure I.3** Les paramètres influençant les inondations

### I.2.5 Les types d'inondation :

On distingue plusieurs types d'inondation provoquées par le débordement des cours d'eau et des rivières :

#### I.2.5.1 Les inondations des plaines :

Elles se traduisent par le débordement d'un cours d'eau qui sort de son lit habituel (lit mineur) et regagnant son lit majeur. Ce débordement peut être précédé ou suivi par des remontées de nappes phréatiques. Elles se caractérisent par une montée des eaux longue, peu rapide, et une durée de submersion pouvant atteindre quelques semaines.

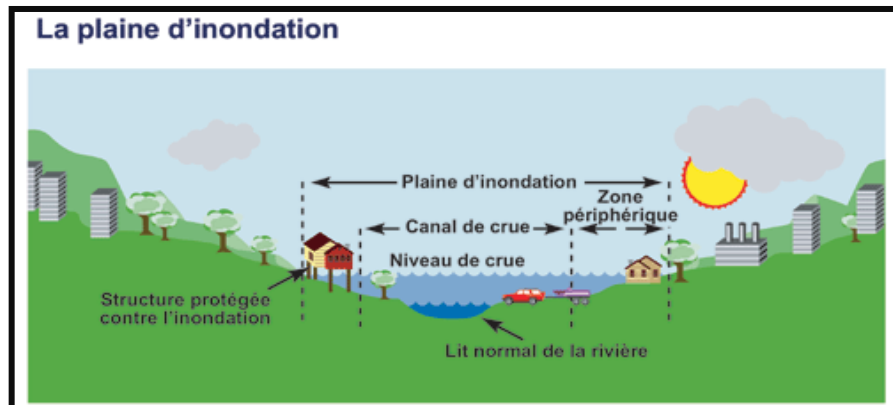


Figure I.4 L'inondation de plaine.

### Les conséquences

- ✓ Une montée des eaux généralement longue.
- ✓ Une durée de submersion pouvant atteindre quelques semaines.
- ✓ Des dommages principalement dus à la durée de submersion et aux hauteurs d'eau.
- ✓ Un délai d'alerte supérieur à la journée.

### I.2.5.2 Le ruissellement pluvial (rapide) :

Elle se manifeste soit en zone urbaine fortement imperméabilisée, soit en milieu rural avec érosions superficielles et réactivation des talwegs habituellement à sec.

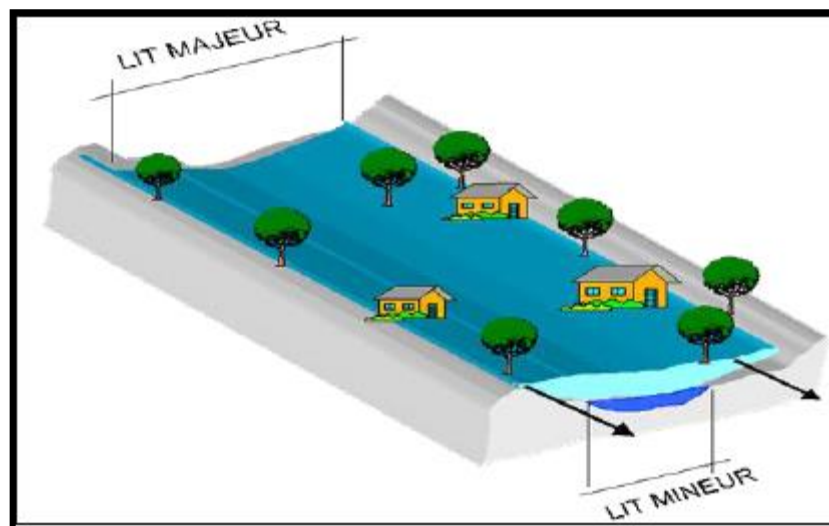


Figure I.5 L'inondation par ruissellement pluvial.

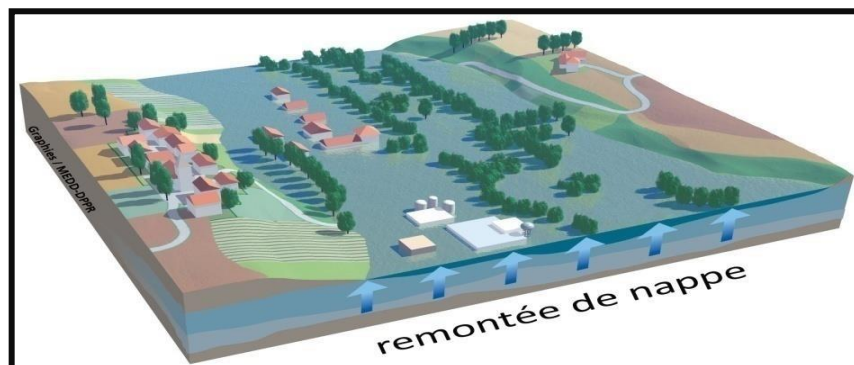
### Les conséquences

- ✓ Une augmentation du pouvoir érosif par l'accélération des eaux causant notamment des effondrements des berges, un surcreusement des lits des cours d'eau, voire leur déconnexion avec le réseau hydrologique.
- ✓ Un transfert rapide des pollutions par lessivage vers le milieu récepteur.

- ✓ Des dommages dus à la violence du courant, à la durée de submersion et à une forte érosion.

### I.2.5.3 Les remontées des nappes :

Elles correspondent à une inondation par débordement indirect. Elles se manifestent par la remontée de la nappe phréatique qui affleure en surface et/ou par l'intrusion d'eau dans les différents réseaux d'assainissement.



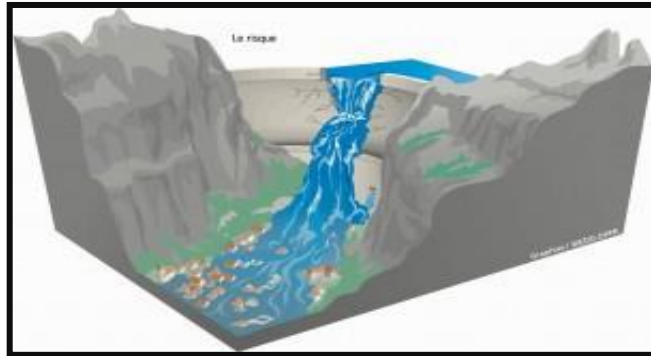
**Figure I.6** L'inondation par la remontée de nappe.

### Les conséquences en milieu urbain :

- ✓ Les venues d'eau.
- ✓ Réduction de la capacité portante des fondations.
- ✓ Sous pression, soulèvement des bâtiments et noyage des sous-sols.
- ✓ Liquéfaction du sol de fondations.
- ✓ Dissolution et fontis.
- ✓ Corrosion des bétons.
- ✓ Dispositions constructives ou confortatives.
- ✓ Pollution chimique liée aux remontées de nappes.

### I.2.5.4 La rupture d'une digue

Qui crée une inondation violente et très brutale.



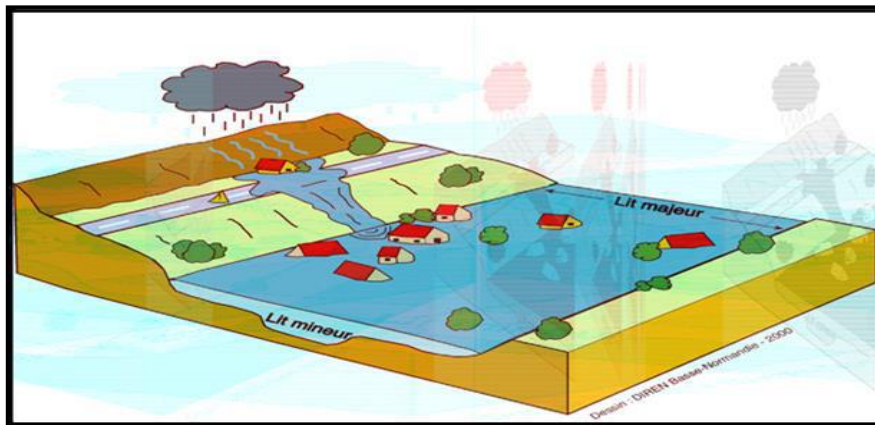
**Figure I.7** L'inondation par la rupture d'une digue.

### Les conséquences

- ✓ Des dégâts matériels irrémédiables.
- ✓ Un coût pour l'économie et la vie locales.

### I.2.5.5 Les crues torrentielles :

Elles résultent de l'accélération du débit d'un cours d'eau suite à de fortes précipitations. Elles se caractérisent par une montée rapide des eaux, une vitesse d'écoulement très élevée et une durée de submersion très courte. Ces crues demeurent, exceptionnelles et constituent un grave danger pour les populations (Boubchir, 2007).



**Figure I.8** La crue torrentielle.

### Les conséquences

- ✓ Des éléments solides charriés par les eaux.
- ✓ Une montée des eaux rapide (débit et vitesse importants).
- ✓ Des durées de submersion courtes.

### I.3 Les inondations en Algérie

Pour illustrer l'ampleur des inondations en Algérie, on cite quelques événements enregistrés depuis les années 20 du dernier siècle :

- ✓ **27 novembre 1927** : La plus forte crue dans bassin de la MACTA de l'oued El Hammam (estimé à environ de 5000 m<sup>3</sup>/s) à causer la rupture totale de l'ancien Barrage Fergoug près de Mascara (Belagoune, 2012).
- ✓ **12 octobre 1971**: les fortes pluies orageuses qui se sont abattues sur la localité d'Azzazga (pluie journalière de 183 mm d'eau) causèrent 40 morts et des centaines d'habitations détruites (Yahiaoui, 2012).
- ✓ **28 au 31 mars 1974** : les précipitations exceptionnelles dans la wilaya de Tizi-Ouzou a causé la mort de 52 victimes et la destruction de, 4570 maisons avec 130 villages isolés et plus de 18000 sinistrés. Les dégâts matériels ont été estimés à l'époque à 27 millions de Dinars, 13 ponts et quelques Kilomètres de route ont été emportés par les crues (Belagoune, 2012).
- ✓ **11 novembre 1982** : Des pluies orageuses violentes localisées à Annaba notamment celles enregistrées du 10 au 11/11/1982 soient 167 mm à l'Edough et 160 mm à Seraidi engendrèrent de fortes crues des oueds Bouhdid, Forcha et Aneb (Yahiaoui, 2012).
  
- ✓ **29 août 1984** : Des pluies exceptionnelles dans la wilaya de Batna engendrant des débits de 127.6 m<sup>3</sup>/s à la station d'El Kantara et 102.88 m<sup>3</sup>/s à la station de Djemoura (Boumesseneh, 2007).
- ✓ **9 au 10 novembre 2001** : Les pluies exceptionnelles (plus de 240mm), abattu sur Bouzaréah dans la nuit, provoquées par un orage local ont généré une crue catastrophique, estimée à 730 m<sup>3</sup> /s, sur un bassin versant de 10 km<sup>2</sup>. Cette crue a arraché et emporté avec elle d'énormes quantité de terre (boue), arbres et détritits de toute sorte. La violence meurtrière de cette crue survenue sur Bab El Oued (Alger) à fait presque 1000 morts et importants dégâts matériels (Belagoune, 2012).
- ✓ **Septembre 1994** : les fortes pluies ont provoqué des inondations catastrophiques dans le bassin du Hodna (112 victimes, 300 familles sinistrées) [2].
- ✓ **28 septembre 2000** : Des pluies diluviennes dans la région de Boussaâda ont engendré

## Chapitre I : Généralité sur les inondations

de fortes crues de l'oued Boussaâda causant des dégâts estimés à un mort, un disparu, treize habitations détruites, trente-huit familles évacuées et 193 têtes de bétail emportées par les eaux (Yahiaoui, 2012).

✓ **20 juillet 2010** : Les fortes pluies qui se sont abattues le 20 et 21 juillet sur le nord de la région ont causé plusieurs décès, des inondations et des accidents de la route (sept morts et 50 blessés) [3].



**Figure I.9.** Montrant l'ampleur des dégâts de l'inondation du Bab el Oued 10/11/2001 [source Google]



**Figure I.10.** Montrant l'ampleur des dégâts de l'inondation du Ghardaïa en octobre 2008 [source Google]



**Figure I.11.** Montrant l'ampleur des dégâts de l'inondation du Médéa 04/05/2021 [source Google]



**Figure I.12.** Montrant l'ampleur des dégâts de l'inondation du Chlef 06/03/2021 [source Google]

### I.4 Risque d'inondation

Le risque d'inondation reste aujourd'hui le risque le plus répandu, faisant le plus de victimes et de dégâts (Pottier, 1998). Il contribue pour 58% dans le nombre des victimes des catastrophes naturelles et pour 31% dans le montant des pertes économiques (Berz, 2000).

#### I.4.1 Les plans d'exposition aux risques des inondations (PERI) :

L'un des meilleurs moyens de prévention contre les risques d'inondation est d'éviter d'urbaniser les zones exposées à ce risque. C'est grâce à la loi française n° 82-600 du 13 juillet 1982 (Berthier, 1995) relative à l'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles, que les pays ont mis en oeuvre une politique active de prévention des risques naturels probables actuellement, le PERI est parmi les anciens documents définissant les zones inconstructibles et des zones constructibles sous réserves de respecter certaines prescriptions. Le champ d'action de ces PERI porte nom seulement sur l'urbanisation future, mais aussi sur les constructions existantes (effet rétroactif) c'est un élément innovant par rapport aux autres outils. Sur les plans techniques et réglementaires, l'année 1982 représente donc, une date charnière à partir de laquelle la cartographie des risques, ainsi que les réglementations de contrôle de l'occupation du sol et des constructions deviennent des outils privilégiés de la politique de prévention des inondations (Bravard, 1991).

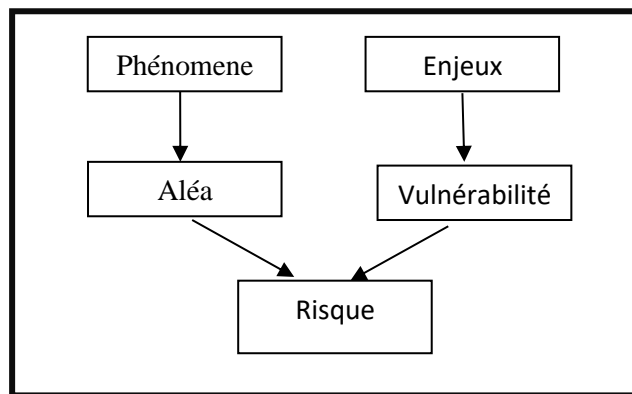
#### I.4.2 Définition du concept du risque

La notion de risque est communément définie comme la combinaison de deux composantes qui sont l'aléa et la vulnérabilité (Gilard et Gendreau, 1998). En effet, d'après

## Chapitre I : Généralité sur les inondations

(Torterotot, 1993) : « Il n'y a pas de risque sans aléa naturel, il n'y en a pas sans élément vulnérable *exposé* ».

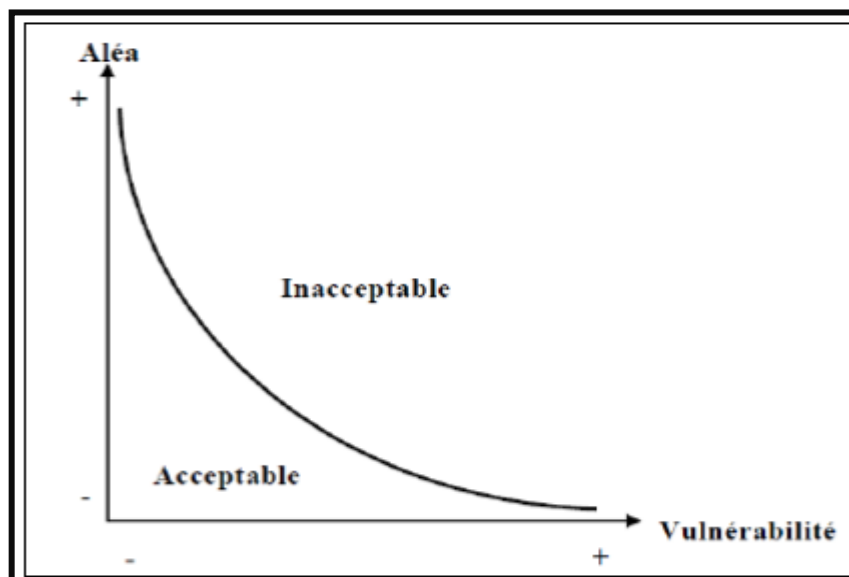
- ✓ L'aléa représente le phénomène naturel au moyen de sa fréquence et de ses descripteurs physiques.
- ✓ La vulnérabilité exprime le niveau d'effet prévisible d'un phénomène naturel sur les enjeux.
- ✓ Les enjeux, quant à eux, représentent les personnes, biens, activités, moyens, patrimoines, etc. susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel (Mate, 1997).



**Figure I.13** Définition du risque d'inondation

(Dauphine, 2005) représentant l'aléa et la vulnérabilité par deux axes dans un espace plan, on obtient des courbes d'isorisque, avec une formule qui dépend le problème analysé.

$$\text{Risque} = F(\text{aléa} * \text{vulnérabilité})$$



**Figure I.14** Courbe d'isorisque. (Dauphine, 2005).

### Analyse de courbe

Zone inacceptable :  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Aléa forte} = f(\text{vulnérabilités faibles}) \\ \text{Ou} \\ \text{Aléa faible} = f(\text{vulnérabilités fortes}) \end{array} \right\}$

Zone acceptable :  $\longrightarrow$  aléa moyenne = f (vulnérabilités moyennes)

✓ Cette courbe représente la limite du produit d'un aléa et d'une vulnérabilité où le risque reste acceptable.

#### I.4.2.1 L'aléa

Est défini comme lié uniquement au phénomène physique considéré, la crue fait l'objet de l'essentiel des travaux en hydrologie et en hydraulique appliqués à la gestion des risques d'inondation. Il dépend du comportement hydrologique du bassin versant et du fonctionnement hydraulique du réseau hydrographique. Il peut être quantifié sur une parcelle (avec une précision plus au moins bonne) grâce aux variables hydrologiques classiquement utilisées qui sont la profondeur d'eau et la durée d'inondation, associée à une période de retour.

La notion de "vitesse" du courant est parfois utilisée comme paramètre complémentaire de caractérisation de l'aléa mais elle est encore assez mal connue. Sa mesure ou sa modélisation pose des problèmes théoriques et pratiques puisque actuellement, seule la vitesse moyenne par section en travers, peu pertinente en termes d'aléa est accessible (Gilard et Gendreau, 1998).

#### I.4.3 L'organisation du risque d'inondation

L'inondation est un phénomène spatial, qui peut s'étendre sur de vastes territoires géographiques, résultant de l'alternance des hautes et basses eaux d'une rivière. De fait, la gestion de ce risque s'organise également de façon cyclique, autour de trois temps principaux: avant, pendant et après. Avant l'inondation, les processus naturels sont abordés de façon rationnelle, dépassionnée et déconnectée des questions d'évaluation financière. Les outils de modélisation, mis au point pendant cette phase, permettent de tester les capacités de réaction des services d'intervention, d'évaluer l'impact des aménagements de protection... C'est avant l'inondation, quand le temps ne constitue pas une contrainte majeure, dont les moyens d'action peuvent et doivent être évalués pour améliorer l'efficacité des décisions. Le temps le plus marquant, à différents chefs, est évidemment l'inondation en elle-même, autrement dit, la catastrophe, où chaque instant et chaque décision comptent car des biens et des personnes sont

en jeu. Une des préoccupations majeures est alors de connaître l'ampleur de l'événement pour permettre le dimensionnement et le déploiement des moyens d'action.

Après l'inondation, le problème principal est de tirer des enseignements et des conclusions, de mesurer l'impact essentiellement en termes financiers et sociaux. Les moyens mis en oeuvre et leurs interventions sont évalués pour améliorer les actions futures (Belloula, 2008).

### **I.5 Gestion du risque d'inondation**

Les inondations du début des années 80 auront eu le mérite de susciter une prise de conscience préalable à l'élaboration d'une politique de prévention des risques naturels dans plusieurs pays, les actions qui s'y réfèrent peuvent être résumées comme suite :

#### **I.5.1 La réglementation**

La réglementation est ancienne, variée, souvent incomplète et parfois mal adoptée, elle devrait systématiquement prendre en compte les actions anthropiques aboutissant à une modification substantielle du relief (travaux d'aplanissement, extraction de gravier et carrière etc...) à l'édification de toute construction en zone inondable. Très souvent la réglementation n'est pas respectée ce qui a amené à des situations très dangereuses (Yahiaoui, 2012).

#### **I.5.2 La prévision**

La prévision des crues est la modélisation des quantités de précipitations, les apports solides ou liquides, reçues dans un bassin hydrographique et de leur effet sur l'écoulement dans les cours d'eau. Les services météorologiques nationaux utilisent des modèles de prévision numérique du temps pour estimer la quantité de pluie ou de neige qui devraient tomber. Mais souvent, ce sont des collectivités territoriales locales qui notent les quantités reçues, le débit des rivières et utilisent les programmes de modélisation des crues pour prévoir les débordements et limiter les dégâts d'inondation aux riverains.

#### **I.5.3 L'aménagement du bassin versant**

Du point de vue de la prévention des crues, l'aménagement du bassin versant apparaît comme fondamental tant au niveau des versants que du lit proprement dit.

##### **I.5.3.1 Au niveau des versants :**

Le reboisement apparaît comme la première solution envisageable pour la protection des versants, car la forêt intercepte la pluie et retarde la fonte des neiges sous son couvert, accroît l'évapotranspiration (en particulier en été ou la transpiration des arbres contribue à l'assèchement des sols et l'abaissement du niveau des nappes phréatiques, au bénéfice de la rétention).

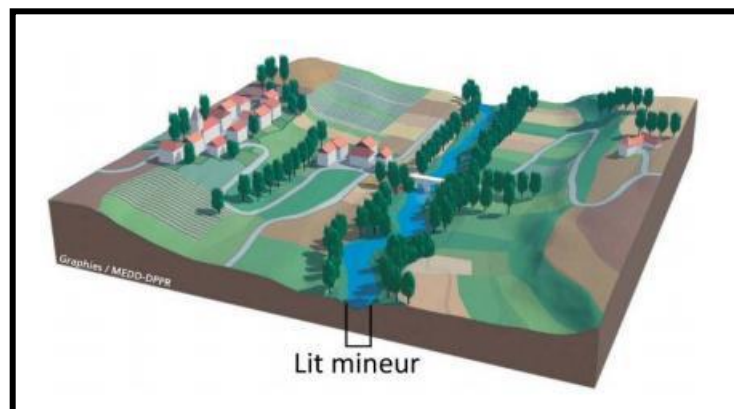
### I.5.3.2 Au niveau du lit :

La correction des lits est souvent la solution proposée par les ingénieurs qui cherchent à accroître la section mouillée en élargissant les lits ou encore à les approfondir par des dérochements ou encore en érigeant des digues, etc...

On distingue trois types de lit :

✓ **Le lit mineur :**

Le lit mineur est constitué par le lit ordinaire du cours d'eau, pour le débit d'étiage ou pour les crues fréquentes (crues annuelles).



**Figure I.15** Lit mineur.

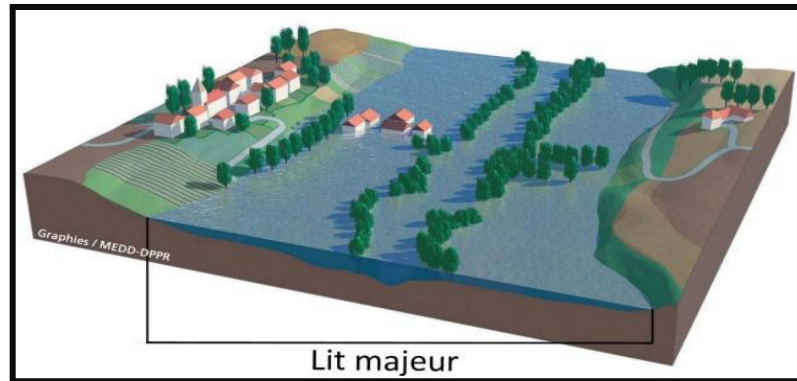
✓ **Le lit majeur**

Le lit majeur comprend les zones basses situées de part et d'autre du lit mineur, sur une distance qui va de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres. Sa limite est celle des crues exceptionnelles.

On distingue deux types de zones :

- Les zones d'écoulement, au voisinage du lit mineur ou des chenaux de crues, où le courant a une forte vitesse.
- Les zones d'expansion de crues ou de stockage des eaux, où la vitesse est faible. Ce stockage est fondamental, car il permet le laminage de la crue, c'est-à-dire la réduction du débit et de la vitesse de montée des eaux à l'aval.

Le lit majeur fait partie intégrante de la rivière. En s'y implantant, on s'installe donc dans la rivière elle-même.



**Figure I.16** Lit majeur.

### ✓ Le lit moyen

Sous certains climats, et pour certains cours d'eau, on peut identifier un lit moyen. Pour les crues de période de retour de 1 à 10 ans, l'inondation submerge les terres bordant la rivière et s'étend dans le lit moyen. Il correspond à l'espace fluvial ordinairement occupé par la ripisylve, sur lequel s'écoulent les crues moyennes.



**Figure I.17** Lit moyen.

## I.6 Les crues

La crue correspond à l'augmentation de la quantité d'eau qui s'écoule dans la rivière (débit) et peut concerner l'ensemble du lit majeur de la rivière. L'importance de l'inondation dépend des trois paramètres de la crue: la hauteur d'eau, la vitesse du courant et la durée de la crue. Ces paramètres sont conditionnés par les précipitations, l'état du bassin versant (aire géographique d'alimentation en eau d'une rivière) et les caractéristiques du cours d'eau (profondeur, largeur de la vallée, etc...). Ces caractéristiques naturelles peuvent être aggravées par la présence d'activités humaines.

### I.6.1 Le processus de formation des crues

Comprendre ce processus de formation des crues revient à analyser les différents facteurs concourant à la formation et à l'augmentation temporaire des débits d'un cours d'eau. En simplifiant, on distingue :

- ✓ **L'eau mobilisable** : constituée de l'eau reçue par le bassin versant.
- ✓ **Le ruissellement** : qui correspond à la part de l'eau qui n'a pu s'infiltrer dans le sol. Il dépend de la nature du sol, de sa pente, de son occupation de surface et de l'intensité de l'épisode pluvieux.
- ✓ **Le temps de concentration** : qui est défini par la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau partant du point le plus éloigné de l'exutoire du bassin versant parvienne jusqu'à celui-ci.
- ✓ **La propagation de l'onde de crue** : qui est fonction de la structure du lit et de la vallée alluviale, notamment de la pente et des caractéristiques du champ d'inondation.

### I.6.2 La période de retour de crues

On associe souvent à la notion de crue la notion de période de retour (crue décennale, centennale, millénaire, etc.) : plus cette période est grande, plus les débits et l'intensité sont importants.

Selon ce paramètre, on distingue:

- ✓ **Les crues fréquentes** : dont la période de retour est comprise entre un et deux ans.
- ✓ **Les crues moyennes** : dont la période de retour est comprise entre dix et vingt ans.
- ✓ **Les crues exceptionnelles** : dont la période de retour est de l'ordre de cent ans.
- ✓ **La crue maximale vraisemblable** : qui occupe l'intégralité du lit majeur.

### I.6.3 Mesures techniques de protection contre les inondations

#### I.6.3.1 Apprécier la situation de danger :

Afin de pouvoir juger des besoins de protection, il faut connaître parfaitement la situation hydrologique, les conditions d'aménagement des cours d'eau et les types de dangers déterminants. Les dangers peuvent être identifiés en consultant la documentation sur les crues (cadastre des événements, carte indicative des dangers). La situation doit être vérifiée périodiquement et prise en compte dans les plans directeurs et les plans d'affectation [4].

#### I.6.3.2 Identifier les déficits écologiques et y remédier :

Une protection durable contre les crues doit veiller à la prospérité de la végétation des rives et laisser suffisamment d'espace pour la diversité structurelle naturelle des milieux naturels, créant ainsi des liaisons entre eux.

### **I.6.3.3 Différencier les objectifs de protection :**

Les biens de grande valeur doivent être mieux protégés que ceux de valeur moindre. Selon ce principe, les terres agricoles et les bâtiments isolés nécessitent moins protection que les agglomérations, les installations industrielles ou les infrastructures.

### **I.6.3.4 Retenir si possible, évacuer si nécessaire :**

Les débits de crue doivent être retardés dans des espaces de rétention afin d'écarter les débits de pointe. C'est pourquoi il faut préserver ou reconstituer des espaces de rétention naturels. Des couloirs d'écoulement seront aménagés là où c'est impossible, par exemple dans les secteurs étroits des agglomérations.

### **I.6.3.5 Limiter les interventions :**

Des sections d'écoulement suffisantes sont impérativement nécessaires pour assurer la protection contre les crues, maintenir l'équilibre du bilan des matériaux charriés et garantir le drainage. Les interventions dans l'espace naturel doivent toutefois rester minimales.

### **I.6.3.6 Examiner les points faibles :**

Le fonctionnement et la résistance des ouvrages de protection lors des catastrophes doivent être vérifiés. Ainsi, les points faibles éventuels peuvent être identifiés et éliminés à temps.

### **I.6.3.7 Garantir l'entretien :**

L'entretien des cours d'eau dans les règles de l'art est une tâche permanente. Il permet de préserver l'intégrité des ouvrages de protection et de maintenir la capacité d'écoulement des cours d'eau.

### **I.6.3.8 Assurer l'espace nécessaire :**

Ils sont tenus de déterminer l'espace nécessaire aux cours d'eau, de l'inscrire dans les plans directeurs et les plans d'affectation et d'en tenir compte dans toutes les autres activités en liaison avec l'aménagement du territoire.

### **I.6.3.9 Respecter les besoins :**

Les besoins de ceux qui recherchent les bords de ruisseaux et de rivières pour se détendre doivent aussi être respectés. En outre, l'utilisation durable des ressources en eau, en particulier l'exploitation de l'énergie hydraulique, doit rester possible.

## **I.7 Conclusion**

À travers cette étude on a conclu que les inondations dépendent de plusieurs facteurs, toutefois la pluie c'est le facteur principal et dominant. En Algérie, la majorité des crues causant des inondations sont dues à des précipitations torrentielles ce qui engendre dans la plupart des cas des dégâts humains et matériels considérables.

Le risque d'inondation est déterminé par les deux facteurs : l'aléa et la vulnérabilité. L'aléa passe par une étude du régime de crue du bassin versant, par contre, la vulnérabilité est déterminée à partir d'une étude socio-économique, elle est représentée par un taux qui traduit l'objectif de protection contre une inondation probable.

L'élaboration des plans et des mesures de protection contre les inondations demeure indispensable et incontournable pour minimiser les dégâts de ce phénomène.

# **PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE**

### II.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à une description générale de la ville de Sidi Aissa et du bassin versant de oued djenane la plus grande oued qui traverse cette ville , afin de donner les indications géographiques, géomorphologiques, géologique et hydrogéologiques, bases indispensables à la compréhension future des mécanismes hydrologiques.

En effet l'altitude, les cours d'eau et la forme d'un bassin versant reliées à la lithologie renseignent sur le type de réponse hydrologique du bassin. Aussi, l'ensemble des principales caractéristiques physiographiques qui jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau, a une forte influence sur la répartition spatiotemporelle des précipitations et des écoulements au sein du bassin étudié.

### II.2 Présentation de la zone d'étude

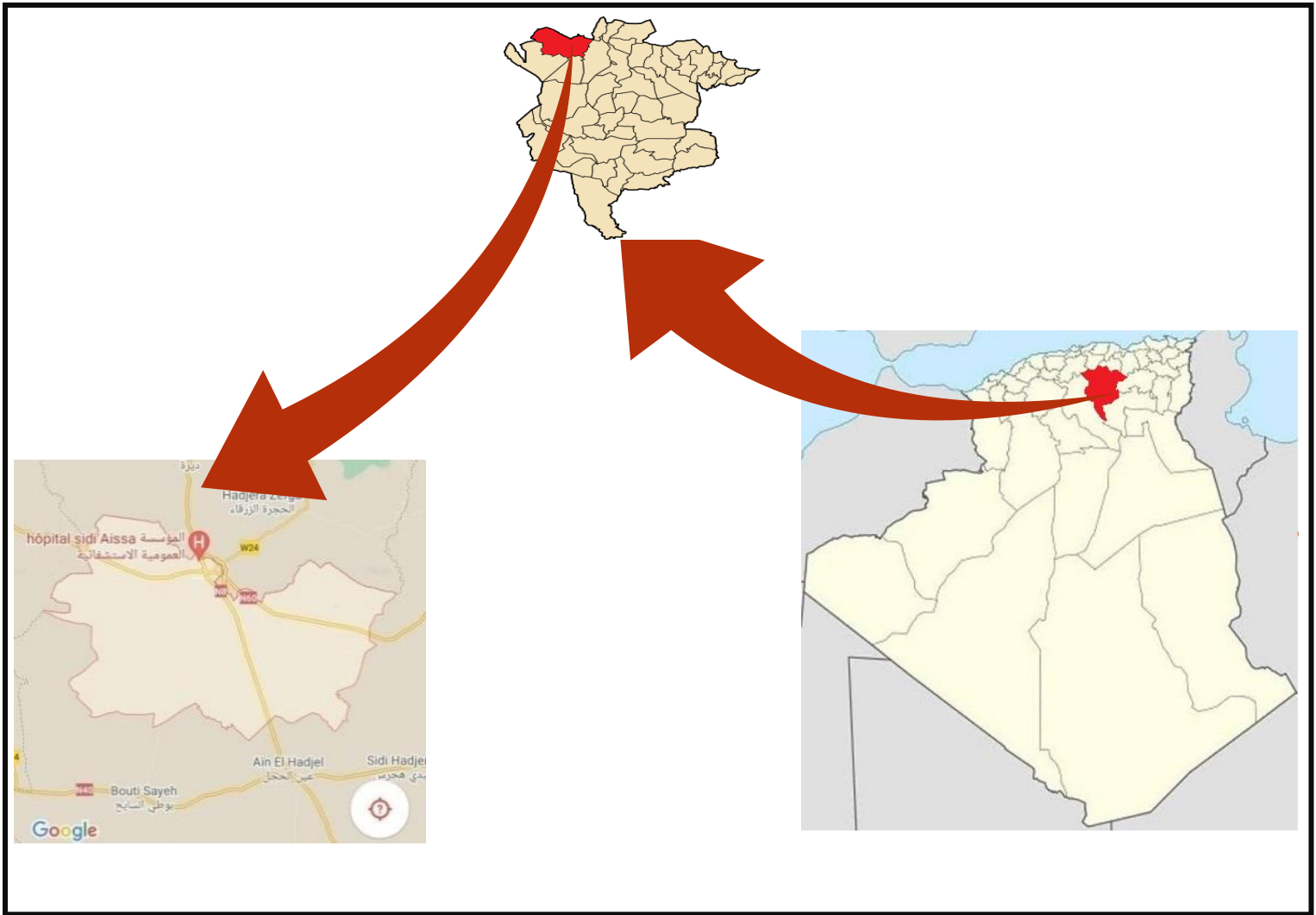
#### II.2 .1 Situation géographique du sidi aissa

##### II.2 .1 .1le lieu et l'emplacement du domaine d'étude spécifié : [5]

le commune de Sidi Aissa dans le nord-ouest du gouvernorat de M'sila , Il est situé à l'extrême ouest de la chaîne de montagnes Hodna et à l'intersection de la route nationale 08 en entrant dans Shatt Al-Hodna et Bassin au nord-ouest, la surface du commune et presque 632 km<sup>2</sup> .

le commune de Sidi Aissa limitée par :

- Au nord: la wilaya de Bouira (la commune de Taqadate, la Chambre Bleue, Deira et Maamoura).
- A l'ouest: la wilaya de Médéa (les communes d'Axir et de Sanqor).
- Au sudcommune d'Ain El Hajal
- Sud-ouest: la commune de Bout Sayeh



**Figure II.1.** Situation géographique de la ville du Sidi Aissa

La ville de Sidi Aissa est située sur une zone semi-plate d'un groupe de collines spéciales dans certaines zones pour une reconstruction future. Elle a des pentes dans des directions différentes selon les petits bassins naturels et la ville alimente les oueds :

- oued Quraini
- oued el-Ham
- oued djenane

nous allons étudier une tronçonne oued djenane de 3500 m dans la ville ,la majeure partie du bassin versant de l'oued djenane et de son affluent ,se trouve au mont de l'atlas , au nord de la plaine de hodna les eaux de oued djenane se jettent à Sidi Aissa qui continuant son cours à travers la plaine de Hodna va à son tour se jeter dans l'oued El Ham ,qui conduit ses eaux au chott et Hodna



Figure II.2. Une tronçon d'oued djenane



**Dans les années 1980 ,un gabion a été construit tout lr longe de l'oued**



**Des bâtiments se trouvent pres de l'oued**



**Les gens jettent des ordures dans l'oued**



**Nous emarquons que la largeur maximale de l'oued est 20 metre**



**A l'entrée de l'oued ,il existe une conduite d'assainissement qui est du à la station d'épuration**



**il ya des transports solides dansle lit de l'oued**



**Pont en acier qui travers l'oued**



**Un grand lotissement se trouve juste à coté de l'oued**

**Figure II.3. Queques photos d'oued djenane**

## II.2.2 .Situation climatique du Sidi Aissa [6]

Les conditions climatiques du bassin jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau. Les facteurs qui déterminent le climat sont :

Précipitation avec sa distribution dans le temps et dans l'espace, l'humidité, la température le vent qui a une influence sur l'évaporation et la transpiration.

Le bassin versant d' Oued Djenane aucune station n'a été localisée pour ces caractéristiques climatiques ont été déterminées sur la base des données au niveau de la station la plus proche de climatologie de climatologie de culture les érigés cellégé car de Sidi Aissa ( site de barrage).

Caractéristiques de la station de référence (M'sila) :

- Altitude 441m
- Latitude : 35°40
- Longitude : 04°30E

Appartenant à la zone méditerranéenne située entre les climats tempérés et tropicaux de la région du Hodna subit une influence relativement importante du climat tropico-équatorial.

Son climat se caractérise par une faible pluviosité répartie avec une grande irrégularité dans le temps. Du point de vue classement climatique, la grande majorité du bassin du Hodna est située entre un climat aride à hiver tempéré et froid.

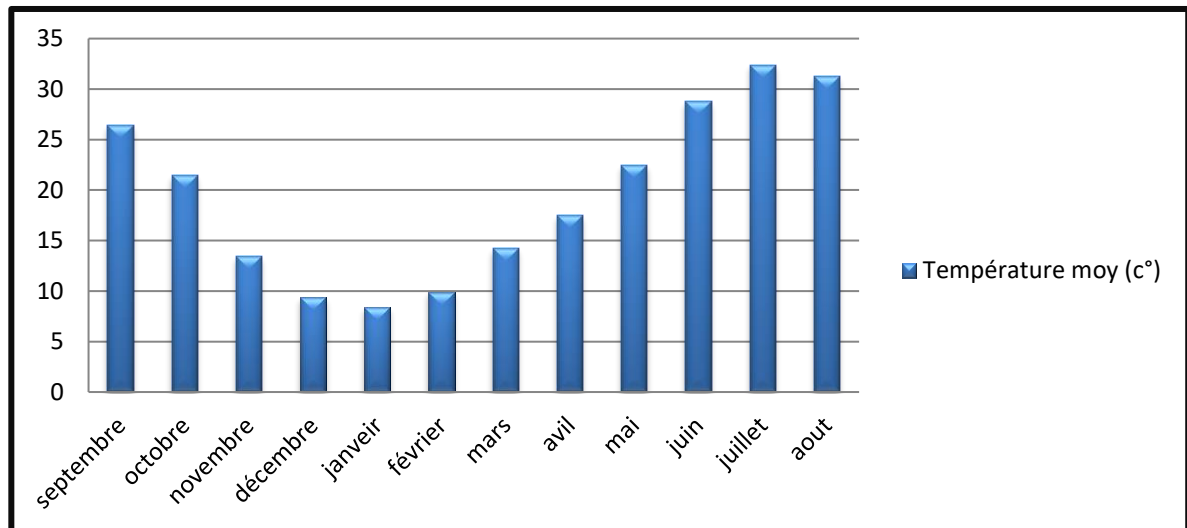
Toute la plaine jusqu'à une altitude ne dépassant pas les 700m, le climat est aride et dans les piémonts (au dessus de 700m en générale)

### II.2.2 .1Température

Le tableau suivant représente la répartition de température dans la Période (2001-2005).

Mois	Jan	Fèv	Ma r	Avr	Mai	Juin	Jui	Ao u	Sep	Oct	Nov	Dec	M.A
T°moy <sub>max</sub>	13,7 8	15, 9	20, 3	23,7 4	29	35,7 2	39,3 8	38	31,6 4	27, 4	18,5 4	14,0 4	25,6 2
T°moy <sub>min</sub>	2,96	3,9	8,1	11,2 8	15,9	21,9	25,3 6	24, 5	21,1 2	15, 4	8,28	4,66	13,6 2
T °moy	8,37	9,9 1	14, 2	17,5 1	22,4 5	28,8 1	32,3 7	31, 2	26,3 8	21, 4	13,4 1	9,35	19,6 2

**Tableau II.1** : Répartition mensuelle de la température **Source:ONM**



**Figure II-4:** Histogramme de la température en (C°)

On remarque que la température diminue pendant les trois mois d'Hiver (Décembre, Janvier, Février) et atteint le minimum de 8,37°C en Janvier elle augmente pendant les trois mois d'été (Juin, Juillet, Août) et atteint le maximum de 32,37°C en Juillet. LA moyenne annuelle est de 19,62°C.

### II.2.2 Ensoleillement

Le tableau suivant nous donne la durée d'ensoleillement durant les mois de l'année avec, dans la période de (2001-2005) la valeur annuelle qui est de l'ordre de 8,15heures/jour

Mois	Jan	Fév	MAR	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	MA
Durée d'ensoleilleme (h/j)	6.22	7.44	7.35	8.75	10.52	11.27	9.95	8.98	8.59	7.64	5.84	5.3	8.15

**Tableau II.2 :** Répartition mensuelle d'ensoleillement **Source : ONM**

Les valeurs les plus importantes de l'insolation sont enregistrées allons du mois de avril au mois de septembre, la valeur la plus élevée est celle du mois de juin (11,27 heures/ jours).

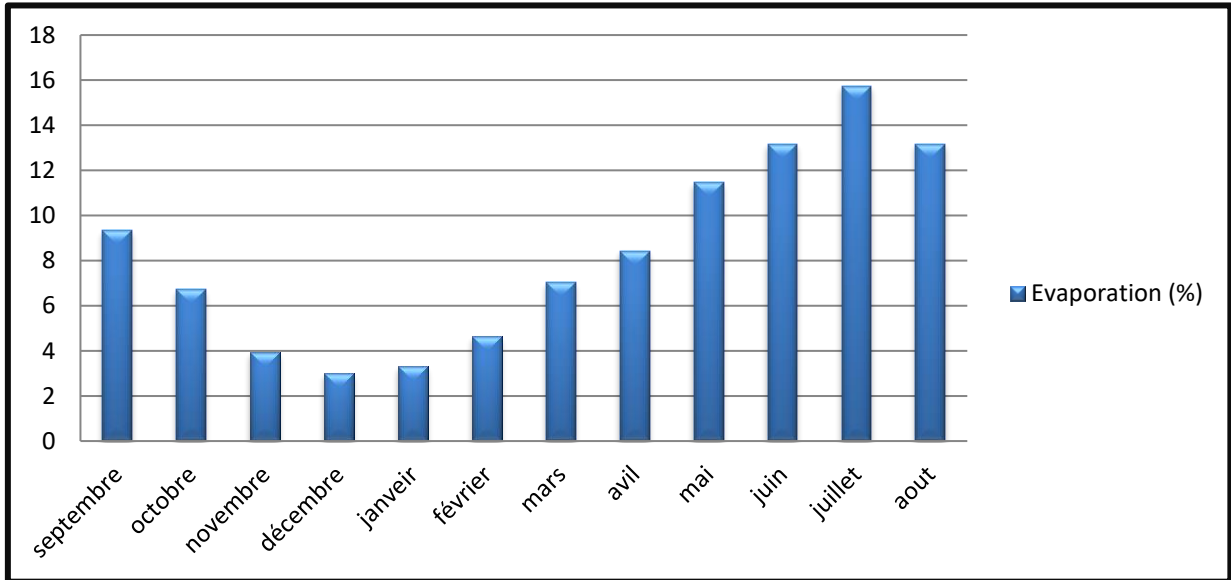
### II.2.2.3 Evaporation

L'évaporation est mesurée à l'aide de l'évaporomètre « **Piche** ». Le tableau suivant représente la répartition de évaporation dans la Période (2001-2005).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	M A
Evaporation (mm)	73.2	103.4	156	187.2	254.6	292.6	349.4	292.6	207.2	149.6	87.4	66.6	2219.8
Evaporation (%)	9.33	6.73	3.93	3	3.3	4.65	7.03	8.43	11.46	13.18	15.74	13.18	9.33

**Tableau II.3 :** Evaporation moyenne mensuelle **Source : ONM**

L'évaporation moyenne annuelle est donc de 2219,8, comme on le remarque dans le tableau suivant: Elle est minimale durant les mois d'hiver (Décembre et Février), alors qu'elle est maximale pour les mois d'été (Juillet et Août). La répartition mensuelle de l'évaporation



**Figure II-5:** Histogramme de l'évaporation en (%)

L'évaporation moyenne est estimée d'après les données recueillies au niveau du barrage de l'oued K'sob qui est équipé d'un Bac Colorado, elle est égale à :Ev = 1900 mm.

#### II.2.2 .4 Evapotranspiration

Le tableau suivant représentée la répartition de l'ETP mensuelle de la ville de Sidi Aissa.

**Tableau II.4 :** Evapotranspiration mensuelle

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	total
ETP(mm)	135	90	58	38	33	38	62	89	124	150	207	193	1216

#### II.2.2 .5 Vents

Le vent est un déplacement d'air approximativement horizontal sauf sous influences topographiques comme dans les montagnes. Sa fréquence et sa direction change au cours de l'année, ce sont des vents généralement modérés à dominance Nord Ouest .En été la région reçoit des vents chauds (Sirocco) soufflant à vitesses variables de moyenne à forts dans l'année avec des maximums en mois de Avril et Mai avec respectivement 5.4et 5.14m/s

Le tableau suivant représente la vitesse moyenne mensuelle et annuelle des vents dans le Période (2001-2005)

**Tableau II.05 :** la vitesse moyenne mensuelle des vent **Source : ONM**

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	MA
Vitesse moy (m/s)	4.12	3.4	4.8	5.4	5.14	4.5	4.5	4.2	4.1	3.64	3.98	4.12	4.32

On remarque que la vitesse moyenne des vents est de 4m/s.

### II.2.2.6 Pluviométrie

Les précipitations regroupent toutes les eaux météoriques recueillies par un bassin versant. Elles se présentent sous la forme liquide (pluie), ou solide (neige, grêle, givre...)

La précipitation étant la source principale de l'approvisionnement de l'oued

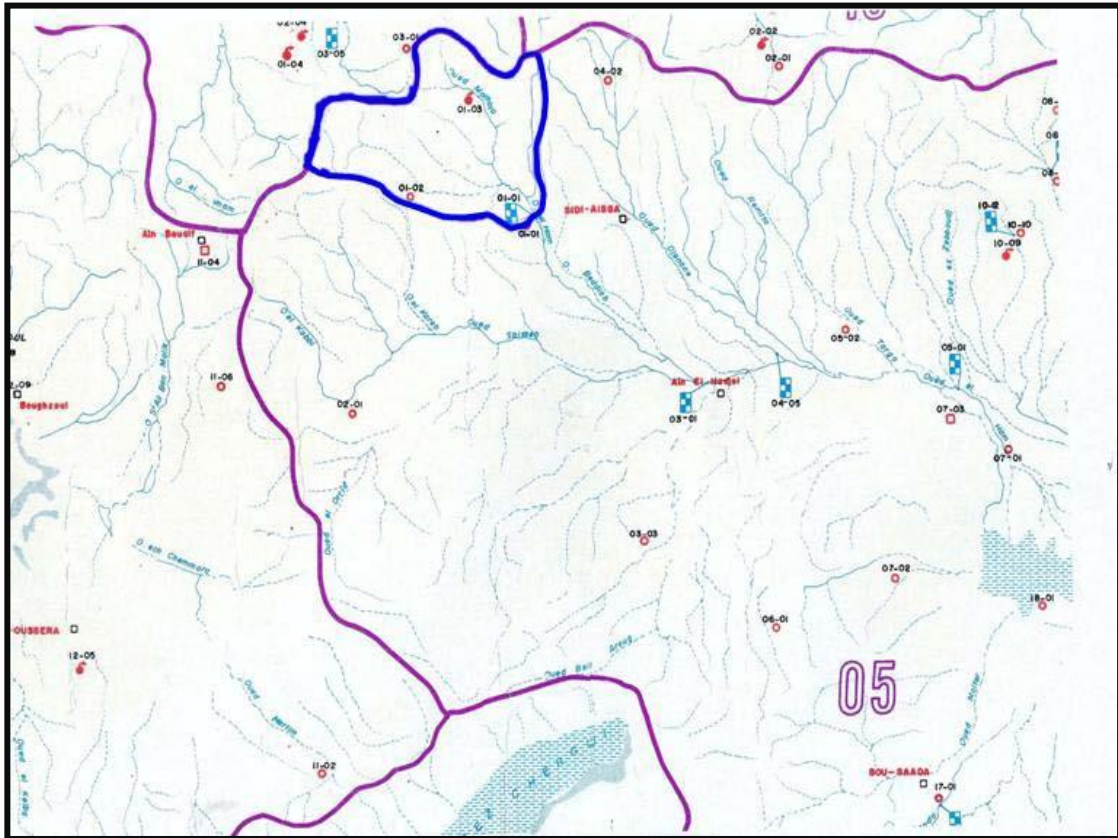
Les précipitations étant la source principale de l'approvisionnement l'oued OULED Djenane, le régime hydrologique dans le bassin est directement lié à ces précipitations essentiellement constituées de pluies. Avant d'évaluer les précipitations sur le bassin versant une retenue nous avons analysé les données disponibles à la station pluviométrique.

La région à la quelle appartient le bassin versant dispose d'un nombre important de station pluviométriques ayant des données sur des périodes relativement longues. La pluie varie avec l'altitude, pour cela, nous avons jugé les donnée d'utiliser cette dépendance pour l'estimation de la pluie moyenne du bassin versant.

Cette méthode a pour avantage d'utiliser l'ensemble de l'information disponible dans la région, pour cela, nous avons utilisé trois (03) stations pluviométriques (voir la figure II-2) dont les caractéristiques sont reportées dans le tableau suivant :

**Tableau II.06** Les stations pluviométriques au voisinage du site [7]

Station	Code	Coordonnées			Longitude
		X (km)	Y (km)	Z (m)	
AIN NSISSA (M'sila)	50101	583,25	290,35	670	3 37 27 E
CHELALAT ADAOURA (Medea)	50102	565,03	293,8	1004	3 25 16 E
SOUK EL DJEMAA (Medea)	50103	576,9	304,08	832	3 33 21 E



Donnée de l'A.N.R.H

Figure II-06: la carte de situation des stations pluviométriques et hydrométriques

### II.2.2.6 .1Pluie moyenne annuelle

A l'intérieur du bassin versant de OULED ABDELOUAHAB il existe une seule station pluviométrique de Ain Nsissa (code N°: 50101)

Les pluies moyennes annuelles sont égales à 271 mm.

$$P_{\text{moyan}} = 271\text{mm} \quad [7]$$

#### Répartition de la pluie moyenne dans l'année

La répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle à la station de Ain Nsissa est la suivante:

Tableau II.7 Répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle **donne de L'ANRH**

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	M A
Pluie moyenne (mm)	19.57	29.55	20.88	27.45	35.41	19.24	28.85	24.91	25.30	24.03	8.25	7.61	271
Pluie moyenne (%)	7.23	10.91	7.71	10.13	13.07	7.10	10.65	9.20	9.34	8.87	3.05	2.81	100

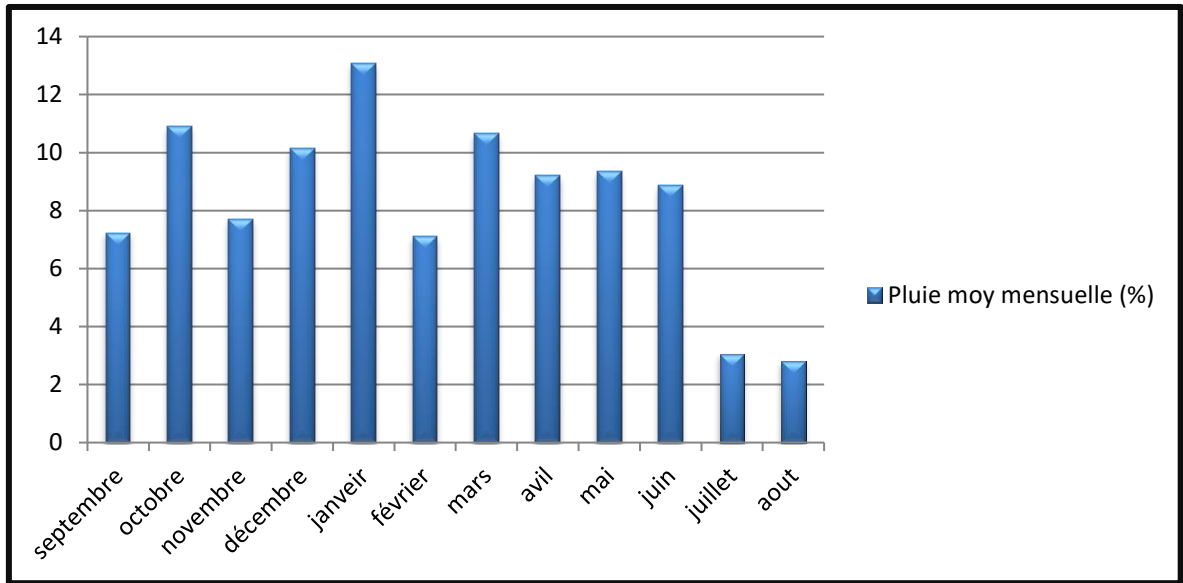


Figure II-07:Histogramme du Pluie moyenne (mm) en %

### II.2.2.6 .2Pluies maximales journalières

Les pluies maximales journalières de rares fréquences sont génératrices de crues exceptionnelles. Nous disposons de la série de la station représentative de AIN Nessissa sur laquelle nous appliquons les lois d'ajustement.

Tableau II.8. Les précipitations maximales journalières (1968-1996) donne de L'ANRH

Année	Pjmax(mm)	Année	Pjmax(mm)	Année	Pjmax(mm)
1968	41.3	1978	33.2	1988	20
1969	26	1979	58.8	1989	53.8
1970	25.8	1980	17.6	1990	17.5
1971	52.5	1981	41.4	1991	26.5
1972	132.6	1982	11.9	1992	21.7
1973	22.5	1983	17.6	1993	16.9
1974	21.8	1984	18.7	1994	36.7
1975	26.4	1985	59.6	1995	33.3
1976	72.5	1986	27.5	1996	22.5
1977	30.1	1987	11.6		

### II.3 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons essayé de représenter la situation géographique de la ville de Sidi Aissa et oued djenane la plus grande oued qui travarse cette ville et Nous avons essayé de mettre en évidence la situation climatique de Sidi Aissa.

# **ETUDE MORPHOMETRIQUE**

### III.1 Introduction

Après la détermination de climat de ce bassin, on précise les facteurs caractéristiques du milieu physique, définie le régime d'écoulement du cours d'eau. On doit étudier sa morphométrie qui présente la qualité du relief et lie aux caractéristiques lithologiques du bassin versant d'oued djenane en amont.

### III.2. Caractéristique géomorphologique de bassin versant

#### III.2.1 Définition du bassin versant

Le bassin versant, unité géographique sur laquelle se fonde l'analyse hydrologique, peut être considéré comme étant un " système hydrologique clos" à l'intérieur duquel aucun écoulement extérieur n'intervient et où tous les apports pluvieux s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire. Le bassin versant ainsi défini correspond à la totalité de la surface topographique drainée par un cours d'eau principal et ses affluents à l'amont de cette section. Il est matérialisé par son exutoire à partir duquel est tracé le point de départ et d'arrivée de la ligne de partage des eaux qui le délimite. Celle-ci correspond généralement à la ligne de crête et caractérise alors le bassin versant topographique.[8] Dans notre cas, le bassin versant ainsi délimité et stylisé correspond au bassin versant réel en raison d'un sol, de perméabilité moyenne qui recouvre le substratum. Par ailleurs, aucun apport latéral artificiel ne modifie la surface drainée circonscrite à l'intérieur du bassin versant.

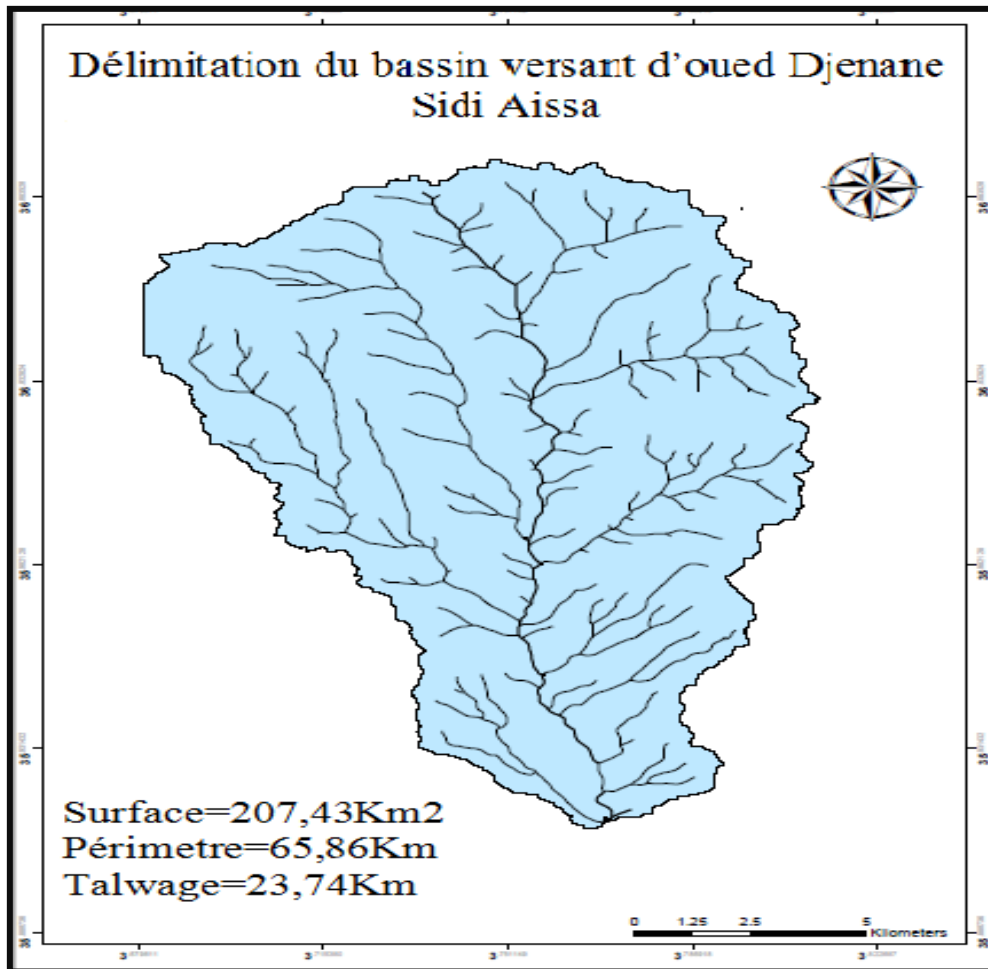
#### III.2.2 Caractéristiques physiques et leurs influences sur l'écoulement des eaux

Les caractéristiques physiographiques du bassin versant influencent largement sa réponse hydrologique. Le temps de concentration  $T_c$  est influencé par diverses caractéristiques morphologiques : la taille du bassin (sa surface), sa forme, son altitude, sa pente et son orientation. A ces facteurs s'ajoutent le type de sol, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique. Ces facteurs, d'ordre purement géométrique ou physique, s'estiment aisément à partir de cartes adéquates.

#### III.2.3 Caractéristiques géométriques :

##### III.2.3.1 Surface et périmètre :

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits vont être en partie reliés à sa surface et à sa forme dépend du périmètre. La surface (**S**) et le périmètre (**P**) du bassin versant ont été déterminées par le module ArcMap.



**Figure III.1.** Délimitation du bassin versant d'oued djenane

### III.2.3.2 les formes :

La forme d'un sous bassins versants influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin versant. Par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants. Ce phénomène est lié à la notion de temps de concentration. En revanche, les bassins en forme plus ramassée, présentant un temps de concentration plus court auront les plus forts débits de pointe. Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser le milieu, l'indice **de compacité de Gravelius (1914)** définit comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$KG = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \approx 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

$KG$  : c'est l'indice de compacité de Gravélius,

$A$  : surface du bassin versant [ $\text{km}^2$ ],

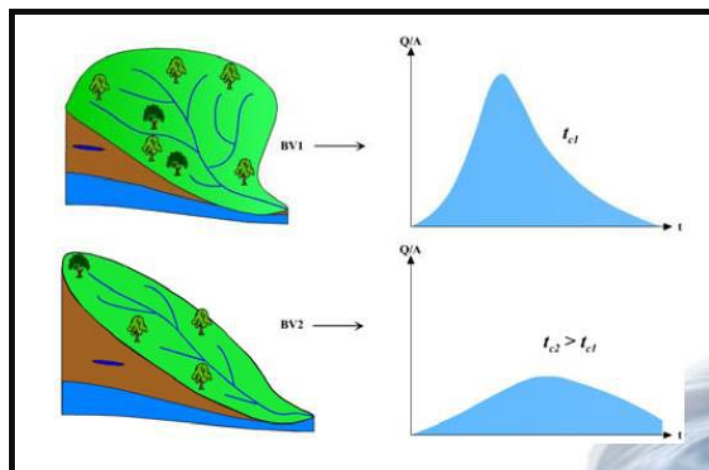
$P$  : étant le périmètre du bassin [ $\text{km}$ ].

$KG = 1$                        $\longrightarrow$       le bassin versant est circulaire.

$KG = 1,12$                     $\longrightarrow$       le bassin versant est un carré.

$KG \approx 1$                        $\longrightarrow$       le bassin versant est arrondi compacte.

$KG$  s'éloigne de 1          $\longrightarrow$       le bassin versant est allongé.



**Figure III.2** Influence de la forme du bassin versant sur l'écoulement.

**La notion de rectangle équivalent,**

Introduite par Roche (1963), résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dans laquelle on conserve la même superficie, le même périmètre (ou le même coefficient de compacité) et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Les courbes de niveau deviennent des droites parallèles aux petits côtés du rectangle. La climatologie, la répartition des sols, la couverture végétale et la densité de drainage restent inchangées entre les courbes de niveau. [9] Si  $L$  et  $l$  représentent respectivement la longueur et la largeur du rectangle équivalent, alors : Le périmètre du rectangle équivalent vaut :  $P = 2 \cdot (L+l)$  ; la surface  $A = L \times l$  ;  $KG$  représente le coefficient de compacité. En combinant ces trois relations, on obtient

✓ La longueur du rectangle équivalent

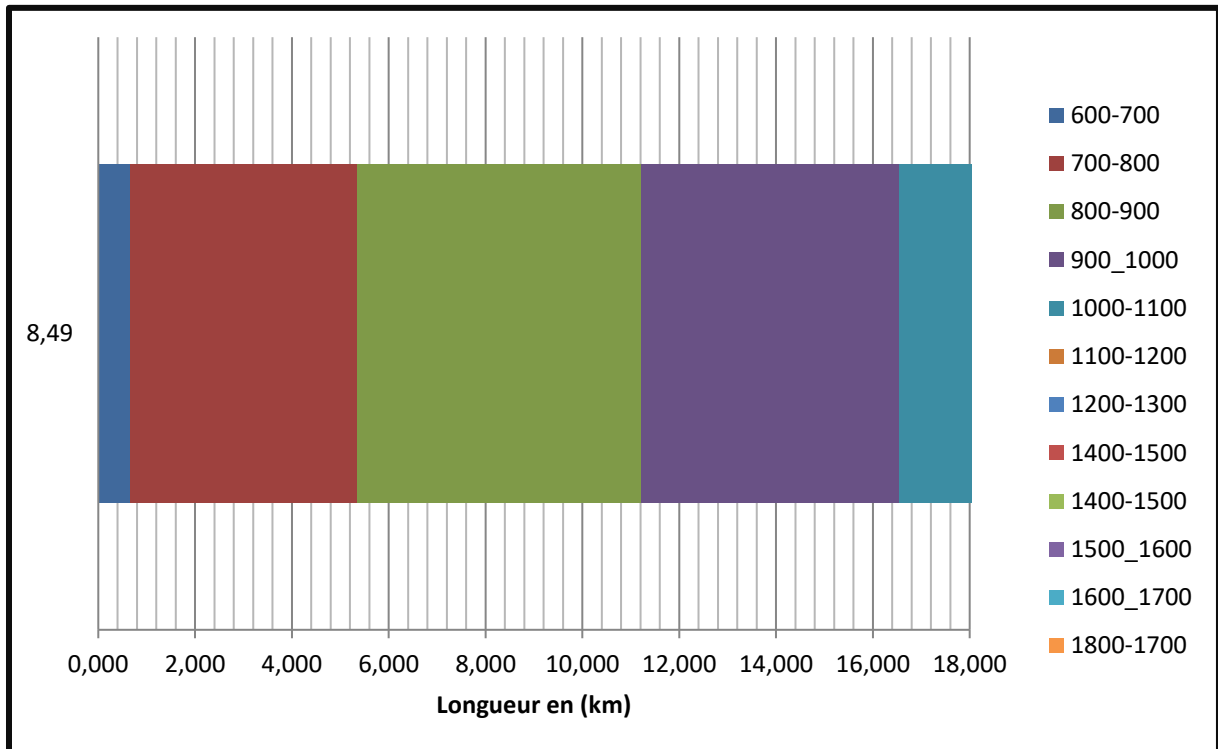
$$L = \frac{KG\sqrt{A}}{1,128} \left( 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{1,128}{KG}\right)^2} \right)$$

✓ La largeur du rectangle équivalent

$$l = \frac{KG\sqrt{A}}{1,128} \left( 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{KG}\right)^2} \right)$$

**Tableau III.1.** Les Dimensions du rectangle équivalent

Altitudes en (m)	Surface partielles (Si) en km <sup>2</sup>	Longueurs partielles (Li) en Km	Largeure (l) en km	Longueur (L) en km
600-700	5,559	0,622	8,94	23,2
700-800	39,831	4,455		
800-900	49,850	5,576		
900_1000	45,103	5,045		
1000-1100	41,551	4,648		
1100-1200	12,689	1,419		
1200-1300	4,627	0,518		
1300-1400	3,013	0,337		
1400-1500	2,692	0,301		
1500_1600	1,504	0,168		
1600_1700	0,944	0,106		
1800-1700	0,070	0,008		



**Figure III.3.**Rectangle équivalent du bassin versant d’oued djenane

### III.2.3.3 Relief

L'influence du relief sur l'écoulement est évidente en raison de nombreux paramètres hydrométéorologiques qui varient avec l'altitude (précipitations, végétation, températures, etc.) et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief se détermine au moyen de caractéristiques suivantes :

## III.3 Caractéristiques des altitudes (hypsométrie)

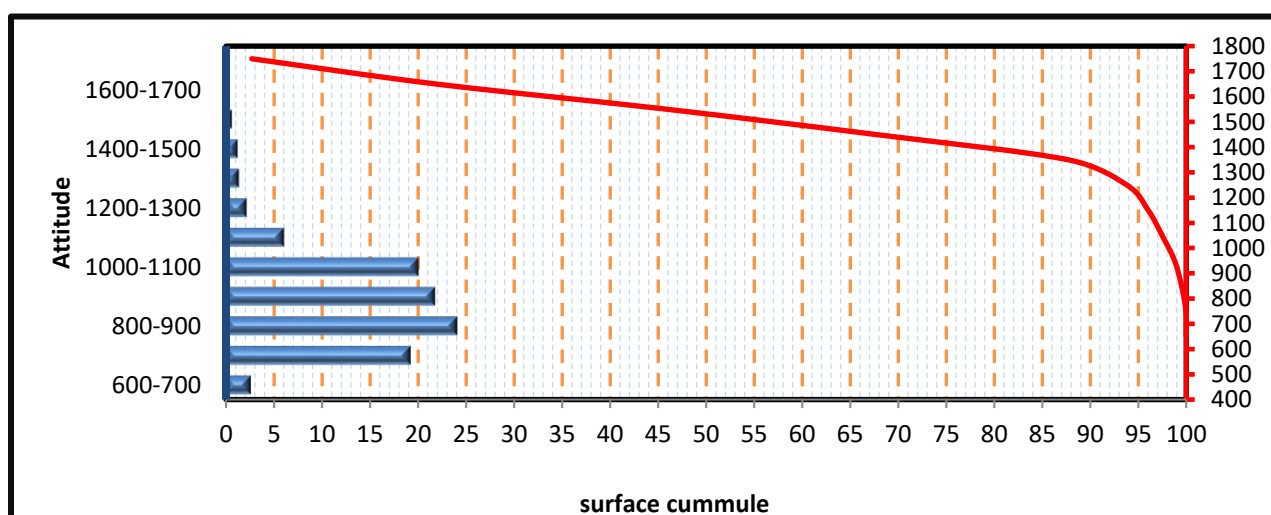
### III.3 .1 Les courbes hypsométriques

La courbe hypsométrique traduit une vue synthétique sur la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle exprime la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude. La courbe hypsométrique sert en particulier à déterminer la pluie moyenne sur un bassin versant et donne des indications quant au comportement hydrologique et hydraulique du bassin et de son système de drainage.[10]

## Chapitre III : Etude Morphométrique

**Tableau III.2** Répartition en pourcentage de la surface élémentaire de l'oued djenane.

les altitudes(m)	hauteur moyen(m)	surfaces partielles km <sup>2</sup>	surfaces accumulées (%)	surfaces accumulées km <sup>2</sup>	surfaces accumulées(%)
600-700	650	5,559	2,68	5,56	100,00
700-800	750	39,831	19,20	45,39	99,97
800-900	850	49,850	24,03	95,24	99,51
900_1000	950	45,103	21,74	140,34	98,79
1000-1100	1050	41,551	20,03	181,89	97,49
1100-1200	1150	12,689	6,12	194,58	96,04
1200-1300	1250	4,627	2,23	199,21	93,81
1300-1400	1350	3,013	1,45	202,22	87,69
1400-1500	1450	2,692	1,30	204,92	67,66
1500_1600	1550	1,504	0,73	206,42	45,91
1600_1700	1650	0,944	0,46	207,36	21,88
1800-1700	1750	0,070	0,03	207,43	2,68



**Figure III.4** Courbe hypsométrique de sous bassin de l'oued Djenane

### III.4 Altitudes caractéristiques

#### III.4.1 Les altitudes maximales et minimales

Elles sont obtenues directement à partir des cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin, tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire. Les valeurs des altitudes maximales et minimales du bassin versant d'oued djenane.

### III.4.2 L'altitude moyenne

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit:

$$H_{\text{moy}} = \sum \frac{A_i \cdot h_i}{A}$$

Avec :

$H_{\text{moy}}$  : altitude moyenne du bassin [m]

$A_i$  : aire comprise entre deux courbes de niveau [km<sup>2</sup>]

$h_i$  : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m]

$A$  : superficie totale du bassin versant [km<sup>2</sup>]

### III.4.3 L'altitude médiane

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière.

### III.4.4 La dénivelée utile (simple)

C'est la différence de cotes entre  $H_{5\%}$  et  $H_{95\%}$ , qui sont déduites de la courbe hypsométrique.

$$D_u = H_{5\%} - H_{95\%}$$

## III.5. Les indice de pente

L'objet de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin ce qui permet sa classification et sa comparaison aux autres sous-bassins.

### III.5.1 La pente moyenne

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle est considérée comme une variable indépendante. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct (donc sur le temps de concentration  $t_c$ ) et influence directement le débit de pointe lors d'une averse.

La méthode proposée par Carlier et Leclerc (1964) consiste à calculer la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires comprises entre deux altitudes données. Une valeur approchée de la pente moyenne est alors donnée par la relation suivante:

$$I = \frac{H_{max} - H_{min}}{\sqrt{A}}$$

Avec :

**H<sub>MAX</sub>** : Altitude maximale observée sur le bassin versant (m).

**H<sub>MIN</sub>** : Altitude minimale observée sur le bassin versant (m).

**A** : Surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

### III.5 .2 La pente globale

Cet indice permet de déduire la nature du relief en se référant à la classification de l'O.R.S.T.O.M (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre - Mer).

Il est défini comme étant le rapport de l'altitude comprise entre 5 % et 95 % de la surface du sous bassin et la longueur du rectangle équivalent. On prend deux points S1 et S2 sur l'axe des

abscisses tels que 95 % de la surface du sous bassin soit comprise entre ces deux valeurs et que 5 % de la surface totale du sous bassin soit inférieure à S1 et 5 % soit supérieure à S2.

Les altitudes correspondantes sont lues sur la courbe hypsométrique. L'indice de pente global est donné par la formule suivante :

$$I_g = \frac{D_{u5-95}}{L} = \frac{H_{5} - H_{95}}{L}$$

Cet indice, très facile à calculer, est des plus utilisés. Il sert de base à une des classifications O.R.S.T.O.M.

- |                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|
| ✓ R1 Relief très faible  | $I_g < 0,002$         |
| ✓ R2 Relief faible       | $0,002 < I_g < 0,005$ |
| ✓ R3 Relief assez faible | $0,005 < I_g < 0,01$  |
| ✓ R4 Relief modéré       | $0,01 < I_g < 0,02$   |
| ✓ R5 Relief assez fort   | $0,02 < I_g < 0,05$   |
| ✓ R6 Relief fort         | $0,05 < I_g < 0,1$    |
| ✓ R7 Relief très fort    | $0,1 < I_g$           |

### III.5 .3 La pente de Roche

C'est un indice un peu artificiel qui rend bien compte de l'influence du facteur pente sur le régime hydrologique du bassin. Il se détermine sur le rectangle équivalent. Si les lignes de niveau sur le rectangle équivalent sont cotées  $a_0$  (exutoire)  $a_1$   $a_2$  ...  $a_{i-1}$ ,  $a_i$  ...  $a_n$ , et la distance entre les courbes  $a_{i-1}$  et  $a_i$  soit  $X_i$  l'indice de pente de Roche est :

$$I_p = \frac{1}{L} \sum x_i \sqrt{\frac{a_i - a_{i-1}}{x_i}}$$

avec

**L** : Longueur du rectangle équivalent (m)

**x<sub>i</sub>** : Distance entre les courbes de niveau **a<sub>i-1</sub>** et **a<sub>i</sub>**(m).

$\sqrt{\frac{a_i - a_{i-1}}{x_i}}$  : est la pente moyenne de l'élément de surface compris entre les courbes de niveau

**a<sub>i-1</sub>** et **a<sub>i</sub>**.

L'indice de pente de roche est donc la somme des racines carrées des pentes moyennes de chacun des éléments, pondérée par la surface correspondante. Si l'on désigne par **β<sub>i</sub>** la fraction de la surface totale du bassin comprise entre les cotes **a<sub>i-1</sub>** et **a<sub>i</sub>** (fraction donnée par la répartition hypsométrique du bassin) on a :

$$I_p = \frac{1}{L} \sum \sqrt{\beta_i (a_i - a_{i-1})}$$

#### III.5.4 Dénivelée spécifique

L'indice de pente global décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente, il était donc difficile de comparer des bassins de tailles différentes. La dénivelée spécifique **D<sub>s</sub>** ne présente pas cet inconvénient. Elle est définie par la formule suivante :

$$D_s = I_g \sqrt{A}$$

Avec :

**I<sub>g</sub>**: Indice de pente globale (m/Km).

**A** : Surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

Elle donne lieu à classification de l'O.R.S.T.O.M., indépendante de surface du bassin

- ✓ **R1 Relief très faible D<sub>s</sub> < 10 m**
- ✓ **R2 Relief faible 10 m < D<sub>s</sub> < 25 m**
- ✓ **R3 Relief assez faible 25 m < D<sub>s</sub> < 50 m**
- ✓ **R4 Relief modéré 50 m < D<sub>s</sub> < 100 m**
- ✓ **R5 Relief assez fort 100 m < D<sub>s</sub> < 250 m**
- ✓ **R6 Relief fort 250 m < D<sub>s</sub> < 500 m**
- ✓ **R7 Relief très fort D<sub>s</sub> > 500 m**

### III.6. Caractéristiques hydrographique

Le réseau hydrographique est constitué de l'ensemble des chenaux (cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires) qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire du bassin versant.

Ce peut caractériser par trois éléments : sa hiérarchisation (ordre du cours d'eau), son développement (nombres et longueurs des cours d'eau) et son profil en long.

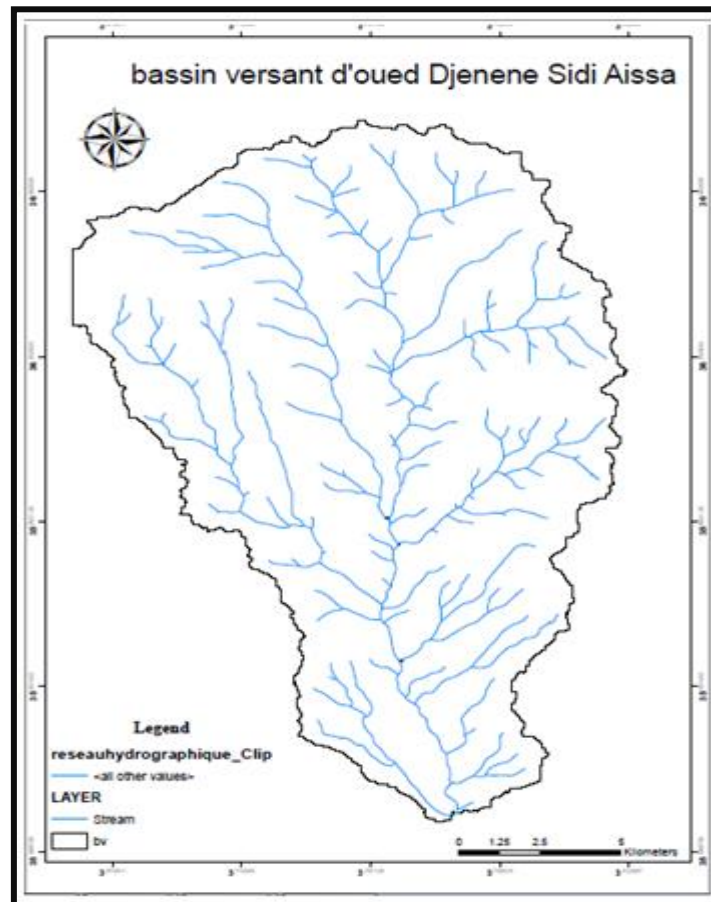


Figure III.5 Réseau hydrographique de Bassin Versant d'Oued djenane

#### III.6.1 Ordre du cours d'eau (hiérarchisation du réseau)

Pour chiffrer la ramification du réseau, chaque cours d'eau reçoit un numéro fonction de son importance. Cette numérotation, appelée ordre du cours d'eau, diffère selon les auteurs.

Parmi toutes ces classifications, nous adopterons celle de Strahler :

- ✓ Tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent est dit d'ordre 1.
- ✓ Au confluent de deux cours d'eau de même ordre  $n$ , le cours d'eau résultant est d'ordre  $n + 1$ .
- ✓ Un cours d'eau recevant un affluent d'ordre inférieur garde son ordre, ce qui se résume par :  $n + n = n + 1$  et  $n + m = \max(n, m)$

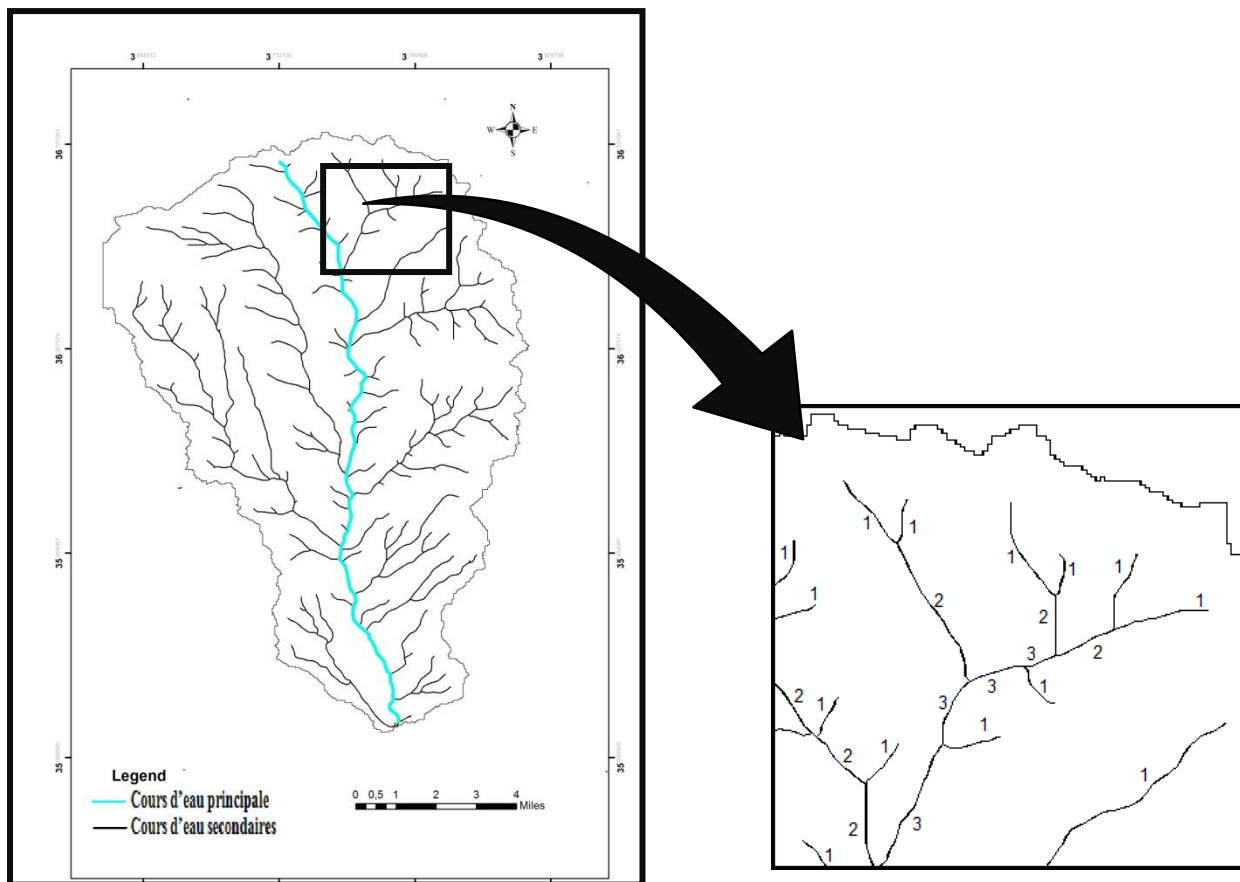


Figure III.6 Cour d'eau principale du BV d'oued djenane

### III.6 .2 Les caractéristiques du chevelu

#### III.6 .2 .1 La densité de drainage

Elle est définie comme le rapport de la longueur totale des cours d'eau permanents et temporaires à la surface totale du bassin.

$$Dd = \frac{\sum Li}{A}$$

Avec :

**Da** : densité de drainage [km/km<sup>2</sup>]

**Li** : longueur de cours d'eau [km]

**A** : surface du bassin versant [km<sup>2</sup>].

### III.6.2.2 La densité hydrographique

La densité hydrographique  $F$  représente le nombre de thalwegs d'écoulement par unité de surface.

$$F = \frac{\sum Ni}{A}$$

$F$ : densité hydrographique [ $\text{km}^{-2}$ ] ;

$Ni$ : nombre de cours d'eau ;

$A$ : superficie du bassin [ $\text{km}^2$ ].

### III.6.2.3 La pente moyenne du cours d'eau principale

La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration. Cette variable influe sur le débit maximal observé, une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel, tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou une partie, dans le sol.

Le calcul des pentes moyennes et partielles de cours d'eau s'effectue à partir du profil longitudinal du cours d'eau principal et de ses affluents. La méthode la plus fréquemment utilisée pour calculer la pente longitudinale du cours d'eau consiste à diviser la valeur de différence d'altitude entre les points extrêmes du profil par la longueur totale du cours d'eau.

$$P_{\text{moy}} = \frac{\Delta H}{L}$$

Avec :

$P_{\text{moy}}$ : pente moyenne du cours d'eau ;

$\Delta H_{\text{max}}$ : dénivellation maximale de l'oued (différence d'altitude entre le point le plus éloigné et l'émissaire) ;

## III.7 Les paramètres en relation avec les écoulements

### III.7.1 Le temps de concentration

Le temps de concentration  $t_c$  des eaux pour un bassin se définit comme la plus grande durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier et est utilisé par certaines méthodes pour déterminer les crues (méthode rationnelle, méthode de l'hydrogramme unitaire),

il est fonction de :

- ✓ Caractéristiques du bassin (surface, forme, relief, couverture, etc...).
- ✓ Etat de saturation du sol (humidité du sol).
- ✓ Précipitations (intensité, durée, volume). d'eau vers l'exutoire.

Le temps de concentration est composé de trois termes différents :

**T<sub>h</sub>** : temps d'humectation c'est le temps nécessaire à l'imbibition du sol par l'eau qui tombe avant qu'elle ne ruisselle.

**T<sub>r</sub>** : temps de ruissellement ou d'écoulement, c'est le temps qui correspond à la durée d'écoulement de l'eau à la surface ou dans les premiers horizons de sol jusqu'à un système de collecte (cours d'eau naturel, collecteur).

**T<sub>a</sub>** : temps d'acheminement c'est le temps mis par l'eau pour se déplacer dans le système de collecte jusqu'à l'exutoire.

Le temps de concentration  $t_c$  est donc égal au maximum de la somme de ces trois termes, soit :  $T_c = \max(\Sigma(T_h + T_r + T_a))$

Théoriquement, on estime que  $t_c$  est la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement. Pratiquement le temps de concentration peut être déduit des mesures sur le terrain ou s'estimer à l'aide de formules le plus souvent empiriques.

✓ **Formule de Giandotti**

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5Lp}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

✓ **Formule ANONYME - R.BOURRIER (2, p55)**

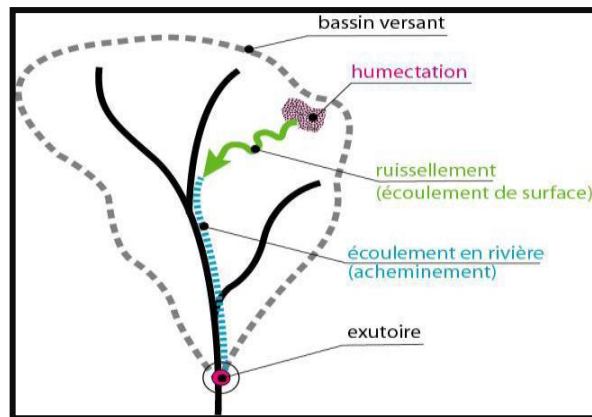
$$T_c = \frac{\sqrt[3]{S * Lp}}{\sqrt{P}}$$

✓ **Formule California**

$$T_c = \left( \frac{0,87 * L^3}{H_{max} - H_{min}} \right)$$

✓ **Formule Anonyme**

$$T_c = \left( \frac{\sqrt{S} * Lp}{\sqrt{I_g}} \right)^{-0,75}$$



**Figure III.7** Le parcours d'une goutte d'eau vers l'exutoire.

### III.7.2 Vitesse de propagation de la crue (V<sub>c</sub>)

Elle est donnée par la formule suivante :

$$V_r = \frac{Lp}{T_c}$$

**V<sub>c</sub>** : Vitesse de concentration (Km/h).

**L<sub>p</sub>** : Longueur du talweg principal (Km).

**T<sub>c</sub>** : Temps de concentration (h).

## Chapitre III : Etude Morphométrique

### III.3. Temps et vitesses de concentration de BV

les formules	temps de concentration $t_c$ (h)	Vitesse de propagation $V_c$ (Km/h)
Giandotti	7,54	3,15
Anonyme-Rbourrier(2,p55)	6,97	3,41
California	2,58	9,20

### III.3. Caractéristiques principales du bassin versant d'oued djenane

Paramètres	Symbole	Unité	valeur
Surface	A	Km <sup>2</sup>	207,43
Périmètre	P	Km	65,86
Indice de compacité	KG	/	1,28
Longueur du rectangle équivalent	L	Km	23,3
Largeur du rectangle équivalent	l	Km	8,94
Indice de pente global	Ig	m/Km	22,51
Dénivelée spécifique	Ds	m	324,2
Type de relief	Relief fort	/	/
Altitude moyenne	Hmoy	m	938
Altitude maximale	Hmax	m	1700
Altitude minimale	Hmin	m	700
Altitude à 5%	H5%	m	1750
Altitude à 95%	H95%	m	1200
Longueur de cours d'eau principal	Lp	Km	23,43
Densité de drainage totale	Dd	Km/Km <sup>2</sup>	0,87
Pente moyenne de l'oued	Imoy	m /Km	69,43
Temps de concentration	Tc	h	7,54
Vitesse de propagation de crue	Vr	Km /m	3,15
La dénivelée utile	Du	m	550

### III .8. Conclusion

Le bassin versant d'oued djenane en amont occupe une surface de 207,43 km<sup>2</sup> avec un périmètre de 65,86km, l'analyse des paramètres morphométriques ce concerne montre que la forme de BV d'oued djenane est allongée exprimée par l'indice de compacité (KG s'éloigne de 1) avec un relief assez fort par la dénivelée spécifique (250m < Ds < 500 m), une pente moyenne, un indice de pente globale (0,02 < Ig < 0,05).

# ETUDE HYDROLOGIQUE

## IV.1. Introduction

L'objectif de cette étude hydrologique est de déterminer l'hydrogrammes de crues à différentes périodes de retour à partir des pluies maximales journalières et de définir les débits maximal probables correspondants qui seront utilisée comme conditions aux limites dans l'étude hydraulique. A cet effet, et du fait de l'absence de stations hydrométriques dans la zone d'étude, l'utilisation d'un modèle de calcul des débits et d'estimation des eaux à l'échelle d'un bassin versant en se basant sur les précipitations extrêmes devient nécessaire.

## IV.2. Analyse des données pluviométriques

### IV.2.1. Précipitation maximales journalières

L'analyse des pluies maximales journalières est nécessaire pour l'estimation des débits de pointe des crues. On a utilisé, pour ce faire, les données ANRH des stations de AIN NESSISSA aux données existantes **IV.1.**

**Tableau IV.1.** Les précipitations maximales journalières (1968-1996)

Année	Pjmax(mm)	Année	Pjmax(mm)	Année	Pjmax(mm)
1968	41.3	1978	33.2	1988	20
1969	26	1979	58.8	1989	53.8
1970	25.8	1980	17.6	1990	17.5
1971	52.5	1981	41.4	1991	26.5
1972	132.6	1982	11.9	1992	21.7
1973	22.5	1983	17.6	1993	16.9
1974	21.8	1984	18.7	1994	36.7
1975	26.4	1985	59.6	1995	33.3
1976	72.5	1986	27.5	1996	22.5
1977	30.1	1987	11.6		

### IV.2.2. Ajustement des pluies maximales journalières :

L'ajustement des pluies maximales journalières sera effectué à l'aide du logiciel HYFRAN. On a effectué l'ajustement de la série des pluies maximales journalières à des lois déférentes, en utilisant le logiciel HYFRAN, avec une comparaison entre les lois.

Dans notre étude on suit les étapes suivantes :

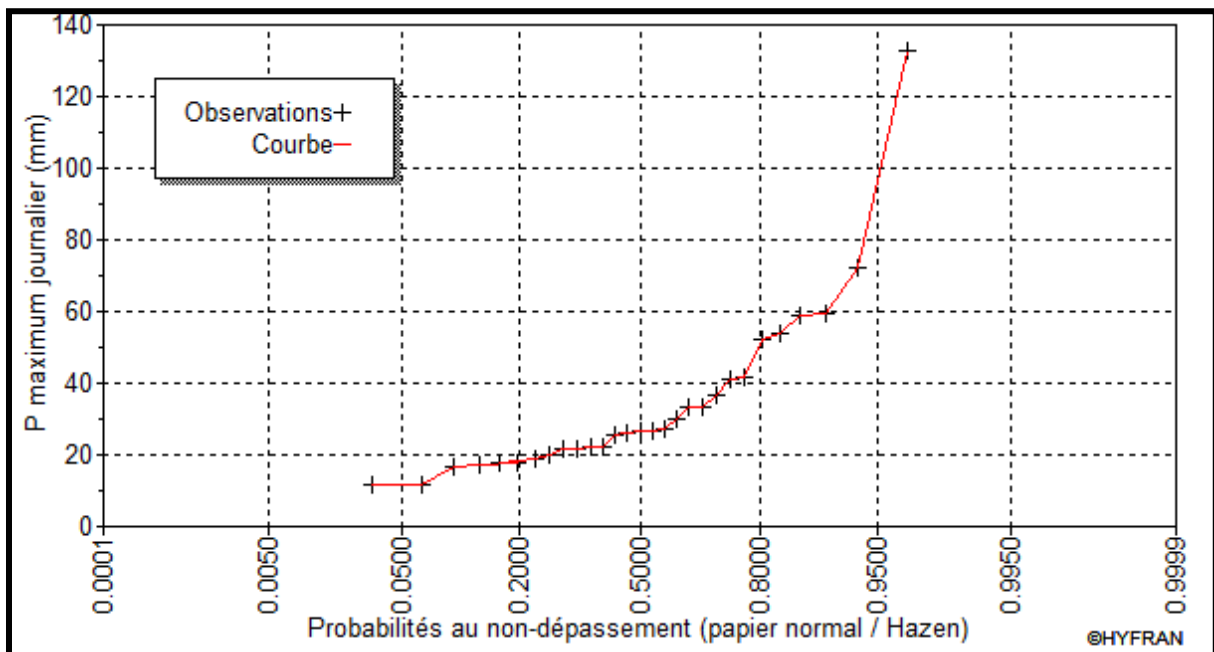
- Classer la série des précipitations par ordre croissant.
- Calcule de la fréquence expérimentale.
- Calcule des caractéristiques empiriques de la série de donnée.
- Ajuster graphiquement la loi choisie.
- Calculer le quantile et son intervalle de confiance.

Les caractéristiques empiriques de la série de donnée ont été obtenues par le logiciel HYFRAN.

**Tableau IV.2.**Caractéristique de la série de donnée avec N = 29Ans

Caractéristiques	Valeurs
Statistiques de base	29
Minimum	12,3
Maximum	132,6
Moyenne	34,42
Ecart-type	24
Médiane	26.4

La représentation des observations sur des papiers normaux et leurs histogrammes sont présentés dans les figures IV.1 respectivement :



**Figure IV.1.** Représentation des observations sur papier normale

#### IV.2.3. Choix de la loi d'ajustement :

Les lois d'ajustement sont nombreuses et ne peuvent être appliquées à un échantillon que si les conditions d'homogénéités et stationnarités sont réunies.

Les critères de choix d'une loi sont liés à un ajustement graphique d'abord et ensuite à un test de dispersion. L'allure des points sur du papier à probabilité permet d'accepter ou de rejeter la loi. Dans présente étude on applique la loi de GALTON (Loi Log normale) et la loi de GUMBEL (Double exponentiel) et ce avec le logiciel HYFRAN.

Les caractéristiques des échantillons, les tests d'adéquation des deux lois ainsi que l'homogénéité sont calculés directement à partir du logiciel.

**IV.2.3.1. Ajustement suivant la loi de GALTON (Log Normale) :**

**Description théorique :**

Le procédé d'ajustement est établi avec une représentation sur du papier log normale. La loi de GALTON a une fonction de répartition qui s'exprime selon la fonction suivante :

$$F(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\}$$

$$U = \frac{\ln X_i - \ln \bar{X}}{\sigma \ln X} \text{ (Variable réduite de gaussie)}$$

$\bar{X}$  = La moyenne de l'échantillon

$\sigma$  = L'écart-type d l'échantillon

L'équation de la droite de Galton est la suivante

$$\ln X (p\%) = \ln (\bar{X}) + \sigma \ln u (p\%)$$

$$\ln \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{N=29} \ln(X_i)}{N}$$

Avant de procéder à l'ajustement il faut suivre les étapes suivantes

- classer les valeurs des précipitations par ordre croissant avec attribution d'un rang 1.2.3.4.5...n.
- calculer pour chaque valeur de précipitation la fréquence expérimentale par la formule de HAZEN :

$$F(x) = \frac{m-0,5}{n}$$

Avec : **m** : Rang de précipitation ;

**n** : Nombre d'observations 29

- Calculer la variable réduite de GALTON donnée par la formule suivante :

$$U = \frac{\ln X_i - \ln \bar{X}}{\sigma \ln X}$$

- **GALTON (log-Normale) (Maximum des vrais semblances)** : Nombre d'observation n29

❖ **Paramètre :**

$\mu = 3.48052$ ,  $\sigma = 0.395542$

❖ **Quantile :**

$q = F(X)$  (probabilité au non dépassement)  $T = 1 / (1 - q)$

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de GALTON sont représentés dans le tableau IV.3 suivant :

**Tableau IV.3.** Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON

période de retour(T)	probabilité(q)	Pluies max (mm)	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
1000	0.9990	155,04	40.5	82.0	241
200.0	0.9950	124,43	26.3	69.8	173
100.0	0.9900	111,08	21.2	64.1	147
50.0	0.9800	97,78	16.7	58.2	124
20.0	0.9500	80,02	11.6	49.8	95.1
10.0	0.9000	66,31	8.29	43.0	75.5
5.0	0.8000	52,01	5.58	35.5	57.4
3.0	0.6667	37	3.98	29.2	44.8
2.0	0.5000	30,41	3.00	23.2	35.0

On constate que la droite d'ajustement est bien ajustée par rapport au nuage de points expérimentaux.

**Test de Ki deux Carré ( $X^2$ ) :**

**Hypothèses :**

**H<sub>0</sub> :** L'échantillon provient d'une loi Log normale

**H<sub>1</sub> :** L'échantillon ne provient pas d'une loi Log normale

**Résultats :**

Résultat de la statistique :	$X^2 = 3,59$
p-value	0.4649
Degrés de liberté :	4
Nombre de classes :	7

**Conclusion**

Nous pouvons accepter H<sub>0</sub> au niveau de signification de 5 %

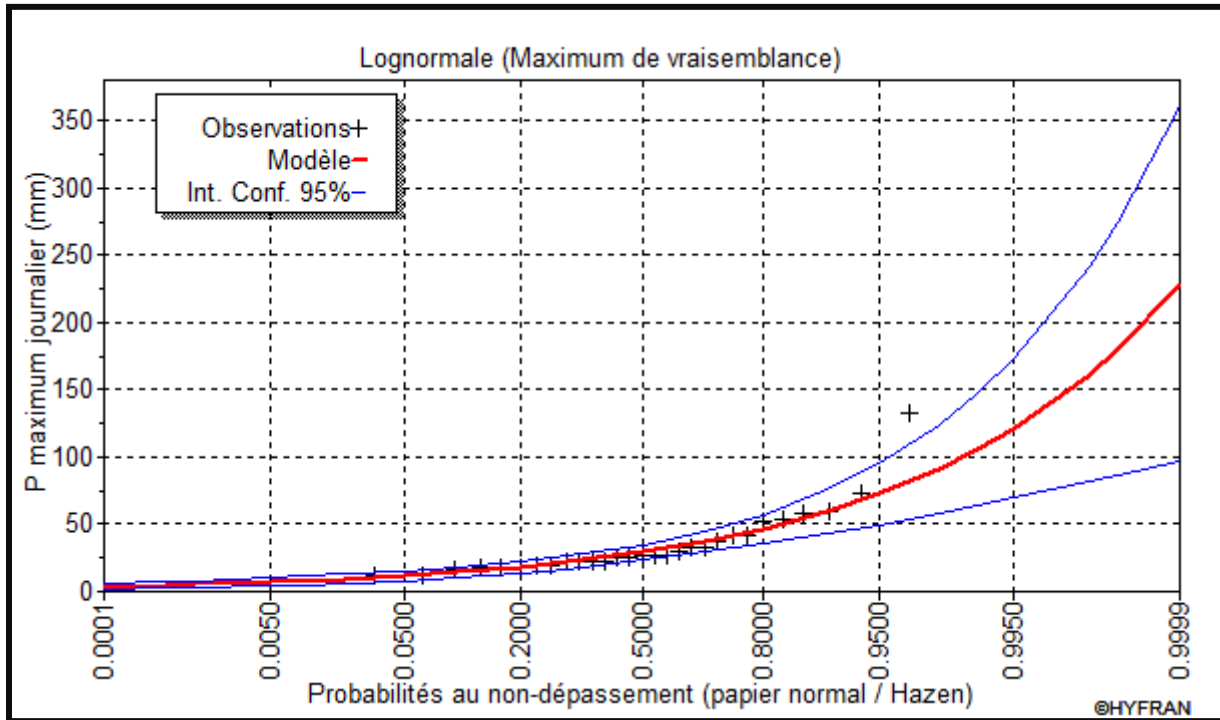


Figure IV.2.Représentation graphique de l’ajustement par la loi de log normale

IV.2.3.2 Ajustement suivant la loi de GUMBEL :

**Description théorique :**

Le procédé d’ajustement est identique à celui établi pour la loi de GALTON. Seule la représentation graphique change ou elle est faite sur du papier (Gumbel / Hazen). La loi de GUMBEL a une fonction de répartition qui s’exprime selon la formule suivante :

$$F(X) = e^{-e^{-y}}$$

Tel que :  $y = a (x - x_0)$

- **1/a** : La pente de la droite de Gumbel,
- **y** : Variable réduite de GUMBEL,
- **x** : Précipitation maximale journalière (mm),
- **x0**: Ordonnée à l’origine en (mm).

On peut écrire :

$$y = -\ln (- l (F (x))) \dots\dots\dots(III.6)$$

✓ **Gumbel (Méthode des moments) :**

Nombre d’observations : 29

❖ **Paramètre :**

**u** : = 28.9811, **alpha** : = 10.3766

❖ **Quantiles :**

$$q = F(X) \text{ (probabilité au non-dépassement) } T = 1 / (1-q)$$

**Résultats pratiques :**

Les paramètres qu'on peut les tirer à partir de cette série lorsqu'on applique la loi de GUMBEL

**Tableau IV.4.** Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL

période de retour(T)	probabilité(q)	Pluies max (mm)	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
1000.0	0.9990	155	26.2	104	206
200.0	0.9950	124	20.3	84.4	164
100.0	0.9900	111	17.8	76.2	146
50.0	0.9800	97.8	15.3	67.8	128
20.0	0.9500	80.0	12.0	56.5	103
10.0	0.9000	66.3	9.47	47.7	84.9
5.0	0.8000	52.0	7.01	38.3	65.7
3.0	0.6667	40.6	5.29	30.3	51.0
2.0	0.5000	30.4	4.16	22.2	38.6

On constate que la droite d'ajustement est bien ajustée par rapport au nuage de points expérimentaux.

**Test de Ki deux Carré (X<sup>2</sup>) :**

**Hypothèses :**

**H<sub>0</sub>** : L'échantillon provient d'une loi Gumbel

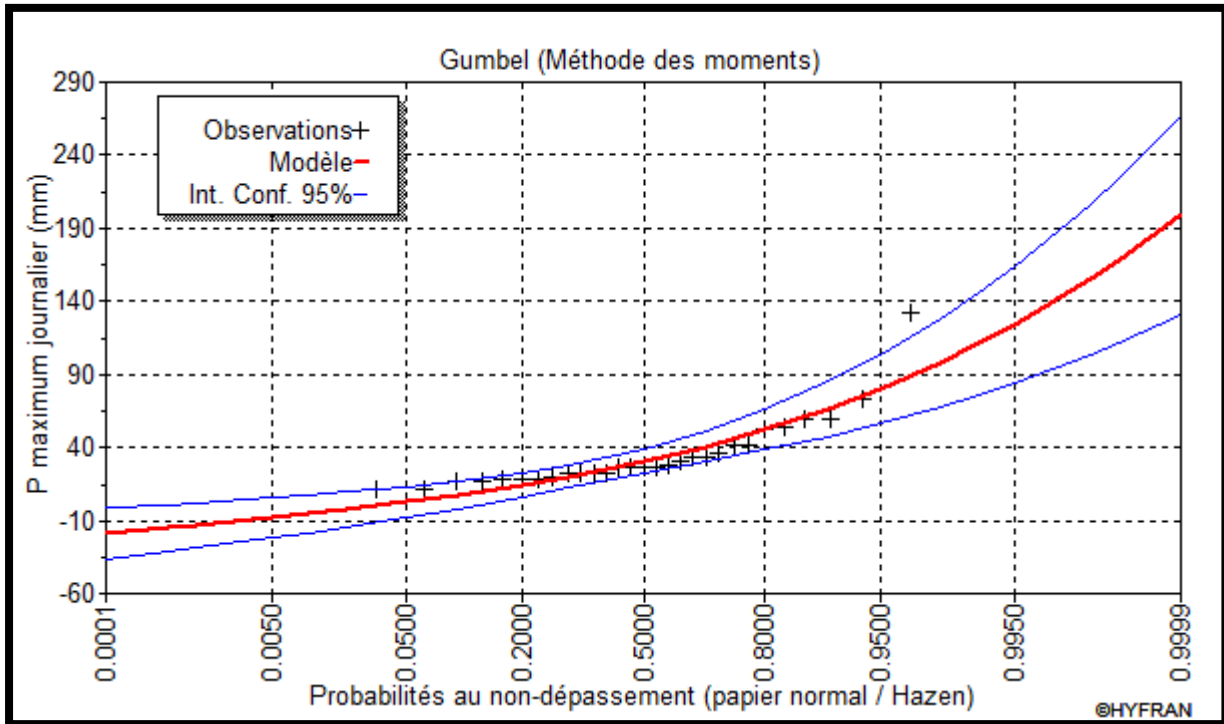
**H<sub>1</sub>** : L'échantillon ne provient pas d'une loi Gumbel

**Résultats :**

Résultat de la statistique :	X <sup>2</sup> = 12,76
p-value	0.0125
Degrés de liberté :	4
Nombre de classes :	7

**Conclusion**

Nous devons REJETER H<sub>0</sub> au niveau de signification de 5 %, mais on l'accepte au niveau de signification de 1 %



**Figure IV.3.** Représentation graphique de l'ajustement par la loi de Gumbel

#### IV.2.3.3. Comparaison entre les deux lois d'ajustement :

par ces deux lois, celui de GUMBEL et GALTON, Nous avons remarqué que l'ajustement issu de la loi de GALTON est le meilleur .

C'est en comparaison avec  $T_{ast} KHI DEUX (X^2)$  loi de GALTON <  $(X^2)$  loi de Gambel

### IV.3 Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes fréquences

La pluie de courte durée est la pluie mesuré dans une demi heure, elle est plus utilisé dans le dimensionnement de réseau d'assainissement, nous l'utilisons dans cette étude pour déterminer l'intensité maximal des averses rapide de même type. Elle sert également pour tracer les courbes IDF (Intensité – Durée – Fréquence).

Pour le calcul de ce paramètre, on note qu'il ya plusieurs (formule de Sogreah 1986-1989, Montanari et Body...etc), dans le présent travail, on choisie la formule de Body (ANRH) 1984 qui est la plus utilisée en Algérie.

$$P_{ct} = P_{max j} \left( \frac{t}{24} \right)^b$$

Avec :

$P_{ct}$  : La pluie de courte durée de fréquence égale a celle de  $P_{max j}$  en (mm).

$P_{max j}$  : La pluie maximale journalière pour différentes fréquences.

$t$  : La durée en heure.

$b$  : L'exposant climatique [7].

### IV.3.1 Intensité maximales à différentes fréquences

Lors de l'étude d'une pluie fréquentielle de courte durée, il convient de déterminer les intensités horaire maximale  $I_{max}$  pour différentes période de retour (50, 100, 1000 ans), cette intensité est calculée par la formule suivante :

$$I_{max} = \frac{P_{ct}}{\Delta T}$$

Avec :

$I_{max}$  : Intensité maximale (mm/h).

$P_{ct}$  : La pluie de courte durée.

$\Delta T$  : La durée en heure.

Les différentes valeurs de pluie de courte durée et leurs intensités à différentes fréquences de l'oued Djenan ( $b = 0.23$ ) [6]

**Tableau IV.5** Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes fréquences de bassin du Oued djenan

F%	1000		100		50	
	Pct(mm)	I <sub>max</sub> (mm/h)	Pct(mm)	I <sub>max</sub> (mm/h)	Pct(mm)	I <sub>max</sub> (mm/h)
T(h)						
1	74,64	74,64	53,48	53,48	47,08	47,08
2	87,55	43,78	62,72	31,36	55,21	27,61
3	96,10	32,03	68,85	22,95	60,61	20,20
4	102,68	25,67	73,56	18,39	64,76	16,19
5	108,08	21,62	77,44	15,49	68,17	13,63
6	112,71	18,79	80,75	13,46	71,08	11,85
7	116,78	16,68	83,67	11,95	73,65	10,52
7,54	118,79	15,75	85,11	11,29	74,92	9,94
8	120,42	15,05	86,28	10,79	75,95	9,49
9	123,73	13,75	88,65	9,85	78,03	8,67
10	126,76	12,68	90,82	9,08	79,95	8,00
11	129,57	11,78	92,83	8,44	81,72	7,43
12	132,19	11,02	94,71	7,89	83,37	6,95
13	134,65	10,36	96,47	7,42	84,92	6,53
14	136,96	9,78	98,13	7,01	86,38	6,17
15	139,15	9,28	99,70	6,65	87,76	5,85
16	141,24	8,83	101,19	6,32	89,07	5,57
17	143,22	8,42	102,61	6,04	90,32	5,31
18	145,11	8,06	103,97	5,78	91,52	5,08
19	146,93	7,73	105,27	5,54	92,66	4,88
20	148,67	7,43	106,52	5,33	93,76	4,69
21	150,35	7,16	107,72	5,13	94,82	4,52
22	151,97	6,91	108,88	4,95	95,84	4,36
23	153,53	6,68	110,00	4,78	96,83	4,21
24	155,04	6,46	111,08	4,63	97,78	4,07

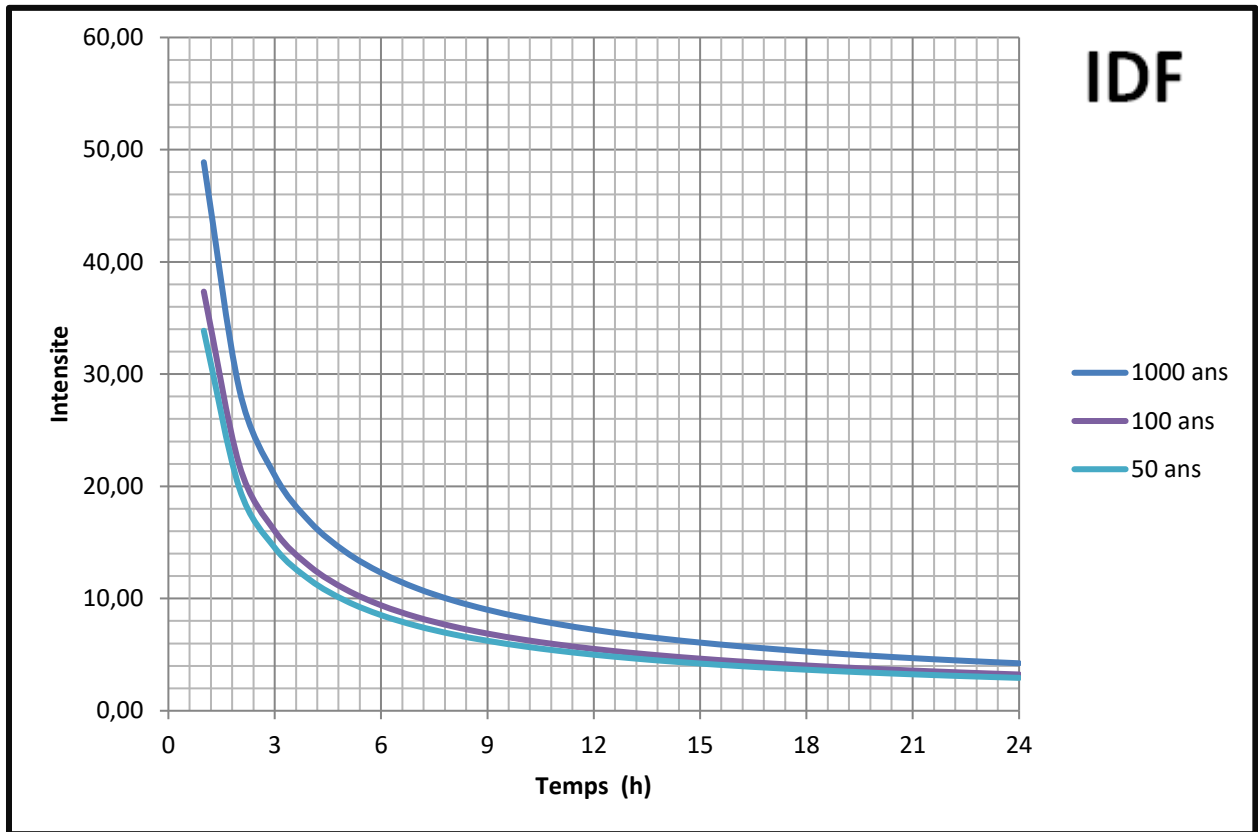


Figure IV.4 Courbe Intensité-Durée-Fréquence de bassin d'Oued djenane

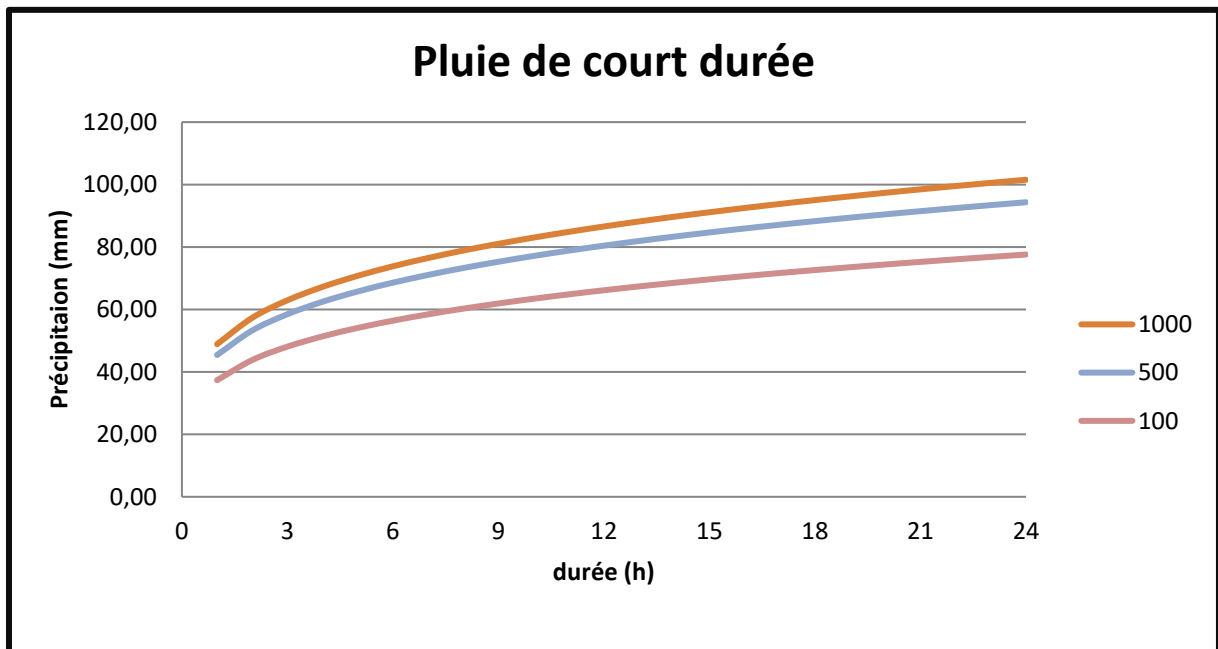


Figure IV.5 Courbe Pluie de courte durée fréquentielle de sous bassin du Oued djenane

#### IV.4. Etude des crues

##### IV.4.1. Débits maxima fréquents

L'absence de données observées nous a contraints à utiliser les formules empiriques les plus adéquates.

##### IV.4.2.1 Formule de Mallet – Gautier

Dans leurs étude sur les problèmes de l'eau en Algérie, Mallet et Gauthier ont établi une formule exprimant le débit maximum en fonction des précipitations, de la surface du bassin versant ainsi que ses caractéristiques géographiques et climatiques, et aussi de la période de retour T visée.

$$Q_{\max,p\%} = \frac{2 \cdot K \cdot \log(1 + A \cdot P_{\text{moy}}) \cdot S \cdot \sqrt{1 + 4 \log T - \log S}}{\sqrt{L}}$$

Avec:

$Q_T$  : Débit de pointe de période de retour T (m<sup>3</sup>/s).

L : Longueur du cours d'eau (km).

P : Pluie moyenne annuelle du bassin versant (m).

A : Coefficient régional du bassin, varie entre 20 et 30 on prend [A = 25]. [6]

K : Coefficient dépendant des caractéristiques géomorphologiques du bassin, varie entre 1 et

3 on prend [K = 1,3]. [6]

**Tableau IV.6** Débits fréquents obtenus par la méthode MALLET-GAUTHIER

Période de retour (ans)	1000	500	200	100	50	20	10
$Q_{\max}$ (m <sup>3</sup> /s)	322,24	303,54	276,88	254,87	230,77	194,38	161,49

##### IV.4.2.2 Formule de Possenti

$P_{\max j,P\%}$  : Pluie maximale journalière correspondante à la période de retour donnée.

$\mu$  : Coefficient compris entre 700 ÷ 800 ; On prend  $\mu = 750$ [7]

$L_p$  : Longueur du cours d'eau principal (Km).

**Tableau IV.7** Débits fréquentiels obtenus par la méthode de possenti

Période de retour	1000	500	200	100	50	20	10
$P_{\max j, P\%}$	155,04	141,82	124,34	111,08	97,78	80,02	66,31
$Q_{\max, P\%}$ (m3/s)	948	867	761	679	598	489	406

**IV.4.2.3 Formule de Sokolovsky :**

La crue calculée par la formule de Sokolovsky (1958,1968) considère que son débit maximum est généré par une pluie de durée prise égale au temps de concentration.

$$Q_f = 0.28 \frac{P_{ct+\alpha f\%} \cdot A \cdot f}{t_m = t_c} \quad (V.9)$$

Avec :

$P_{TC}$  : Pluie fréquentielle de durée de temps de concentration (mm).

0.28 : Coefficient de changement d'unité.

$t_c$  : Temps de concentration du sous bassin en h.

$\alpha F$  : Coefficient de ruissellement de crue en %

$$\alpha f\% = \frac{\text{lame écoulée}}{\text{lame précipitée}}$$

$f$  : Coefficient de forme de l'hydrographe de crue, fonction du rapport du temps de descente

et de montée. Ce coefficient de forme de la crue peut être calculé par la formule :

$$F = \frac{12}{4 + 3\delta}$$

$\delta$  : est un coefficient qui dépend de la valeur de la surface du bassin versant et du type du sol.

✓ Si  $A \leq 50\text{km}^2$ ,  $\delta = 2$ .

✓ Pour les petits bassins non boisés à sol peu perméable,  $\delta = 2 \div 2.5$ . on prend  $\delta = 2,25$  [6]

✓ Pour des bassins versants boisés à sol perméable,  $\delta = 3 \div 4$

**Tableau IV.8** Débits fréquentiels obtenus par la méthode de sokolovsky

fréquence%	Période de retour (ans)	Pct(mm)	Qmaxp%(m3/s)
0,1	1000	118,79	501,03
0,2	500	108,66	442,24
0,5	100	95,27	366,40
2	50	74,92	256,20
5	20	61,31	186,89
10	10	50,81	136,56
20	5	38,83	83,65
50	2	21,90	21,06

**IV.4.2 Hydrogramme de crue**

L’hydrogramme de crue représente la variation des débits d’un cours d’eau en fonction du temps, il permet de déterminer les caractéristiques de la crue, forme, volume, temps de montée et temps de décrue. Il y a plusieurs formules empiriques proposées pour la construction des hydrogrammes de crues. La méthode la plus utilisée assimile l’hydrogramme à deux équations paraboliques, l’une caractérisant la montée de la crue et qui s’écrit :

$$Q_{\max} = Q_{\max p} \left[ \frac{t}{t_m} \right]^n$$

L’autre caractérisant la décrue et s’écrit :

$$Q_{\max} = Q_{\max p} \left[ \frac{t_d - t}{t_d} \right]^m$$

Avec :

$t_m$  : Temps de montée ;  $t_m = t_c$  (h).

$t_d$  : Temps de la décrue ;  $t_d = \gamma \cdot t_c$  (h).

Dans le cas général,  $n=2$  et  $m=3$ .

$\gamma$  : est évalué en fonction de la taille du cours d’eau de la perméabilité et du taux de boisement du bassin versant.

**Tableau IV.9** Les différents valeurs de  $\gamma$ . [11]

Description du cours d’eau $\gamma$	$\gamma$
Petit cours d’eau et vallons dans les bassins versant faiblement perméables	2 à 2.5
Petit cours d’eau et vallons dans les bassins versant boisés ou perméables. Moyen cours d’eau avec terrasses de lit majeures normales.	3 à 4
Grand et moyen cours d’eau avec terrasses de débordement étendues.	4 à 7

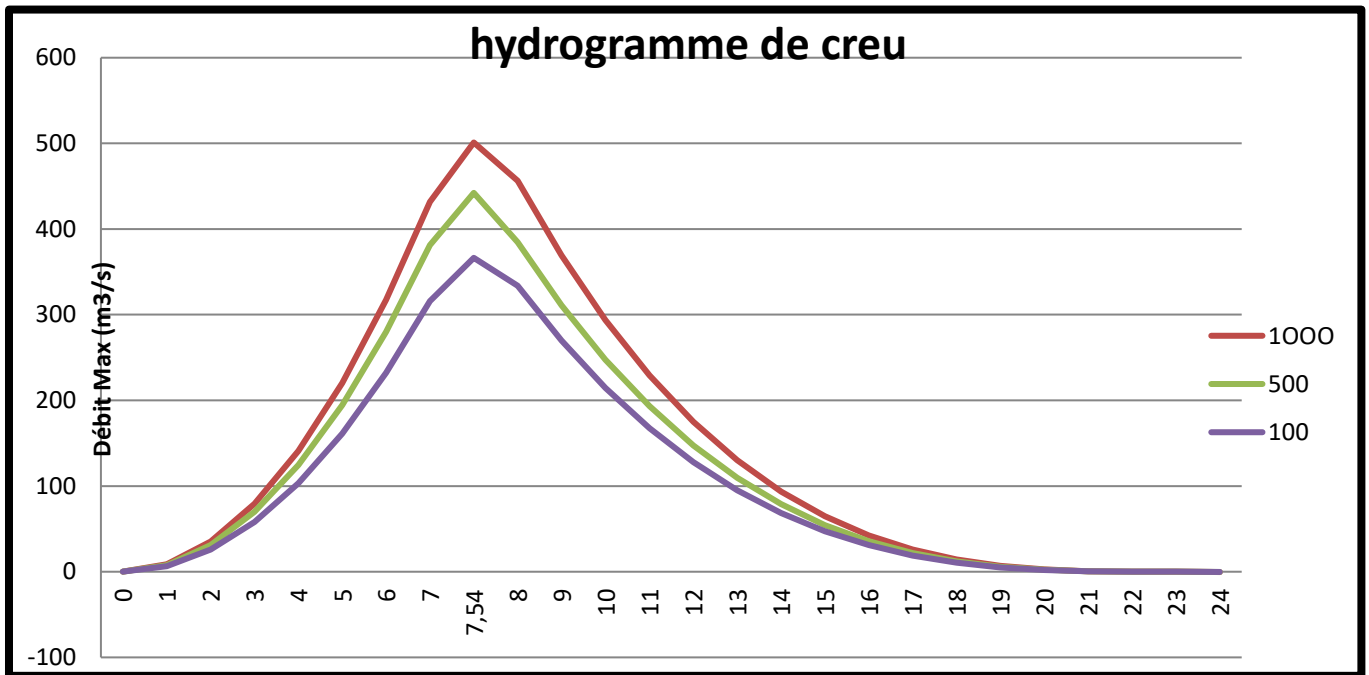
**Choix du débit de crues (débit de dimensionnement):**

D'après les résultats obtenus par les différentes méthodes de calcul de débit de crues, on remarque que les valeurs obtenues par la méthode de SOKOLOVSKY et celle de Possenti sont très l'autre et cela pour les différentes fréquences de calcul.

on remarque que les résultats obtenus par la méthode Mallet-Gauthier sont grands par rapport aux autres valeurs.

La méthode de SOKOLOVSKY qui elle, par contre, tiens compte de la surface, du temps de concentration, du coefficient de forme, du coefficient de ruissellement ainsi que de la préc correspondant au temps de concentration.

Etant donné que pour le tracé de l'hydrogramme de crue nous utilisons la méthode de SOKOLOVSKY, nous optons pour les débits de crues obtenus par la loi du même auteur.



**Figure IV.6** Hydrogramme des crues d'oued djenane

#### **IV.5. Conclusion :**

L'estimation quantiles de débits et de volumes des crues est le résultat de l'analyse statistique des données (crues). Dans ce chapitre, est vue l'absence de ces données (crues), nous avons opté pour les formules emperruqués basées sur les précipitations extrêmes.

Pour cela une présentation de la théorie de l'analyse statistiques des données (de précipitations extrêmes) est nécessaire, puisque son utilisation avec différentes lois de probabilité théoriques dans l'ajustement des précipitations journalières maximales fréquentielle dans le but de déterminer le débit caractéristique de la crue des différents sous bassins versants délimitant la ville d'AIN TOUTA. Aussi, le calcul des différents quantiles de débits est nécessaire dans l'établissement des hydrogrammes synthétiques mono-fréquence. Les débits maximas fréquentiels déterminés à l'aide de formules empiriques **Possenti** et **SOKOLOVSKI** sont assez proches, tan disque ceux trouvés par la formule de **Mallet-Gauthier** sont plus grands.

Toutefois, nous avons retenu les résultats obtenus par la méthode de **SOKOLOVSKY**, méthode qui prend en considération l'ensemble des paramètres physico climatiques du bassin versant.

**SIMULATIONS DES CRUES ET LA CARTOGRAPHIE  
DE L'ALEA**

### V.1 Introduction

Les écoulements à surface libre dans le système de réseau hydrographique d'un bassin versant est un processus distribué où le débit, la vitesse et la profondeur varient en fonction de surface et du temps à travers le cours d'eau.

L'estimation du débit ou la hauteur à une section locale importante du cours d'eau est souvent faite par un modèle distribué, basé sur les équations de Barré de Saint-Venant unidimensionnelle (le modèle 1D).

Il existe aussi, des autres modèles plus complexes à ce modèle soit le 2D qui repose sur les équations de Barré de Saint-Venant, ou le 3D qui reposent sur les équations de Navier-Stokes avec des simplifications plus au moins importantes selon le type de modèle considéré. Dans ce chapitre, on choisit une programme pour fait la simulation des crues, à partir ses résultats on limite les aléas des débordements.

### V.2 Les modèles hydrauliques

#### V.2.1 Modèles 1D

Ce type de modèles considère le cours d'eau comme étant une succession de profil en travers dans la direction privilégiée du cours d'eau.

Les modèles 1D sont basés sur les équations 1D de Saint-Venant qui supposent une distribution hydrostatique des pressions dans la section et des faibles pentes des cours d'eau, elles sont intégrées aux équations de Navier-Stokes, qui permettent de calculer les hauteurs d'eau et les vitesses moyennes variables en fonction du temps.

Les équations de Barré de Saint - Venant 1D reposent sur les hypothèses suivantes (Drouin, 1991) :

- L'écoulement a une direction privilégiée (écoulement 1D) correspond à l'axe principal.
- Les vitesses transversales sont négligeables de sorte que le niveau est horizontal dans la direction perpendiculaire à celle de l'écoulement.
- L'écoulement varie graduellement le long du canal, la répartition de la pression est hydrostatique et varie verticalement, ainsi que l'accélération suivant la verticale est négligeable (Chow, 1959).
- La formule de Manning est applicable.
- La courbure des lignes de courant doit rester faible.

Les principes de base de la physique des équations, appliqué généralement à un fluide incompressible, à savoir le principe de la conservation de la masse, et le principe de la conservation de la quantité de mouvement.

### V.2.1.1 Equation de continuité (Conservation de la masse)

L'équation de continuité, qui est l'une des équations fondamentales de la mécanique des fluides, exprime le principe de conservation de la masse.

La variation de la masse fluide contenue dans un volume donné pendant un certain temps doit être égal à la somme des masses fluides qui y entrent, diminuées de celles qui en sortent.

Le volume entrant par la première section dans le temps  $dt$  est  $Qdt$ , le volume sortant par la deuxième section de la distance  $dx$  est  $[Q + (\partial Q / \partial x) dx] dt$ . La variation de volume entre ces deux sections pendant le temps  $dt$  est donc :  $(\partial Q / \partial x) dx dt$

La variation de volume est le résultat de la modification de la surface libre :  $(B dx) (\partial h / \partial t)$

Où  $B(h)$  est la largeur à la surface libre et  $h(x, t)$  la profondeur d'eau.

Suivant les deux expressions de (Chow, 1959), on obtient :

$$\partial Q / \partial x + \partial S / \partial t = 0 \quad \text{Où} \quad ds = B dh$$

$$\text{On peut écrire : } Q = U S ; \quad D_h = S/B$$

Avec :

$U$  : la vitesse moyenne dans la section.

$D_h$  : la profondeur hydraulique.

On peut écrire l'équation comme suite :

$$D_h (\partial U / \partial x) + U (\partial D_h / \partial x) + (\partial h / \partial t) = 0$$

Si un débit supplémentaire sort (ou entre) dans le canal entre les deux sections, l'équation se écrit :

$$(\partial Q / \partial x) + (\partial S / \partial t) + \bar{q}l = 0$$

Finalement, l'équation de continuité ou première équation de Barré de Saint - Venant s'écrit :

$$(\partial Q / \partial x) + (\partial S / \partial t) = \bar{q}l$$

### V.2.1.2 Conservation de la quantité de mouvement (énergétique)

L'équation de l'énergie est une expression du premier principe de la thermodynamique.

L'énergie pour un élément d'un fluide incompressible dans un écoulement presque rectiligne est donnée par :

$$(U^2 / 2g) + (P/\gamma) + z_p = (Pt/\gamma) = \text{cte}$$

Les différents termes représentent :

$$U^2 / 2g$$

: La hauteur due à la vitesse.

$$P/\gamma$$

: La hauteur due à la pression

$z_p$  : La cote

L'énergie (charge) totale dans une section est donnée par :

$$(U^2 / 2g) + h + z = H$$

Pour l'écoulement à surface libre non permanent et non uniforme (graduellement varié) d'un liquide réel, la différence de la charge totale entre deux sections d'une distance dx est :

$$\alpha_e (U^2/2g) + h + z = [\alpha_e(U^2/2g) + d(\alpha_e(U^2/2g))] + [h + dh] + [z + dz] + (1/g)(\partial U/\partial t)dx + h_r$$

**Avec :**

$(1/g)(\partial U/\partial t)dx$  : L'énergie due à l'accélération dans la direction selon x.

$h_r$  : La perte de charge due au frottement.

$\alpha_e$  : le coefficient de correction de l'énergie.

Après la simplification, la division et l'utilisation des différentielles, on a :

$$(1/g)(\partial U/\partial t) + (U/g)(\partial U/\partial x) + (\partial h/\partial x) - J_f = -J_e$$

On remplace dans cette formule la vitesse par le débit  $Q = U * A$  on trouve :

$$(\partial Q/\partial t) + (\partial/\partial x)(\beta(Q^2/Am) + P_{pr}) = -(g A(\partial z/\partial x)) - (g \frac{AQ|Q|}{Deb^2} + B_{pr})$$

Avec :

$P_{pr}$  : Représente la pression hydrostatique (pression verticale).

$B_{pr}$  : Traduit la pression latérale.  $K_2.R_{43}.A_2$

On a  $J_e = \frac{Q^2}{K_2.R_4/3.A^2}$  donc le terme  $(Q|Q|)/(Deb^2)$  représente  $J_e$  et  $D_2eb$  est  $K_2.R_{43}.A_2$ .

### V.2.2 Modèles 2D

Il existe d'autres modèles plus complexes que le modèle monodimensionnel, en 2D (bidimensionnels horizontaux). Ces modèles sont basés sur l'intégration verticale des équations de Navier Stokes, gardent les variations (la géométrie, la vitesse) dans les deux dimensions (x : longitudinale et y : transversale), Ils sont adaptés pour traiter les tronçons de cours d'eau larges ou avec des configurations particulières (large avec des obstacles, méandre, confluences...) et les modifications locales de la morphologie.

C'est le cas de certaines grandes plaines inondables où l'on ne connaît pas a priori le fonctionnement hydraulique détaillé, le modèle bidimensionnel permet alors de déterminer à tout moment l'importance et la direction des écoulements et favorisé l'étude des écoulements dans les estuaires et les plages.

### VI.2.3 Modèles 3D

Les modèles 3D sont développés pour reproduire la réalité des écoulements dans les cours d'eau dans les trois dimensions. Ces modèles sont basés sur les équations de Navier-Stokes, la considération du fond comme mobile pose des difficultés supplémentaires.

Papanicolaou et al.

(2004) décrit une dizaine de modèles 3D, leur application est limitée aux phénomènes locaux 3D. L'étude des changements morphologiques des cours d'eau pour des longues

périodes ou sur des longues distances pose de sérieux problèmes de calcul, à savoir le temps des simulations et les capacités de stockage. La contrainte supplémentaire dans l'application des codes 3D réside dans l'introduction de quelques paramètres (rugosité) dans tout le domaine étudié, les conditions initiales et les conditions aux limites.

### V.3 Description du modèle RubarBE

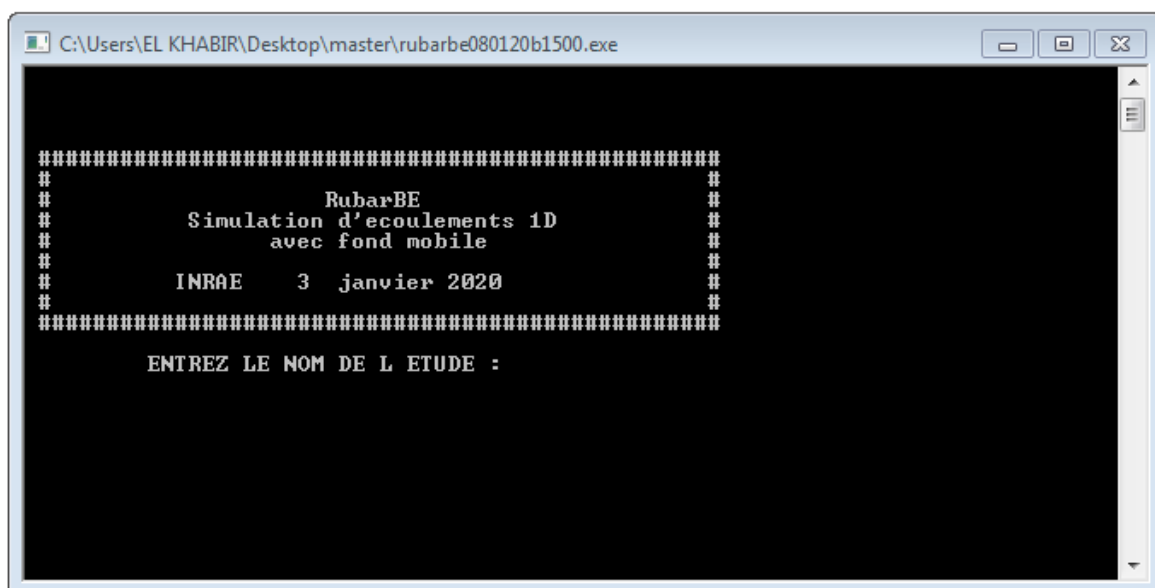
RubarBE est un logiciel intégré pour l'analyse hydraulique qui permet de simuler les écoulements à surface libre.

Ce code est décrit en détail par Balayn (2001), El kadi (2006) et les éléments clés de la modélisation résumés par (El Kadi et al. 2008, El Kadi et Paquier, 2009). Le calcul s'appuie sur le logiciel hydrodynamique unidimensionnel *Rubar3* Paquier (1995), se crée pour l'étude de la propagation des ondes de rupture en une dimension et plus généralement tout écoulement qui suit les équations de Saint- Venant.

La première version (se calculer les écoulements dans un seul bief) de ce logiciel a été développée par le *Cemagref* à partir des travaux de Vila (1984, 1986) sur la modélisation mono-dimensionnelle des problèmes de choc (avalanches, ondes de rupture, glissements de terrain dans une retenue, etc.). Les modifications de cette version et adaptée à la modélisation des écoulements dans les rivières à fond fixe Paquier (1995), le traitement du second membre des équations hydrodynamiques pour le calcul dans les cas où il devient important.

La troisième version (permet de calculer les écoulements en compte de plusieurs biefs) qui se développe par Balayn (2001) a intégré un module de transport solide (sans sédiments) et d'évolution morphologique de la topographie du lit, qu'est décrite par une série de profils en travers.

Dans cette étude on utilise ce code 1D de calcul (RubarBE) pour la simulation des crues dans quelques oued djenane



```
C:\Users\EL KHABIR\Desktop\master\rubarbe080120b1500.exe

#####
#                               #
#                               #
#                               #
#                               #
#                               #
#                               #
#                               #
#                               #
#                               #
#                               #
#                               #
#####

                               RubarBE
                               #
Simulation d'écoulements 1D   #
avec fond mobile              #
                               #
INRAE   3 janvier 2020        #
                               #
#####

ENTREZ LE NOM DE L ETUDE :
```

Figure V.1 Le schéma de code du RubarBE.

Le code du RubarBE s'appuie sur les équations de Saint-Venant, écrites en utilisant : la section mouillée  $A$  et le débit liquide  $Q$  sous les formes suivantes :

$$\begin{cases} \partial A / \partial t + \partial Q / \partial x = q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \beta \frac{Q^2}{A_m} + P_{pr} \right) = -g A \frac{\partial z_f}{\partial x} \frac{Q|Q|}{D_{2eb}} + B_{pr} \end{cases}$$

### V.4 Utilisation du programme SAIRUBE 3

Le programme Saisie 3 (sairube) permet la constitution de l'ensemble des fichiers nécessaires au lancement du programme RubarBe, la première donnée est rentré le nom de l'étude (20 caractères au maximum). Ce nom sera utilisé comme extension dans le nom de tous les fichiers sous la forme "NomFichier.Etude", dans le cadre de cette étude, on va étudier oued djenane

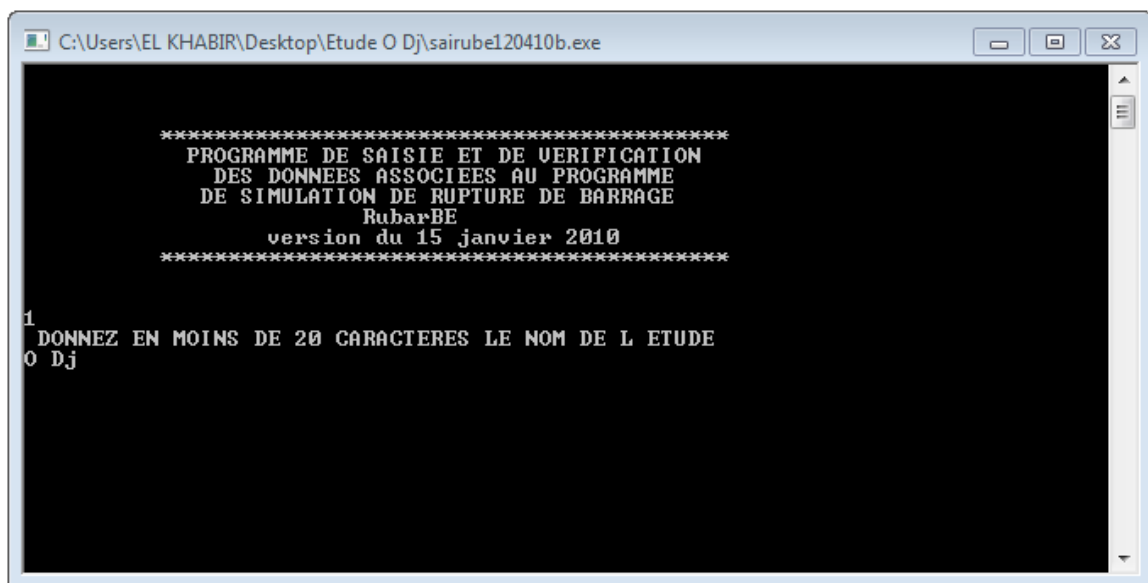


Figure V.2 Rentrer le nom de l'étude.

Nous expliquons ci-dessous la constitution des différents fichiers et leur contenu.

#### V.4.1 Saisie du maillage

Les mailles de calcul hydrodynamiques sont centrées sur les "centremailles" (CM) en s'appuient sur les "intermailles" (IM). Dans la version RubarBE, les mailles de calcul sédimentaires sont décalées d'une demi-maille.

Pour saisie la géométrie d'oued djenane on choisie le maillage à pas constant et déclaré la

longueur du pas d'espace  $DX = 100$  m, l'abscisse origine -3500 et le nombre de centremailles

$LM = 37$ . Alors la longueur du tronçon du oued djenane est  $(LM-2)*DX$  ;  $(37 - 2) * 100$ .

Enfin se donne deux fichiers mail et mail0 qui facilité la saisir de la géométrie.

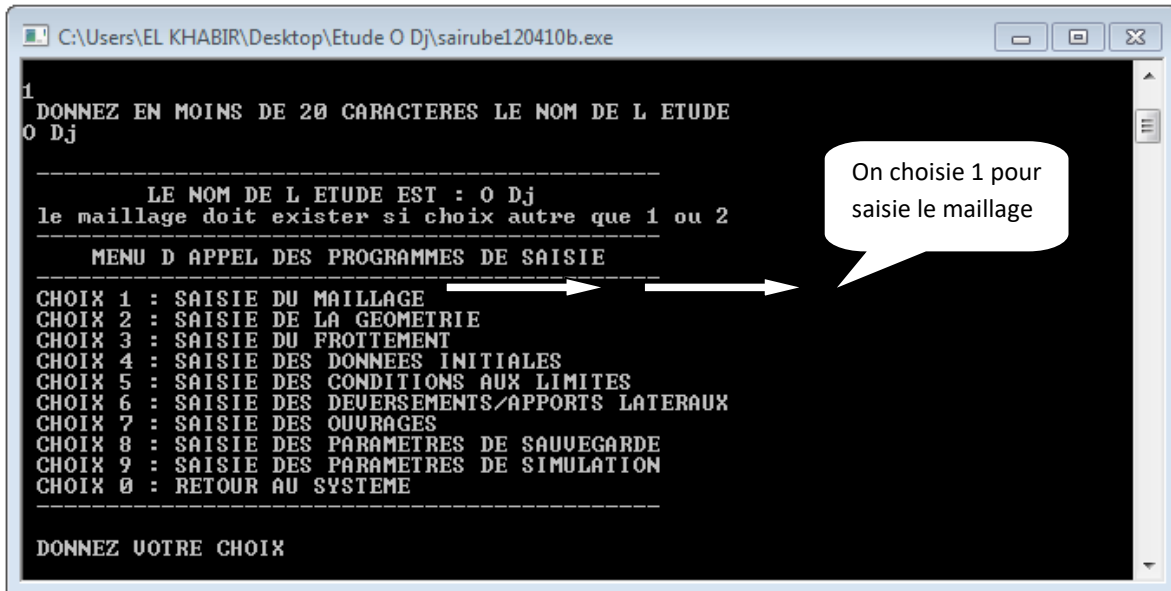
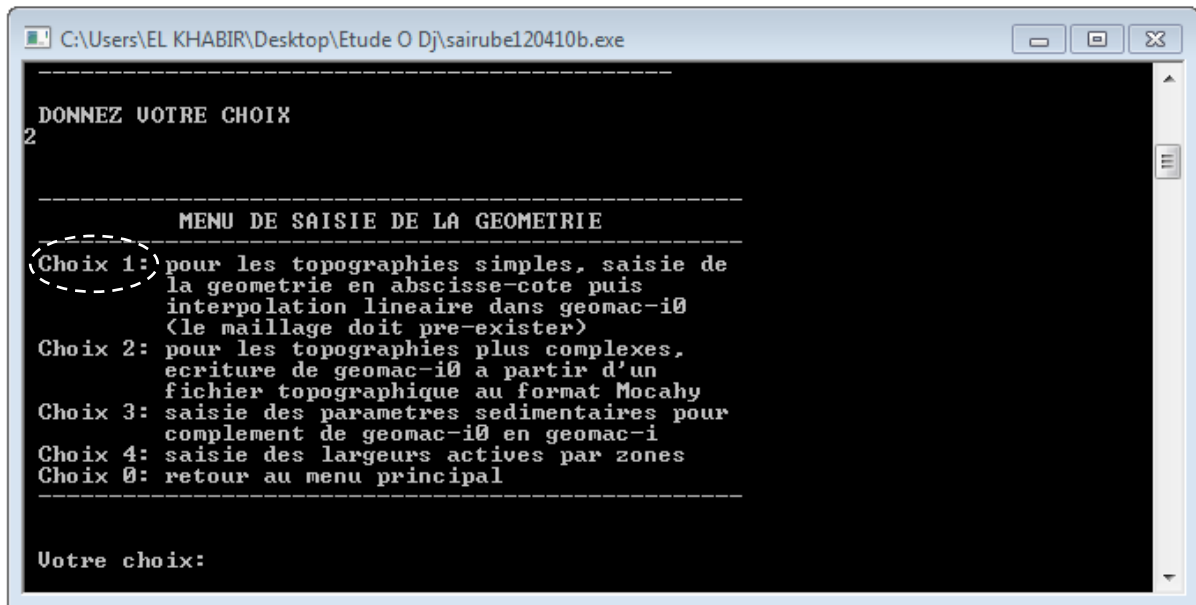


Figure V.3 Liste des choix principaux.

### V.4.2 Saisie de la géométrie

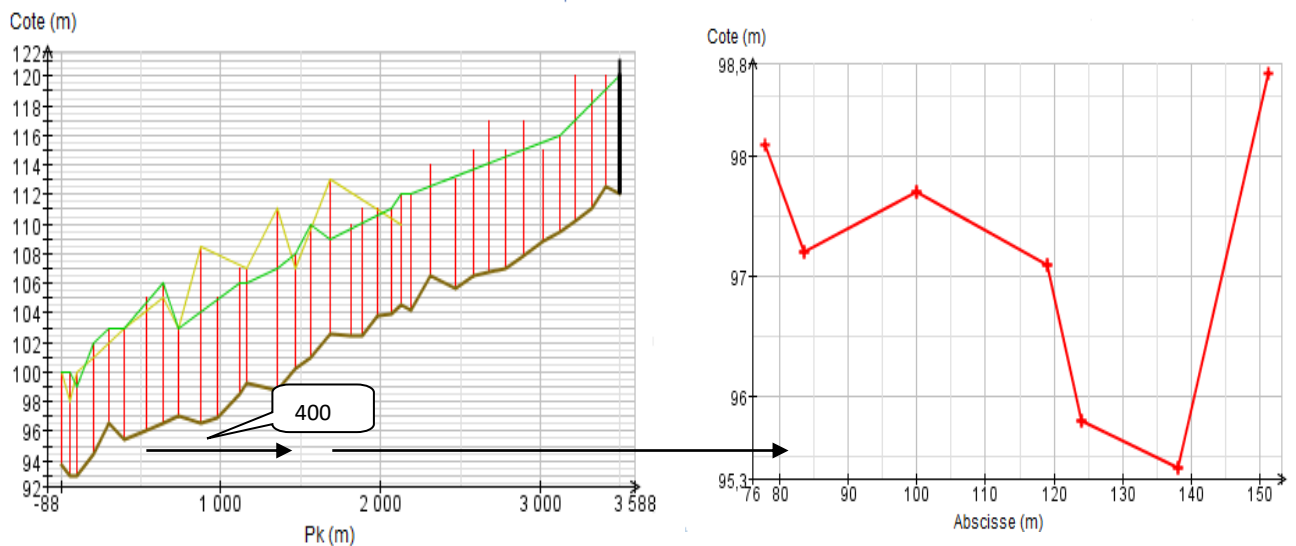
Pour un calcul avec déformation du fond, la géométrie est plus complexe. Elle comprend deux parties : une description de la topographie du lit (obligatoirement en abscisse-cote) et une description des sédiments en place à la surface du lit et éventuellement dans des strates plus profonds.

Le programme de préparation des données Sairube permet d'entrer la géométrie (topographie + description sédimentaire) au format attendu par RubarBE. Dans Saisie 3, il y a quatre options sont proposées, on choisie le premier choix (pour les topographies simples, saisie de la géométrie en abscisse- cote puis interpolation linéaire dans geomac- i0), entré tous les abscisses d'oued Djenane de longueur 3500 m et 35 sections, chaque abscisse se déclarer par une section à des cotes de fonds différents et limités en gauche et droite jusqu'à la dernière abscisse. Enfin donnée deux fichier geomac-i00 (donne les abscisses et les sections qui vous avez déclarés) et geomac-i0 (donne l'interpolation linéaire point à point en abscisse- section).



**Figure V.4** Les étapes de saisie de la géométrie.

Après ça, On utilise le programme de Pamhyr pour lit la géométrie d'oued djenane



**Figure V.5** La géométrie d'oued Djenane

### VI.4.3 Saisie du frottement

On saisie les couples de coefficient de Strickler ( $K = \frac{21}{d^{(1/6)}_{50}}$ ) le diamètre médian des sections se définit à partir la graphie des diamètres 50 (picages G et D)) pour des abscisses en long de chaque traçons de la géométrie des oueds qui peuvent être spécifiques pour le frottement. (30.0, 30.0).

A partir les choix données, on choisit (saisie par zones des coefficients de Strickler du lit

mineur dans frot0) qui permet le passage de cote du lit mineur au lit moyen et donné par l'interpolation linéaire entre les sections dans le fichier frot.

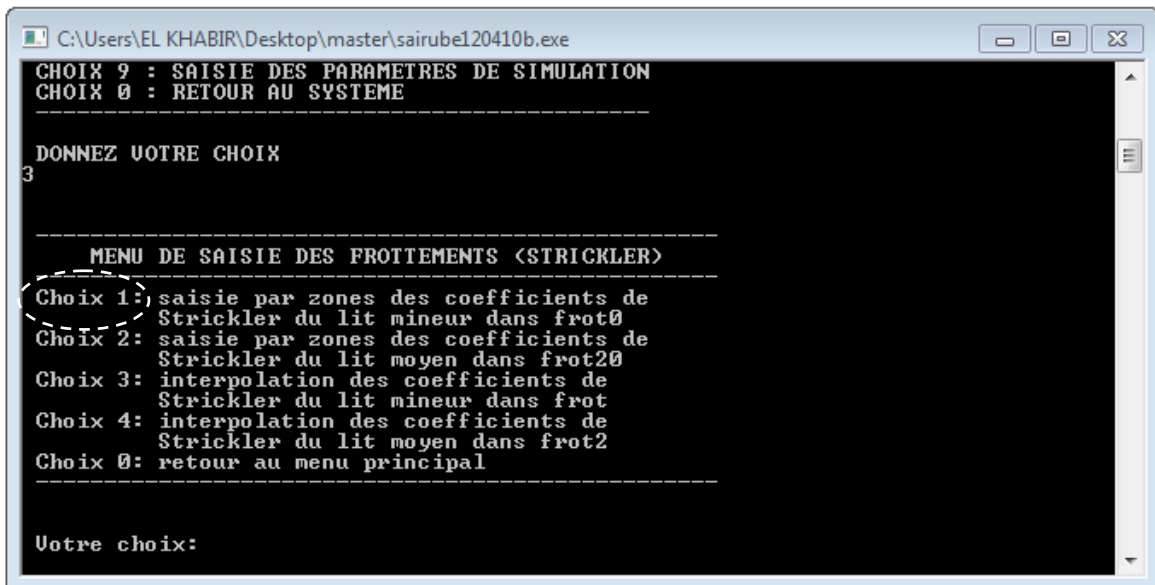


Figure V.6 Les étapes de saisie du frottement.

Les coefficients de Strickler caractérisent les frottements externes à l'écoulement.

### VI.4.4 Saisie des données initiales

Pour saisir les conditions initiales on utilise le programme complémentaire Sairube qui offre les deux options de saisie et d'interpolation dans deux fichiers (sauvegarder les conditions dans un fichier condi0, interpoler dans un fichier condin).

Les données initiales concernent les paramètres hydrodynamiques (vitesses, débits, tirants d'eau), sont nécessaire pour la simulation des crues.

### VI.4.5 Saisie des conditions aux limites

Dans ce cas on choisie l'utilisation l'interface graphique PAMHYR pour saisie les conditions amont Hydrogramme de crue ( $Q=F(t)$ ) et les conditions aval (régime critique).

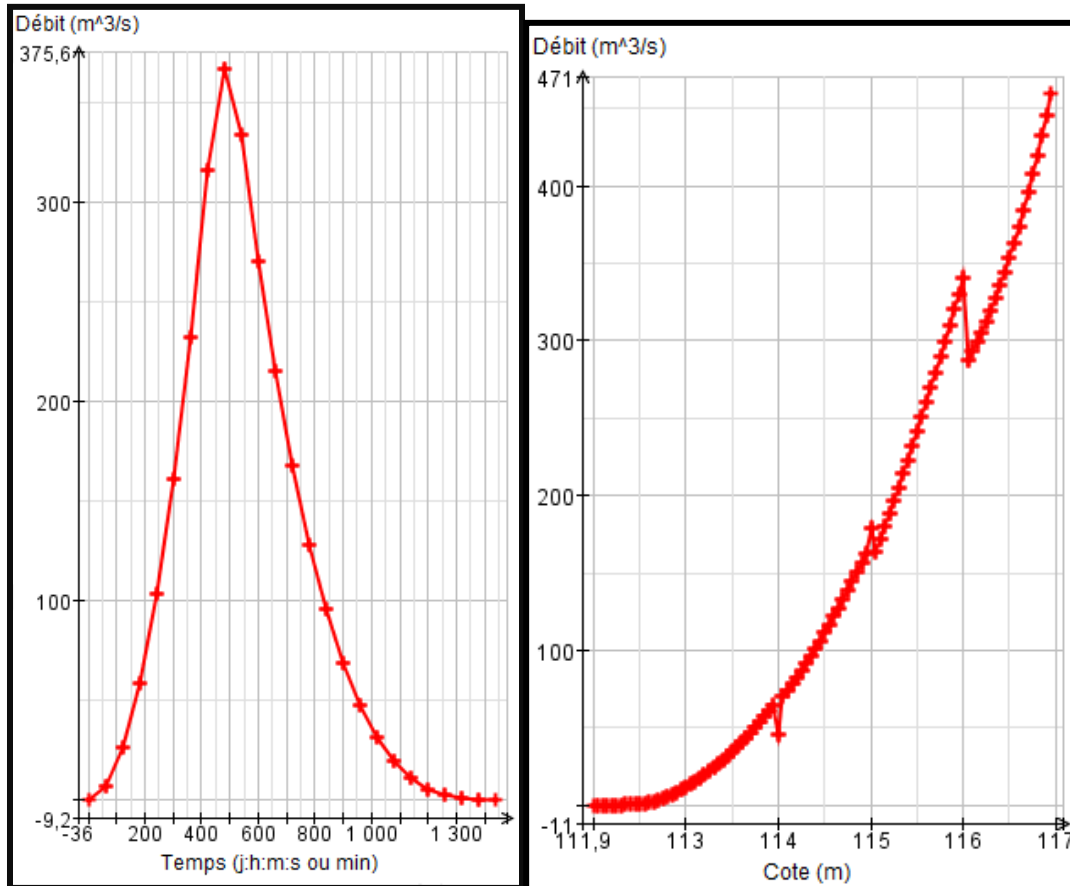


Figure V.7 Les conditions limites d'oued Djenane (T = 100 ans).

### V.5 Déroulement d'une simulation

L'ensemble des fichiers nécessaires à une simulation (sur la totalité du temps) ayant été obtenu par l'usage de Sairube, il est préférable de lancer le programme Rubarbe en plusieurs étapes.

Pour la première étape, le temps initial doit obligatoirement être égal à 0, le temps de calcul  $T_{max}$  sera pris petit afin de vérifier la cohérence des données utilisées.

L'option "pas de temps fixe" permet d'effectuer les calculs avec un pas de temps donné et d'obtenir ainsi le résultat à un temps donné précisément.

### V.6 Les résultats de simulations

Après la fin de la simulation, on peut visualiser les résultats sous forme de fichiers textes ou sous forme de graphes à partir l'interface PAMHYR suivant le pas de temps déclaré.

Tableau V.1 Exemple de résultat sous forme texte (oued Djenane).

Pas du temps (s)	27144			
Absc.IM (m)	Côte Min Fond (m)	Côte Eau (m)	Vit Liq (m/s)	Surf Mou (m <sup>2</sup> )
0+000	96,8	98,2	2,09	175
0+300	93,8	96,9	0,88	415

On peut avoir ces résultats dans toutes les abscisses et dans chaque temps durant la simulation.

A partir de ces résultats on calcule la hauteur de débordement par la formule  $H_d = \text{cote d'eau} - \text{cote maximum du la section}$ ) et schématise par l'utilisation de logiciel Surfer ( $H_d = f(T, \text{Absc})$ ).

### V.7 Topographie d'un cours d'eau

Les données nécessaires concernent d'abord la topographie complète du lit du cours d'eau, c'est-à dire, lit mineur et lit majeur (plaine d'inondation active) (Figure VI.20).

**V.7.1 Le lit mineur :** est normalement bien délimité entre des berges abruptes, plus ou moins élevées et continues. En général, on prend le lit mineur comme le chenal d'étiage qui dépourvu de végétation aérienne et forme souvent des sinuosités.

Leur profil longitudinal est très irrégulier avec des seuils qui forment de petits rapides à la traversée de bancs d'alluvions, des mouilles et des mares stagnantes à très faibles écoulement.

**V.7.2 Lit majeur :** est le plus large, leur caractéristique morphologique beaucoup plus simple liée aux formations fines des limons et des argiles (dépôts des crues). La limite externe de ce lit majeur est constituée par un raccord progressif à une terrasse alluviale caillouteuse qu'il est facile la détermination de limite du l'aléa.

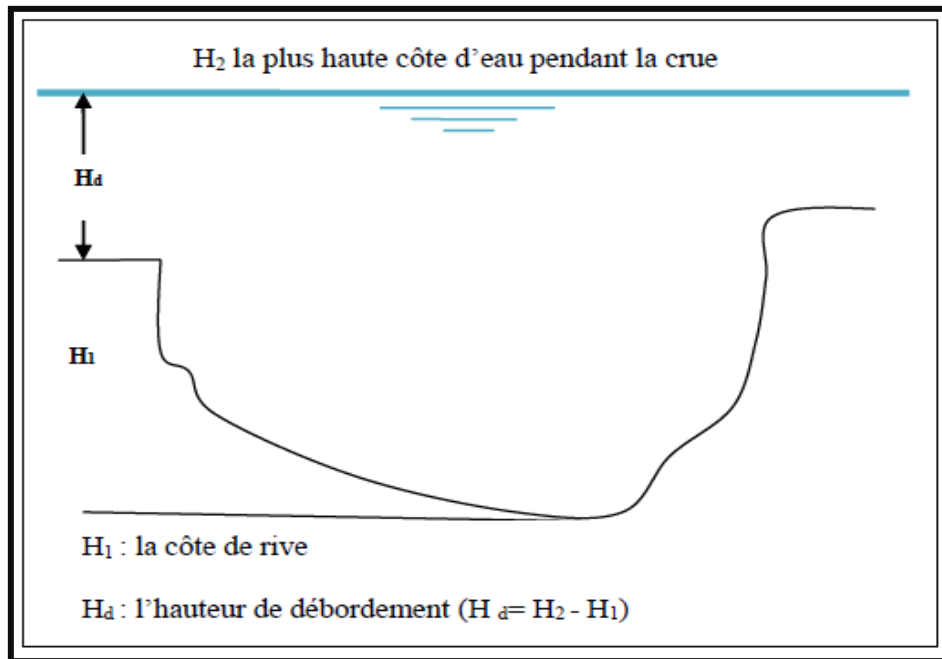
### V.8 L'aléa

L'aléa est un phénomène physique naturel et non maîtrisable. Il peut être caractérisé suivant deux composantes : l'une fréquentielle (occurrence), l'autre spatio-temporelle (intensité) et dépend du comportement hydrologique du bassin versant et du fonctionnement hydraulique du réseau hydrographique (cours d'eau).

On détermine les limites de ce paramètre par la hauteur maximum de débordement sur les berges du cours d'eau pour gestion le risque des inondations.

### V.9 Définitions de la hauteur de débordement $H_d$

La hauteur de débordement d'eau est un paramètre très essentiel pendant les crues qui se détermine dans chaque section de cours d'eau et dans chaque temps à partir des résultats hydrauliques (simulations de modelé 1D) par la différence entre la ligne d'eau maximum et la cote minimum des berges.



Figures V.8 La hauteur de débordement  $H_a$ .

### V.10 Détermination de l'aléa de débordement dans une section

L'aléa de débordement dans une section se limite en reliant les point d'intersection entre les la cote maximale de la ligne d'eau (enregistrée pendant toute la période de crue) et le terrain naturel (Figure VI.20) de toutes les sections simulées.

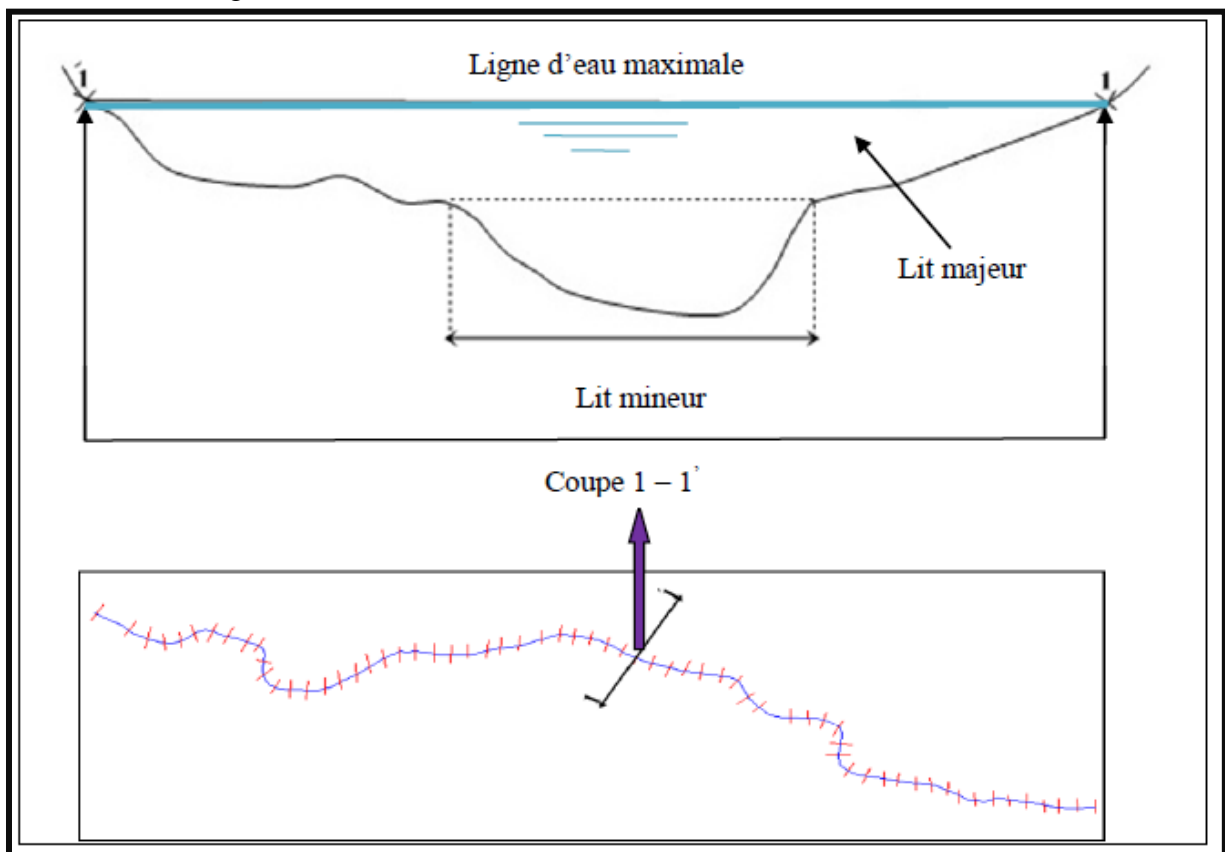


Figure V.9 L'aléa dans une section.

### V.11 La cartographie de l'aléa

La carte d'aléa représente la contrainte hydraulique qui affecte chaque section suite au fonctionnement hydrologique du bassin versant et hydraulique du cours d'eau.

Elle localise et hiérarchise les zones inondables en fonction des paramètres physiques (La hauteur de débordement et la pente) correspondant à une période de retour de la crue et suivant leur exposition à des phénomènes naturels.

Cette carte synthétise la connaissance des aléas évalués pour un phénomène de référence à partir des informations disponibles, la projection de la cote la plus haute élévation d'eau qui permet de rassembler les points de l'intérêt section de la ligne maximum d'eau avec le terrain naturel sur les deux plaines d'inondations actives et l'ensemble des points obtenus une forme alors une zone fermée autour du cours d'eau (aléa)

Les surfaces des zones inondables identifiées à partir de la cartographie de l'aléa sont variables d'une période de retour à l'autre et d'un oued à l'autre.



Figure V.10 L'aléa dans une section.

## **V.12 Conclusion**

Ce chapitre, est une synthèse globale de l'étude hydrologique des écoulements générant des inondations. Suivant les résultats de simulation en utilisant les programme (SAIRUB, RubarBE, PAMHYR) on détermine les sections inondables permettant d'établir une cartographie de l'aléa des inondations du tronçon d'oued Djenane

# LES MOYENS DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS

### VI.1 Introduction

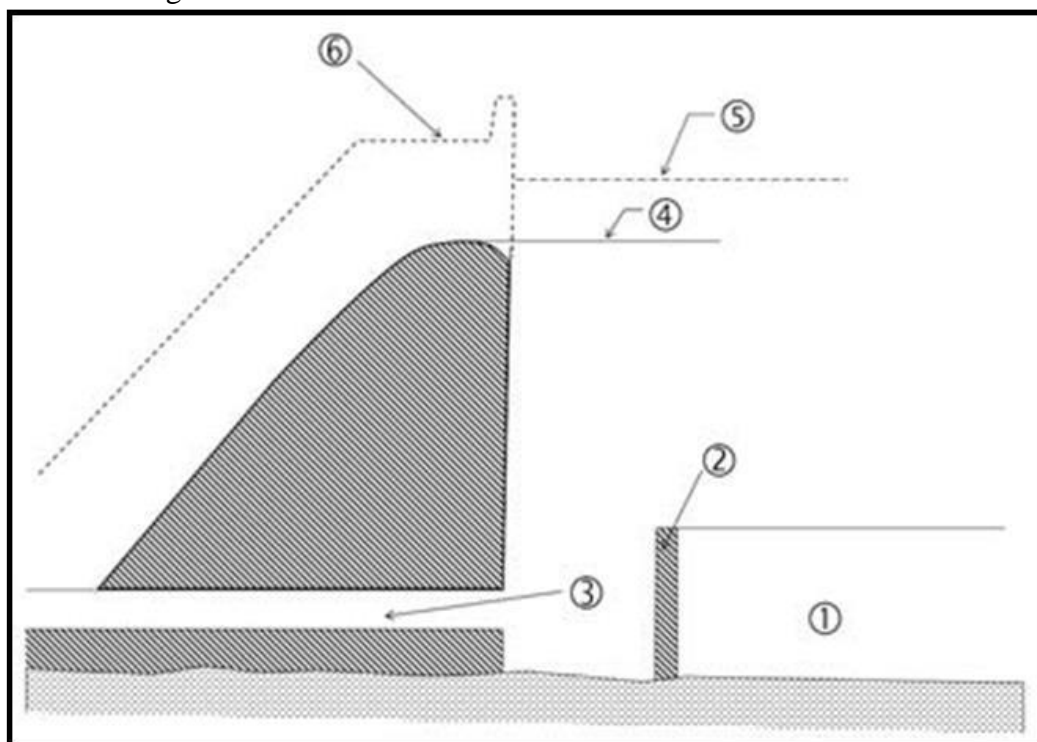
L'objectif de ce chapitre est proposé des moyens de protections contre les inondations pour évites les dégâts humains et matériels.

Les techniques communément employées pour se protéger comprennent la réalisation des endiguements à l'aide de digues en matériaux naturels, artificiels et le réaménagement des lits et aussi le calibrage des oueds.

### VI.2 Barrage écrêteur

Les barrages écrêteurs de crues sont des digues de protection contre les inondations, des ouvrages qui peuvent également créer une charge, mais qui ne sont pas destinés à stocker un volume d'eau ; au contraire elles sont destinées à empêcher l'eau de venir (d'eau extrême) pour la sécurité des crues.

Il est équipé de pertuis (libres ou vannés), dont le dimensionnement est basé sur la capacité du lit en aval. On évalue le débit maximal non dommageable du cours d'eau en aval du barrage (par exemple débit de plein bord du lit mineur ou débit d'un ouvrage aval créant section de contrôle) et on dimensionne les pertuis pour délivrer au maximum ce débit. Si le débit entrant dans la retenue lui est supérieur, il y a stockage temporaire dans la tranche d'eau de laminage, jusqu'à atteindre la cote d'un déversoir de surface dont la fonction est d'assurer la sécurité du barrage lors des événements extrêmes.



- 1- Retenue semi-permanente.
- 2- Batardeau.
- 3- Pertuis.
- 4- Seuil de surface (cote de protection).
- 5- Cote de sûreté (PHE).

Figure VI.1 Coupe schématique d'un barrage écrêteur de crues.

L'objectif de ce ouvrage est de permettre de réduire les débits de pointe d'une crue pour la protection contre les inondations des territoires situés en lit majeur en aval du barrage. A condition que se conjuguent plusieurs facteurs très favorables: excellente fiabilité des prévisions météorologiques à trois jours ou niveau de remplissage des retenues pas trop élevé. Dans la pratique, il apparaît nécessaire de mobiliser temporairement des espaces de stockage pour obtenir un laminage efficace des crues et pour prévenir les inondations.

Cette technique s'assure les actions suivantes :

- ✓ Diminuer le débit de pointe et retarder les écoulements sur un cours d'eau, en freinant l'eau avant son arrivée dans le lit, en mobilisant les capacités naturelles d'amortissement en lit moyen et lit majeur, et en stockant temporairement une partie du volume de la crue dans des ouvrages spécifiquement prévus à cet effet .
- ✓ S'assurer qu'à l'échelle du bassin versant, la mise en oeuvre du ralentissement dynamique sur un ensemble de cours d'eau n'engendre pas localement une augmentation inattendue des risques d'inondation, notamment par recombinaison de crues déphasées par les ouvrages.



Figure VI.2 Schéma principal barrage écrêteur.

### VI.2. 1 Conséquences et effets perturbateurs possibles

Parmi les conséquences de barrage écrêteur on trouve :

- ✓ Relative inefficacité si une crue survient alors que le barrage est plein.
- ✓ Risques spécifiques éventuels (rupture de barrage).
- ✓ Lissage du régime aval (disparition des crues fréquentes à moyennes) et interruption totale ou partielle du transport de sédiment (érosion en aval et dépôts dans la cuvette).
- ✓ Perturbation de dynamiques biologiques (circulation des animaux et propagules végétales).

### VI.3 Bassin d'Amortissement

Le bassin d'Amortissement est destiné à contenir le surplus d'eaux de pluie et de ruissellement généré par l'urbanisation ou l'aménagement d'un site en fonction d'un débit d'évacuation régulé vers un exutoire. Ils ont un rôle d'étalement, d'écèlement des eaux pluviales.

Ils sont principalement constitués par trois parties : un ouvrage d'alimentation, une zone de stockage et un ouvrage de régulation (garantissant le débit de fuite).

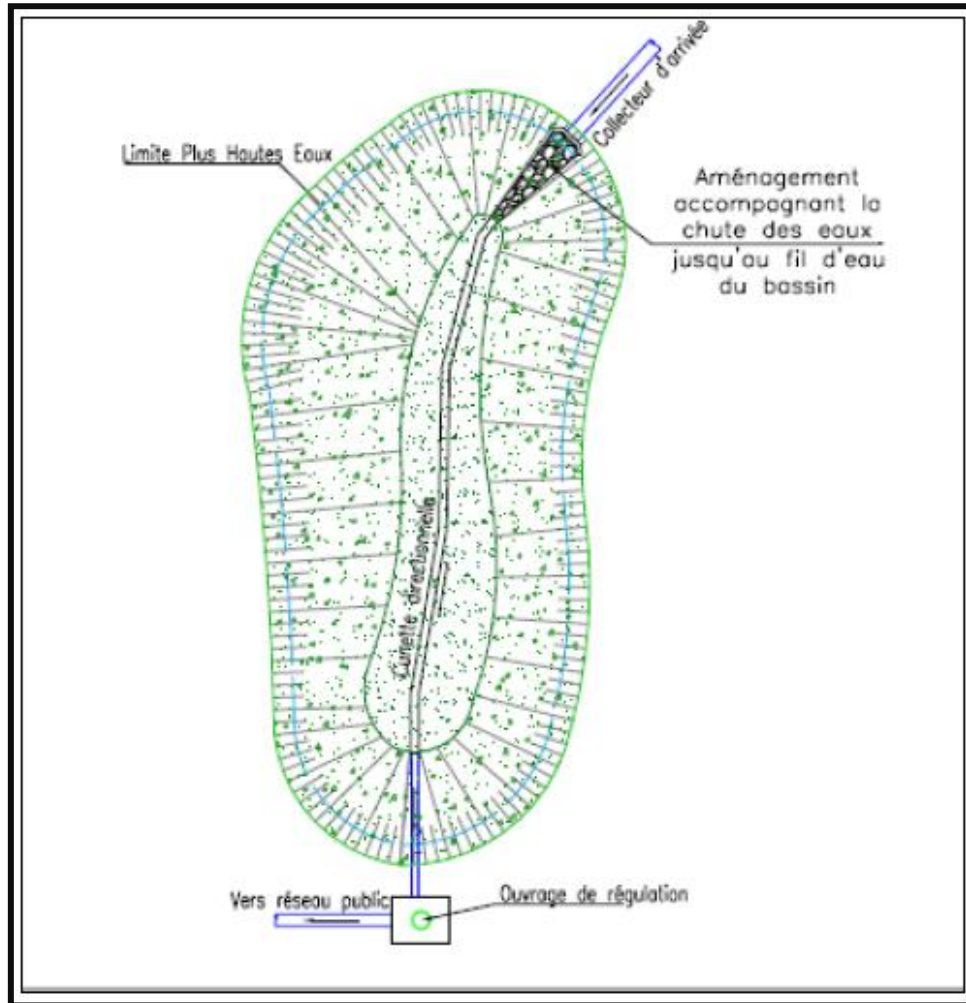
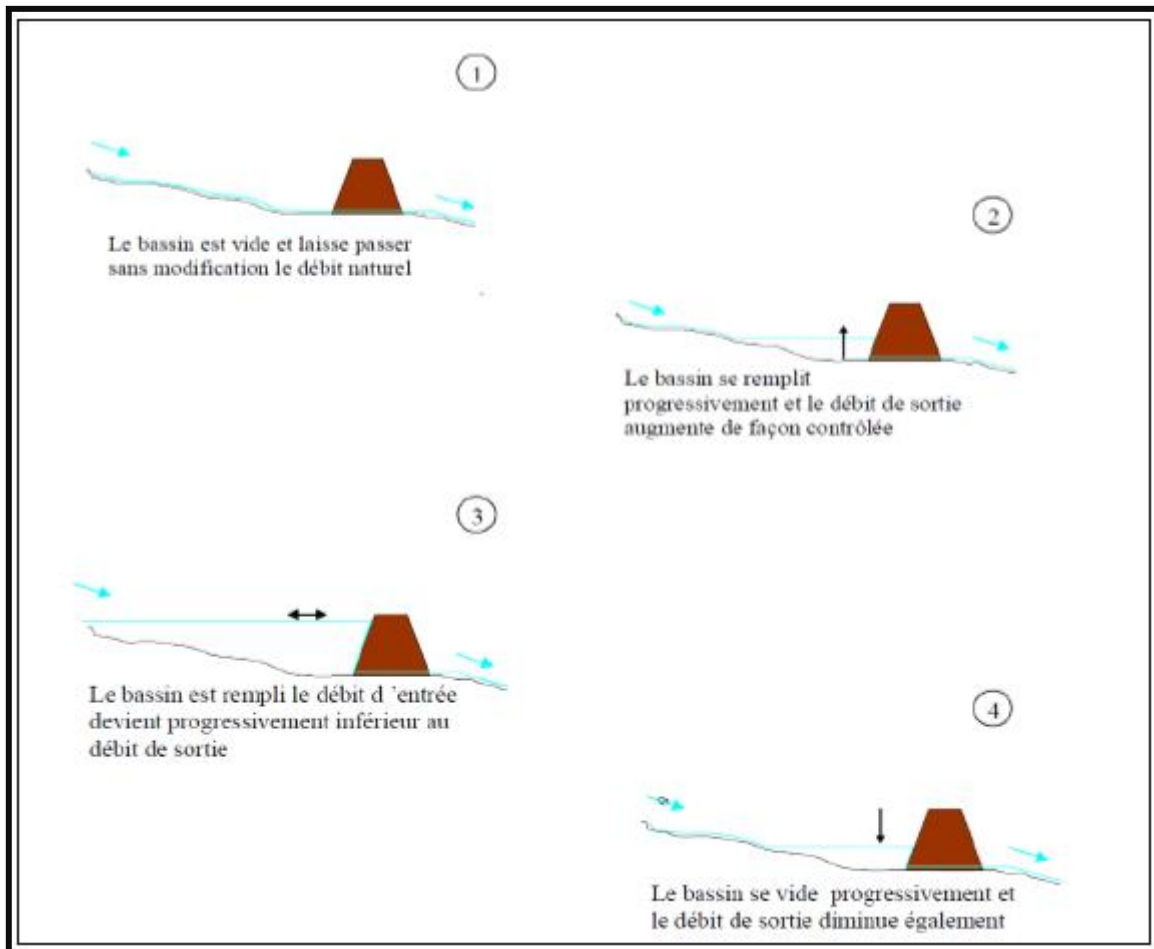


Figure VI.3 Schéma principal de bassin d'Amortissement.

Ce bassin permet de stocker les eaux pluviales pour lutter contre les inondations. Après ce stockage, elles sont évacuées vers un exutoire de surface ou infiltrées dans le sol. Ils assurent la circulation d'un volume d'eau fixé dans le cours d'eau quelque soit le débit extrême (crue) et contribuent le traitement des eaux pluviales avant rejet dans le milieu naturel.



**Figure VI.4** Principe de fonctionnement de bassin d'Amortissement.

### VI.3.2 Les avantages et les inconvénients

#### *Avantage*

- ✓ Bonne intégration paysagère possible.
- ✓ Réduction des débits de pointe à l'exutoire.
- ✓ Dépollution efficace des eaux pluviales par décantation des particules.
- ✓ Bon retour d'expérience facilitant la conception et l'exploitation.

#### *Inconvénients*

- ✓ Les bassins de rétention peuvent avoir une importante emprise foncière.
- ✓ La fréquence d'entretien va varier selon le type de bassin, selon sa capacité et la qualité des eaux pluviales retenues.
- ✓ Dépôts de boues de décantation qu'il faut évacuer lorsque leur quantité induit une modification du volume utile de rétention. Cependant, la formation de ce dépôt prend beaucoup de temps car les volumes générés sont très faibles.
- ✓ Dépôts de flottants. Dépend de la nature des eaux retenues dans le bassin et de la présence ou non d'un système de « dégrillage » en amont.

### VI.3.3 Conditions et domaine d'utilisation

Les bassins d'Amortissement sont des ouvrages surtout adaptés aux milieux péri-urbain compte tenu de la surface foncière nécessaire. Durant la phase de conception, on s'assurera que les paramètres suivant soient respectés :

- ✓ La vidange des eaux de ce bassin doit être effectuée dans un laps de temps « respectable » pour qu'il puisse être fonctionnel lors d'évènements pluvieux successifs et pour des raisons de sécurité des riverains et de salubrité.
- ✓ Afin d'assurer la sécurité des riverains, si cela s'avère nécessaire suivant la morphologie (pente des talus ou profondeur du bassin trop importante) et l'implantation du bassin.
- ✓ Dès la mise en œuvre de l'ouvrage, l'accès permettant son entretien doit être fonctionnel.

### VI.4 Calibrage

Le calibrage est une opération dans le lit mineur du cours d'eau. Le principe de ce travail consiste à augmenter la débitante du lit de la reviré, soit en augmentant la section d'écoulement (la section de passage) par élargissement du lit et l'approfondissement ou les deux, soit en réduisant la rugosité du lit et du fond.

Ce type de travaux hydrauliques a été mis en œuvre très anciennement dans les zones urbaines et périurbaines, souvent accompagné d'endigements étroits, pour réduire la fréquence des inondations (diminuer la fréquence des submersions). Il a été utilisé de manière quasi systématique dans les zones rurales.

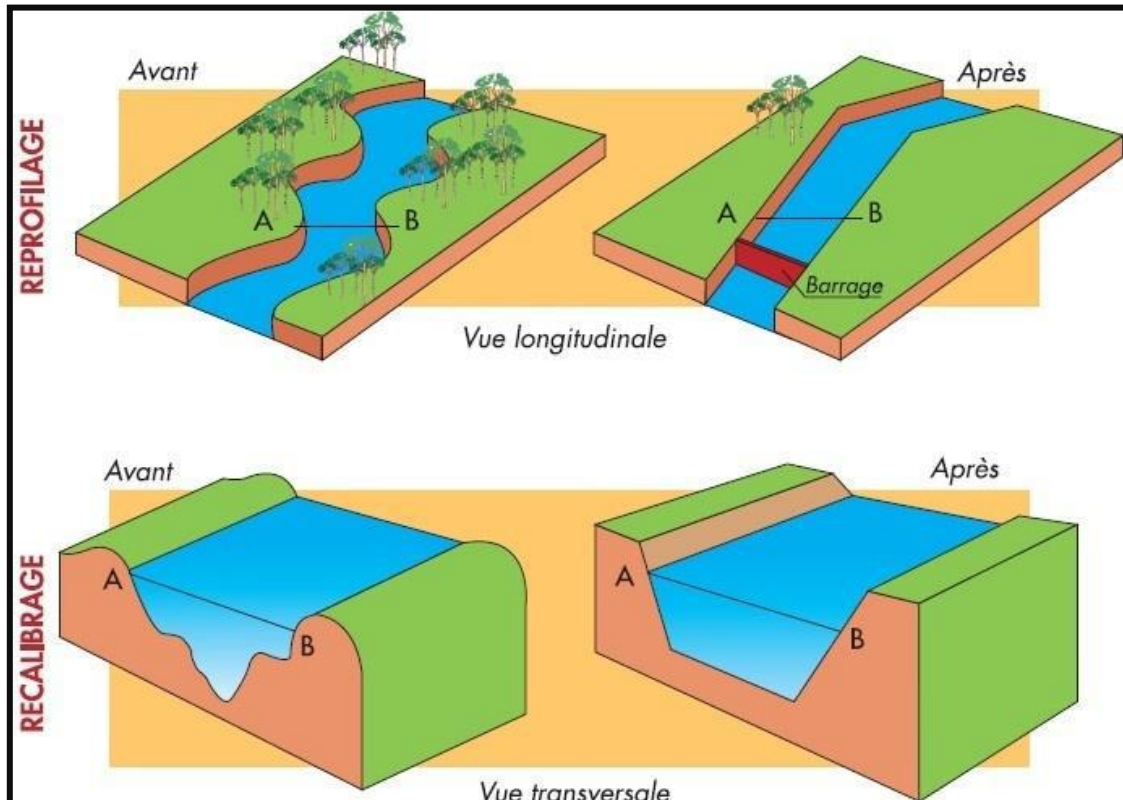


Figure VI.5 Calibrage et chenalisation d'un cours d'eau.

### VI.4.1 Les conséquences d'un calibrage

#### VI.4.1.1 Sur les débits de pointe

Un calibrage a forcément pour conséquence de diminuer localement la fréquence des submersions et donc de diminuer l'effet de laminage des crues par épandage dans le lit majeur.

#### VI.4.1.2 Morphologiques pour le profil en long

Les conséquences sur le profil en long d'un calibrage avec risberme sont analogues. Si la risberme est fréquemment inondée, elle est l'objet de dépôts fins ou grossiers et se surélève.

Lorsque des vieux seuils sont supprimés, une érosion régressive s'en suit ainsi qu'un exhaussement aval.

#### VI.4.1.3. Morphologiques pour les berges

Un calibrage s'accompagne souvent, comme on l'a vu, d'un enlèvement important de la végétation, ce qui accroît la sensibilité des berges à l'érosion.

De plus, un calibrage entraîne une augmentation de la vitesse de l'eau. Une conséquence directe est l'accroissement de l'érosion en rive concave. Il faut aussi noter que l'augmentation des vitesses infléchit vers l'aval le courant dans les coudes.

Comme on trouve une autre conséquence est l'augmentation de la rapidité de la décrue (problème d'hydraulique transitoire). La stabilité au glissement des berges est donc affectée. Les solutions sont :

- ✓ L'adoption de pentes de berges suffisamment douces pour améliorer la tenue au glissement.
- ✓ La pose de matériaux plus résistants dans les coudes les plus prononcés.
- ✓ Et chaque fois qu'il est possible le maintien des arbres ou au moins des souches et le maintien des seuils existants.

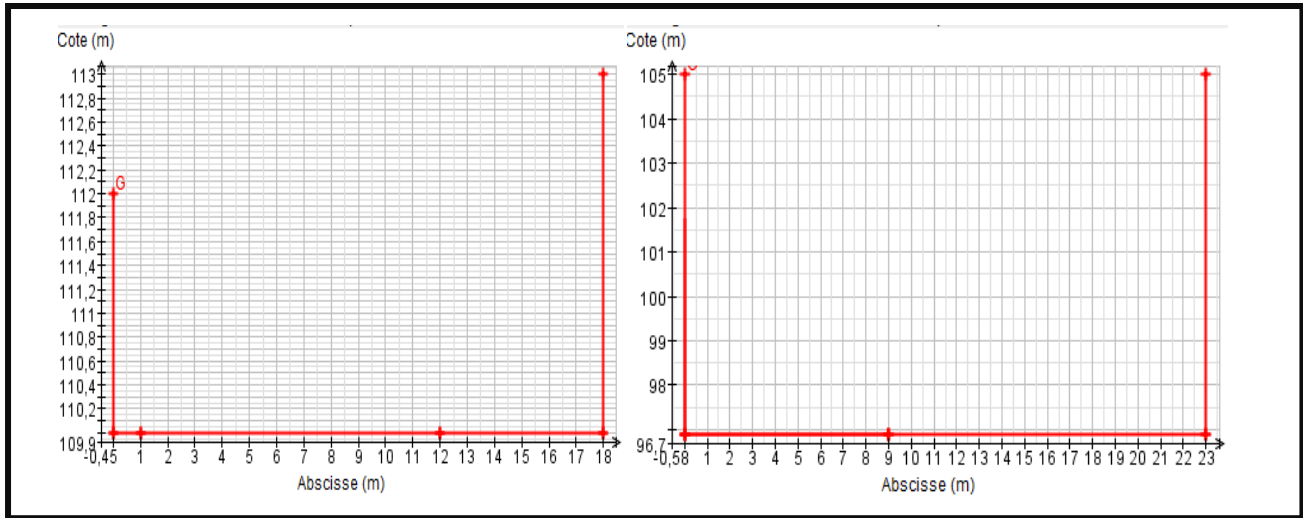
### VI.4.2 Les inconvénients du calibrage

Parmi les inconvénients de cette technique on trouve :

- ✓ Aggravation des inondations au débouché dans un tronçon aval non recalibré.
- ✓ Evacuation accélérée : moindre recharge des nappes en crue.
- ✓ Pour les habitats aquatiques, fort remaniement de la géométrie et du substrat, perte des abris en berge. en étiage, faible tirant d'eau si la géométrie des sections est trop régulière : températures trop fortes, oxygénation en baisse.
- ✓ Déconnexion des annexes fluviales, perturbation du cycle de reproduction de certaines espèces.
- ✓ Perturbation du transport solide : érosions et/ou dépôts.
- ✓ Augmentation des contraintes hydrauliques en crue.

### On utilisera méthode de calibrage

Nous allons calibrer le tronçon d'oued djenane de 3500 m, en d'autres termes transformer toutes des sections (38) irrégulières en forme de rectangles comme la figure suivante :



**Figure VI.6** des sections après le calibrage (0+977m)et(2+679)

Il n'y a pas de débordement après le calibrage dans le période de roture de 100 ans

### VI.5 Conclusion

On conclut que le ralentissement dynamique peut atténuer les crues d'un cours d'eau c'est à dire en diminuer et en étaler la pointe, en cherchant à freiner les écoulements avant leur arrivée dans le lit du cours d'eau, à mobiliser les capacités d'amortissement offertes par les débordements des crues dans le lit majeur et à stocker temporairement une partie des volumes de crue dans des ouvrages spécifiques.

Pour la protection actuelle des crues on utilise le calibrage des sections d'oued Djenane mais à la grande échelle on trouve le bassin d'amortissement et le barrage écrêteur.

# **CONCLUSION GENERALE**

## Conclusion Générale

Le bassin versant d'oued djenane en amont occupe une surface de 207,43 km<sup>2</sup> avec un périmètre de 65,86km, il est dans le 5ème grand bassin en Algérie chett El Hodna . Il est situé au centre de l'Algérie avec une superficie de 26000 km<sup>2</sup> ,

Ce bassin est caractérisé par un climat semi aride (la température moyenne est de 18 °C) qui donne un réseau hydrographique irrégulier. corrélation sont entre 0,68 à 0,97 dans le cas de la pluie annuelle et de 0,60 à 0,90 pour la pluie journalière maximale. Concernant l'ajustement des pluies aux lois de probabilité, on constate que la pluie maximale journalière s'ajuste bien à une loi de Gulton,

A partir des données morphologique et pluviométrique existantes, on a choisi l'approche empirique pour calculer les débits extrêmes à différentes fréquences caractéristiques physico géographiques propres à bassin versant.

Cette méthodologie traduit la liaison entre le débit, la durée et la période de retour qui est très utilisée dans l'étude de la vulnérabilité. La connaissance du modèle empirique en débit seuil a permis de tracer les hydrogrammes fréquentielles, qui constituent des éléments essentiels à l'entrée du modèle hydrodynamique dans un but de déterminer l'aléa d'une inondation caractérisée par une période moyenne de retour T.

Pour la simulation des crues on utilisé le code de calcul Rubarbe (Irstea-lyon) qui calcule les écoulements unidimensionnels non permanent dans les cours d'eau naturels, et qui capable de simuler les oueds à court, moyen et à long terme. Ce code donne les débordements des crues en fonction de temps dans chaque section de l'oued simulé.

### Conclusion Général

Etude de la vulnérabilité du bassin versant d'oued djenane aux inondations. Dans cette étude on a simulé un tronçon d'oued djenane de 3500 m traverse de la ville de Sidi Aissa périodes de retour 500 ans, 100 ans et 1000 ans. Les résultats obtenus nous ont permis de délimiter (sur une carte de Google Earth) avec une précision acceptable les limites d'inondation dans la ville prévisibles pour les différentes périodes de retour (50, 100 et 1000 ans).

Les résultats de notre étude peuvent être améliorés en couplant le code 1D dans le lit mineur avec un code 2D dans le lit majeur sur une carte topographique plus précise. L'utilisation d'autres méthodes de prédétermination des crues, notamment celles basée sur l'hydrométrie peut considérablement augmenter la précision de l'étude.

Et à la fin de l'étude, nous avons proposé une moyenne de protection contre le risque d'inondation (calibrage), mais à la grand d'echel on trouve le bassine d'amourtsiment et le barrage écrêteur.

# List Biographie

### Référence :

[1] : Tempsreel\_nouvelobs, adresse URL :

([Http://tempsreel.nouvelobs.com/monde/20120929.OBS3994/six-morts-dans-des-inondations-enespagne.html](http://tempsreel.nouvelobs.com/monde/20120929.OBS3994/six-morts-dans-des-inondations-enespagne.html)), date : 08-01-2013, heure : 19 :23.

[2] : Journal d'El Khabar, adresse URL :

(<http://www.elkhabar.com>), n° 408, date : 28-11-2012, heure : 17 :15.

[3] : Journal Djazairess, adresse URL :

(<http://www.djazairess.com>), n° 5420, date : 28-11-2012, heure : 19 :06.

[4] : Office fédéral de l'environnement OFEV de l'OMC, département de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication, adresse URL :

([Http://www.bafu.admin.ch/naturgefahren/01916/01949/index.html?lang=fr](http://www.bafu.admin.ch/naturgefahren/01916/01949/index.html?lang=fr)), date: 28-12-2012, heure :16 :15.

- **Belagoune, F., 2012**, *Etude et modélisation des crues des cours d'eaux en milieu semi aride ( cas des grands bassins versants 05, 06 et 07 )*, Thèse de magister en hydraulique, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 157 p.
- **Belloula, M., 2008**, *Modélisation des écoulements et perspectives de prévention contre les risques d'inondation dans quelques bassins de la Medjerda (Confins Algéro-Tunisiens)*, Thèse magister en aménagement du territoire, Université du Colonel El Hadj Lakhedar, Batna, pp. 117 - 123.
- **Berthier, I., 1995**, aux sources du droit, diagonal février 1995, 3 p.
- **Berz, G., 2000**, *Flood disasters: lessons from the past – worries for the future. Proc Instn Civ. Engrs Water & Mar. Engng*, 2000, vol. 142, pp. 3 - 8.
- **Boubchir, A., 2007**, *Risques d'inondation et occupation des sols dans le Thore*, Institut Daniel Faucher, 17 p.
- **Boumesseneh, A., 2007**, *Les inondations dans la ville de Biskra, causes et impacts*, Thèse de magister, Université du Colonel El Hadj Lakhedar, Batna, 109 p.
- **Bravard, J. P., 1991**, *La dynamique fluviale à l'épreuve des changements environnementaux: quels enseignements applicables à l'aménagement des rivières ? La houille blanche*, décembre 1991, n°7-8, 515 p.
- **Gilard O. et Gendreau N., 1998**, *Inondabilité : une méthode de prévention raisonnable du risque d'inondation pour une gestion mieux intégrée des bassins versants*, Revue Sciences de l'eau, Vol. 11, n°3, pp. 429 - 444.

- **Mate M., 1997**, *Analyse et modélisation de la répartition spatiale de la neige transportée par le vent sur des sites d'avalanches et sur des domaines skiabiles*, Thèse de doctorat, Cemagref division Nivologie, Université Joseph Fourier, Grenoble I, 180p.
- **Yahiaoui, A., 2012**, *Inondations torrentielles\_ cartographie des zones vulnérables en Algérie du nord (cas de l'oued Mekrria, wilaya de Sidi Bel Abbés)*, Thèse de doctorat, Ecole Nationale Polytechnique, 186 p.
- **Torterotot, J. P., 1993**, *Le coût des dommages dus aux inondations : estimation et analyse des incertitudes*, Thèse de doctorat, spécialité Sciences et Techniques de l'Environnement, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 284 p.
- **Dauphine, A., 2005**, *Risques et catastrophes : observer, spatialiser, comprendre, gérer*, édition A.Colin, Paris.

[5] : P.D.A.U (Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme) de la ville de Sidi Aissa

[6] : Subdivision de ressource d'eau

[7] : l'A.N.R.H (Agence Nationale des Ressources Hydraulique)

[8] : (DGPC), Direction Générale du Protection Civil, Algérie, 2007.

[9] : TOUAIBIA.B ; Manuel pratique d'hydrologie, ENSH, Blida, Algérie. 2004.

[10] : MEKKI ELYAKOUT, Etude de protection de ville Ain khadra contre inondation par logiciel HEC-RAS. Université Mohamed Boudiaf - M'sila ; Année universitaire ; 2016 /2017.

[11] : ADOUI Halima, Etude de la vulnérabilité du bassin versant du Hodna aux inondations, Université Mohamed Boudiaf - M'sila ; Année universitaire ; 2012 /2013.