

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf -Mila**  
**Institut des Sciences et Technologie**  
**Département de Sciences et Technique**



N° Ref :.....

Projet de Fin d'Etude préparé en vue de l'obtention du diplôme de  
**MASTER**

Spécialité : *Hydrauliques urbaine.*

**Contribution à la protection de centre-ville d'Aïn  
Mellouk wilaya de Mila contre les inondations**

Réalisé par :

-Bououden Zineb

-Kouadra Zeyneb

Soutenu devant le jury :

M<sup>me</sup> *Boumessenegh A.*

Mr *Koussa M.*

M<sup>me</sup> *Chebbah L.*

Président

Examineur

Promoteur

**Année universitaire : 2019/2020**

# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail à :*

*Ma très chère mère qui m'a toujours apporté son amour et son affection*

*Mon cher père, qui m'a toujours encouragé, conseillé et soutenu dans mon travail*

*A mes chères sœurs Amira, Khalida et son époux Badreddine et leurs fils*

*Sirajeddine*

*A mes chères frères Imad, Haytem, Aymen, et Souhaib*

*A mon fiancé Abdelmalek Loucif pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral*

*À Mon prof encadreur M<sup>me</sup> KABOUR CHEBBAH .L*

*Tous mes amies : Romaysa , khaoula ,Samar, khaoula, Malak, Nadjat et à la promo Hydraulique 2020 pour tous les moments de joie et de bonheur que nous avons partagé.*

*A mon binôme Zeyneb Qui m'a aidé du mieux qu'elle a pu et a donné le meilleur d'elle dans l'élaboration de ce travail.*

*Je le dédie à tous ceux que ma plume à oublier mais qui sont dans mon cœur.*

*Bououden Zineb*

# *Dédicaces*

*Je voudrais d'abord dédier cet humble travail à:*

*Ma mère qui a beaucoup sacrifiée pour moi.*

*Et à mon père Allah yerahemo qui m'a tout donné pour réaliser mes rêves.*

*Et à ma chère sœur, Mounira, qui m'a toujours soutenu et m'a fourni tout le soutien et les encouragements nécessaires.*

*À toute ma grande famille Kouadra et Bouhennache Surtout ma tante souria, pour tout le soutien moral et les encouragements.*

*À mes amis: Aya, Sonia, Donya, et les amis d'enfance d'Amina et Warda.*

*Et à la promo Hydraulique 2020 pour tous les moments de joie et de bonheur que nous avons partagé.*

*Et un merci tout spécial à mon binôme Zineb pour tous les efforts qu'elle a déployés pour développer ce travail.*

*Kouadra Zeyneb*

# *Remerciement*

*En premier lieu, nous remercions dieu le tout puissant pour nous avoir accordé le courage, la force et la patience de mener à bien ce modeste travail.*

*Nos remerciements à tous ceux qui ont contribué techniquement ou moralement à l'aboutissement de ce travail.*

*Nous tenons à remercier tout d'abord notre encadreur **M<sup>me</sup> KABOUR CHEBBAH .L,** qui nous encadre et nous dirige tout au long de la réalisation de ce projet, pour sa confiance, ses remarques et ses conseils disponibles et sa bienveillance.*

*Nous tenons à remercier également les membres de jury, pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Je voudrais également remercier tous mes enseignants du département de sciences et technique pour tout effort.*

*Un remerciement spécial à Mr Khalifa Zoheir et Lakehal Fateh Ingénieurs au niveau de la Direction des Ressources en Eau de la wilaya de Mila pour leur soutien et conseil.*

*Enfin, mes sincères remerciements s'adressent à tous ceux qui m'ont apporté leur aide et leur appui pour mener à bien ce travail.*

*Bououden Zineb*

*Kouadra Zeyneb*

---



---

## *Sommaire*

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Résumé	
Introduction générale .....	1

### **Chapitre I : Généralités sur les inondations**

Introduction : .....	3
I.1. Définition : .....	3
I.1.1. La crue : .....	3
I.1.2. L'inondation : .....	3
I.2. Les types des inondations : .....	4
I. 2. 1. Stagnation d'eaux pluviales : .....	4
I. 2. 2. Débordement d'un cours d'eau : .....	5
I. 2. 3. Remontée de la nappe phréatique : .....	5
I. 2. 4. Rupture d'ouvrages de protection, ou d'embâcle : .....	6
I. 2. 5. Inondations par submersion marine : .....	7
I. 2. 6. Inondation par débordement de réseau d'assainissement : .....	7
I. 2. 7. Crues torrentielles : .....	8
I.3. Eléments descriptifs d'une crue : .....	9
I.4. Risque : .....	9
I. 4. 1. L'Aléa : .....	10
I. 4. 2. La vulnérabilité : .....	10
I. 4. 3. Les types de risque : .....	11
I. 5. Causes et origines des inondations : .....	11
I. 5. 1. Causes d'origine naturelle : .....	11
I. 5. 2. Causes d'origine humaine : .....	12
I. 6. Les conséquences engendrées par les inondations : .....	12
I. 6. 1. Les conséquences négatives : .....	12
I. 6. 1. 1. Sociale : .....	12

I. 6. 1. 2. Économiquement :.....	13
I. 6. 1. 3. Environnemental : .....	13
I. 6. 2. Les conséquences positives : .....	13
I.7. Les inondations en Algérie : .....	14
I.8. Historique des inondations catastrophiques en Algérie :.....	14
I.9. Les différents types d'aménagement pour lutter contre les inondations :.....	16
I.9.1. Protection directe :.....	16
I.9.2. Protection indirecte :.....	16
I.10. Procédés de protection des agglomérations contre les inondations : .....	16
I.10.1. Curage : .....	16
I.10.2. Recalibrage :.....	17
I.10.2.1. Les inconvénients :.....	18
I.10.3. Réalisation des canaux : .....	18
I.10.4. Protection des berges : .....	19
I.10.5. Endiguement des oueds:.....	19
I.10.5.1. Les digues en charge en permanence : .....	20
I.10.5.2. Digue de protection contre les inondations :.....	20
I.10.5.3. Caractéristiques des digues de protection contre les inondations : .....	21
I.10.6. Création des canaux périphériques : .....	22
I. 10. 7. Changement d'occupation de sol : .....	22
I. 10. 8. Banquettes : .....	22
I. 10. 9. Reboisement : .....	23
I. 10. 10. Correction torrentielle : .....	23
I. 10. 11. Barrage écrêteur :.....	24
I.10.12. Les épis :.....	25
Conclusion : .....	25

## **Chapitre II : Présentation du site d'étude**

Introduction :.....	26
II. 1. Situation du site d'étude :.....	26
II. 1. 1. Situation dans le contexte régional :.....	26
II. 1. 2. Limites administratives :.....	26
II.2. Population :.....	27

II.3. Cadre géologique : .....	28
II.3.1. Aperçu général de la structure géologique : .....	28
II.3.2. Géologie : .....	28
II.4. Séismicités : .....	30
II. 5. Géomorphologie : .....	31
II.6. Aperçu climatique : .....	33
II. 6. 1. Situation climatologique : .....	33
II. 6. 2. Température : .....	34
II. 6. 3. Vent : .....	35
II. 6. 4. L'Evaporation : .....	35
II. 6. 5. Humidité : .....	36
II.7. Végétation : .....	37
II. 8. Ressources hydriques : .....	37
II. 9. Problèmes des inondations du centre-ville d'Aïn Mellouk : .....	38
Conclusion : .....	39

### **Chapitre III : Etude Géomorphologique**

Introduction : .....	40
III. 1. Présentation du bassin versant : .....	40
III. 1. 1. Définition du bassin versant : .....	40
III. 1. 2. Bassin versant d'Aïn Mellouk : .....	40
III.1.3. Caractéristique morphologique du bassin versant : .....	41
III. 1. 3. 2. Longueur du talweg principal : .....	42
III. 1. 3. 3. Indice de compacité de Gravelius : .....	42
III. 1. 3. 4. Le rectangle équivalent : .....	43
III. 1. 4. Relief : .....	43
III. 1. 4. 1. Répartition des surfaces et courbe hypsométrique : .....	44
III. 1. 4. 2. Les altitudes Caractéristiques : .....	47
III. 1. 4. 2. 1. Altitude maximale et minimale : .....	47
III. 1. 4. 2. 2. Altitude moyenne : .....	47
III. 1. 4. 3. Les indices de pente : .....	49
III. 1. 4. 3. 1. La pente du bassin versant : .....	49
III. 1. 4. 3. 2. Indice de pente moyenne : .....	49

III. 1. 4. 3. 3. Indice de pente globale : .....	49
III. 1. 4. 3. 4. Dénivelée spécifique : .....	50
III. 1. 5. Caractéristiques hydrographiques du bassin versant : .....	50
III. 1. 5. 1 La pente moyenne du cours d'eau principal: .....	50
III. 1. 5. 2. Le temps de concentration : .....	51
III. 1. 5. 3. Vitesse moyenne de ruissellement : .....	53
Conclusion : .....	54

## Chapitre IV : Etude hydrologique

Introduction : .....	56
IV.1. Analyse des données pluviométrique : .....	56
IV. 1. 1 Pluies journalières maximales : .....	57
IV.1.2. Pluies journalières maximales fréquentielle : .....	59
IV.1.3. Pluies de courte durée et l'intensité maximale : .....	60
IV. 1. 4. Pluies moyenne mensuelle interannuelles : .....	62
IV. 2. Etude des apports : .....	63
IV. 2. 1. Apports liquides : .....	63
IV. 2. 1. 1. Apport moyen interannuel : .....	63
IV. 2. 1. 2. Caractéristiques de l'écoulement : .....	66
IV. 2. 1. 2. 1. Module de l'écoulement : .....	66
IV. 2. 1. 2. 2. Module de l'écoulement relatif ou spécifique : .....	67
IV. 2. 1. 2. 4. Coefficient de l'écoulement : .....	67
IV. 2. 1. 2. 4. Coefficient de variation : .....	67
IV. 2. 1. 3. Etude fréquentielle des apports liquides : .....	69
IV.2.2. Apports solides : .....	70
IV. 3. Etude de crue : .....	71
IV. 3. 1. Débits moyen journalier de différentes fréquences : .....	72
IV. 3. 2. Débit maximum de crue : .....	72
IV. 3. 3. Hydrogramme de crue : .....	76
Conclusion : .....	83

## Chapitre V: Diagnostique et solutions

Introduction :.....	84
V.1. Identification des points névralgiques de la ville d'Aïn Mellouk : .....	84
V. 2. Identification des points noirs : .....	84
V. 3. Proposition d'aménagement :.....	85
V. 4. Généralités sur les ouvrages de protection contre les inondations proposées :.....	88
V. 4. 1. Gabion :.....	88
V. 4. 1. 1. Définition :.....	88
V. 4. 1. 2. Avantage : .....	88
V. 4. 1. 3. Caractéristiques du gabion : .....	89
V. 4. 1. 3.1. Homogénéité : .....	89
V. 4. 1. 3. 2. Déformabilité :.....	89
V. 4. 1. 3. 3. Perméabilité :.....	89
V. 4. 1. 3. 4. Simplicité des ouvrages : .....	89
V. 4. 1. 3. 5. Pérennité des ouvrages :.....	89
V. 4. 2. Canal à ciel ouvert : .....	89
V. 4. 2. 1. Définition :.....	89
V. 4. 2. 2. Avantages d'un canal trapézoïdal : .....	90
V. 4. 2. 3. Type de canal :.....	90
V. 4. 2. 3. 1. Canal naturel :.....	90
V. 4. 2. 3. 2. Canal artificiel: .....	90
V. 4. 2. 4. Géométrie des canaux : .....	91
V. 4. 3. Ecoulement dans les canaux : .....	92
V. 4. 3. 1. Types d'écoulement :.....	92
V. 4. 3. 1. 1. Ecoulement uniforme :.....	93
V. 4. 3. 1. 2. Ecoulement non uniforme : .....	93
V. 4. 3. 1. 3. Ecoulement non uniforme graduellement varié : .....	93
V. 4. 3. 1. 4. Ecoulement non uniforme rapidement varié : .....	93
V. 4. 3. 2. Régime d'écoulement :.....	93
V. 4. 4. Dimensionnement des canaux :.....	94
V. 4. 4. 1. Détermination du coefficient de CHEZY.....	95
V. 4. 4. 2. Calcul des paramètres géométriques :.....	96
V. 4. 4. 2. 1. Choix de la section du débit maximal :.....	96
V. 4. 4. 2. 2. Calcul de la profondeur normale : .....	97

V. 4. 4. 2. 3 Calcul de la profondeur et la pente critique : .....	97
V. 4. 4. 3. Calcul de la ligne d'eau : .....	98
V. 4. 4. 3. 1. Equation de la courbe de remous : .....	98
V. 4. 4. 3. 2. Forme de la courbe de remous : .....	99
V. 4. 4. 3. 3. Calcul de la surface d'eau : .....	101
V. 4. 4. 4. Calcul des paramètres de courbure du canal : .....	101
Conclusion : .....	102
Conclusion Générale .....	103
Bibliographie	

---

---

**Liste des tableaux**

**Chapitre I : Généralités sur les inondations**

**Tableaux I-1** : Les principales inondations catastrophiques en Algérie ..... 14

**Chapitre II : Présentation du site d'étude**

**Tableaux II-1** : Evaluation de la population..... 28

**Tableaux II-2** : Classes des pentes de la commune d'Aïn Mellouk ..... 32

**Tableaux II-3** : Températures moyennes mensuelles et saisonnières station de Hammam Grouz  
..... 34

**Tableaux II-4** : Evaporation moyenne mensuelles de la station de Hammam Grouz ..... 35

**Tableaux II-5** : Humidité relative moyennes mensuelles de la station de Hammam Grouz ..... 36

**Tableaux II-6**: Ressources en eaux mobilisées..... 38

**Chapitre III : Etude Géomorphologique**

**Tableaux III-1** : Les paramètres de forme ..... 42

**Tableaux III-2** : Indice de compacité de Gravelius ..... 43

**Tableaux III-3** : Répartition de la superficie partielle en fonction d'altitude BV d'Oued Krerba  
..... 44

**Tableaux III-4** : Répartition de la superficie partielle en fonction d'altitude du sous BV de  
Chaabat Lourarsa..... 45

**Tableaux III-5** : Répartition de la superficie partielle en fonction d'altitude du sous BV de  
chaabat Tabesbast..... 46

**Tableaux III-6** : Calcul de l'altitude moyenne du BV d'Oued Krerba..... 48

**Tableaux III-7** : Calcul de l'altitude moyenne du sous BV de chaabat Lourarsa ..... 48

**Tableaux III-8** : Calcul de l'altitude moyenne du sous BV de chaabat Tabesbast..... 48

**Tableaux III-9** : Classement du relief à partir de la dénivelée spécifique selon la classification  
de l'ORSTOM..... 50

**Tableaux III-10** : Temps de concentration par différentes méthodes..... 53

**Tableaux III-11** : Temps de concentration du sous bassin versant de chaabat Lourarsa..... 53

---

<b>Tableaux III-12</b> : Temps de concentration du sous bassin versant de chaabat Tabesbast .....	53
<b>Tableaux III-13</b> : Vitesse de ruissèlement .....	54
<b>Tableaux III-14</b> : Caractéristiques morphométriques des bassins versant.....	54

### **Chapitre IV : Etude hydrologique**

<b>Tableaux IV-1</b> : Postes pluviométriques proches du bassin d'Oued Krerba.....	56
<b>Tableaux IV-2</b> : La précipitation journalière maximale de la station de Bou Malek .....	57
<b>Tableaux IV-3</b> : Paramètres statistiques de la série pluviométrique .....	58
<b>Tableaux IV-4</b> : Calcul de Pjmax fréquentielle .....	59
<b>Tableaux IV-5</b> : Pluies maximales de durée Tc.....	60
<b>Tableaux IV-6</b> : Pluies et intensités de courte durée pour les différentes périodes de retour .....	61
<b>Tableaux IV-7</b> : Pluies moyenne mensuelle interannuelles de la station de Bou Malek .....	62
<b>Tableaux IV-8</b> : Lamme d'eau et l'apport moyen interannuel BV d'Oued Krerba.....	65
<b>Tableaux IV-9</b> : Distribution moyenne mensuelle des apports BV d'Oued Krerba.....	66
<b>Tableaux IV-10</b> : Lamme d'eau et l'apport moyen interannuel des sous BV .....	66
<b>Tableaux IV-11</b> : Distribution moyenne mensuelle des apports des sous BV .....	66
<b>Tableaux IV-12</b> : Les caractéristiques de l'écoulement BV d'Oued Krerba.....	68
<b>Tableaux IV-13</b> : Les caractéristiques de l'écoulement du sous BV de chaabat Lourarsa .....	69
<b>Tableaux IV-14</b> : Les caractéristiques de l'écoulement du sous BV de chaabat Tabesbast .....	69
<b>Tableau IV-15</b> : Les apports liquides de différentes fréquences .....	70
<b>Tableaux IV-16</b> : Variation de coefficient en fonction de la perméabilité du terrain.....	71
<b>Tableaux IV-17</b> : Taux d'érosion et Apports solides .....	71
<b>Tableaux IV-18</b> : Débit moyens journaliers de différentes fréquences .....	72
<b>Tableaux IV-19</b> : Valeur de $\phi$ en fonction de caractéristique bassin versant .....	75
<b>Tableaux IV-20</b> : Tableau récapitulatif des débits BV d'Oued Krerba .....	75
<b>Tableaux IV-21</b> : Tableau récapitulatif des débits des sous BV.....	76
<b>Tableaux IV-22</b> : Caractéristiques de la crue .....	77
<b>Tableaux IV-23</b> : Débits de crues pour différentes fréquences BV d'Oued Krerba.....	77

**Tableaux IV-24** : Débits de crues pour différentes fréquences du sous BV de chaabat Lourarsa ..... 79

**Tableaux IV-25** : Débits de crues pour différentes fréquences du sous BV de chaabat Tabesbast ..... 80

**Chapitre V: Diagnostique et solution**

**Tableau V-1**: Paramètres géométriques d'un canal trapézoïdal ..... 96

**Tableau V-2** : Type de canaux en fonction de la pente ..... 100

**Tableau V.3**: Condition de classification des courbes de remous ..... 100

---

---

**Liste des figures**

**Chapitre I : Généralités sur les inondations**

<b>Figure I-1</b> : Inondation dans la ville de Ghardaïa, Octobre 2008.....	4
<b>Figure I-2</b> : Inondation par stagnation d’eaux pluviales.....	4
<b>Figure I-3</b> : Débordement d’un cours d’eau .....	5
<b>Figure I-4</b> : Remontée de la nappe phréatique .....	6
<b>Figure I-5</b> : Rupture d’un barrage d’eau .....	6
<b>Figure I-6</b> : Inondations par submersion marine .....	7
<b>Figure I-7</b> : Inondation par débordement de réseau d’assainissement .....	8
<b>Figure I-8</b> : Crues torrentielles.....	8
<b>Figure I-9</b> : Eléments descriptif d’une crue .....	9
<b>Figure I-10</b> : Composantes du risque d’inondation.....	11
<b>Figure I-11</b> : Opération de curage de l’Oued traversant le Sud de la ville d’Ain Oulméne.....	17
<b>Figure I-12</b> : Recalibrage d’un cours d’eau .....	18
<b>Figure I-13</b> : Réalisation des canaux dans un oued dans la wilaya d’Alger.....	19
<b>Figure I-14</b> : Digue de navigation du Rhône en charge en permanence .....	20
<b>Figure I-15</b> : Positions de la digue par rapport aux cours d’eau .....	21
<b>Figure I-16</b> : Technique de Banquettes .....	23
<b>Figure I-17</b> : Correction torrentielle, ville de Grasse .....	24
<b>Figure I-18</b> : Schéma de fonctionnement d’un barrage écrêteur de crue .....	24
<b>Figure I-19</b> : Implantation des épis .....	25

**Chapitre II : Présentation du site d’étude**

<b>Figure II-1</b> : Limite administrative de la commune d’Aïn Mellouk .....	27
<b>Figure II-2</b> : Esquisse de la carte géologique de la région de Chelghoum Laid par Guy Durozou. 1960 .....	30
<b>Figure II-3</b> : Zones sismique et degré de vulnérabilité des territoires en Algérie .....	31

---

<b>Figure II-4</b> : Carte des pentes de la commune d'Aïn Mellouk .....	32
<b>Figure II-5</b> : Carte pluviométrique de la région de Mila .....	33
<b>Figure II-6</b> : Variation mensuelle de la température au niveau de la station de Hammam Grouz .....	34
<b>Figure II-7</b> : Evaporation moyenne mensuelles de la station de Hammam Grouz .....	35
<b>Figure II-8</b> : Humidité relative moyennes mensuelles de la station de Hammam Grouz .....	36

### **Chapitre III : Etude Géomorphologique**

<b>Figure III-1</b> : Délimitation du bassin versant d'Oued Krerba et son réseau hydrographique ....	41
<b>Figure III-2</b> : Courbes de niveau du bassin versant d'Oued Krerba.....	44
<b>Figure III-3</b> : Courbe hypsométrique du BV d'Oued Krerba.....	45
<b>Figure III-4</b> : Courbe hypsométrique du sous BV de Chaabat Lourarsa .....	46
<b>Figure III-5</b> : Courbe hypsométrique du sous BV de Chaabat Tabesbast.....	47

### **Chapitre IV : Etude hydrologique**

<b>Figure IV-1</b> : Courbes des pluies de courte durée fréquentielle du bassin versant d'Oued Krerba .....	61
<b>Figure IV-2</b> : Courbes intensité durée fréquence (IDF) du bassin versant d'Oued krerba .....	62
<b>Figure IV-3</b> : Diagramme représentatif des pluies moyennes mensuelles interannuelles de la station de Bou Malek .....	63
<b>Figure IV-4</b> : Hydrogramme des crues du BV d'Oued Krerba.....	82
<b>Figure IV-5</b> : Hydrogramme des crues du sous BV de chaabat Lourarsa.....	82
<b>Figure IV-6</b> : Hydrogramme des crues du sous BV de chaabat Tabesbast .....	83

### **Chapitre V: Diagnostique et solution**

<b>Figure V-1</b> : Identification des points noirs .....	85
<b>Figure V-2</b> : Figure schématique des ouvrages proposés Pour chaabat Tabesbast.....	86
<b>Figure V-3</b> : Figure schématique des ouvrages proposés Pour chaaba Lourarsa.....	87
<b>Figure V-4</b> : Géométrie d'un canal naturel.....	90

<b>Figure V-5</b> : Types de canaux artificiels .....	91
<b>Figure V-6</b> : Les types d'écoulement .....	92

## Résumé

Le problème des risques naturels, en particulier le danger des inondations, est l'un des sujets les plus répandus dans le monde en raison des grandes pertes humaines et matérielles qu'il entraîne, en particulier à la lumière des dernières inondations catastrophiques majeures. Et pour cela il est devenu plus nécessaire d'œuvrer pour atténuer les dommages causés par ce phénomène en rencontrant toutes les parties concernées et en utilisant tous les moyens disponibles et méthodes alternatives possibles.

Notre travail est centré sur la lutte contre le phénomène des inondations, et son objectif est de protéger le centre-ville d'Aïn Mellouk de ce phénomène. Et pour cela, nous avons réalisé une contribution à cette étude en plusieurs parties, basée sur:

- Collecter les principales données relatives à la zone d'étude.
- Etude hydrologique qui a permis de déterminer le débit de la crue potentiel.
- Propositions des solutions permettant de protéger le centre-ville d'Aïn Mellouk contre les inondations.

**Mots Clé :** Inondations, Aïn Mellouk, débit.

## ملخص

تعد مشكلة الأخطار الطبيعية وخاصة خطر الفيضان من بين المواضيع الأكثر انتشارا في العالم لما تسببه من خسائر بشرية ومادية كبيرة وخاصة في ضوء آخر الفيضانات الكارثية الكبرى، و لهذا أصبح أكثر من الضروري العمل على تخفيف الأضرار الناجمة عن هذه الظاهرة باجتماع كل الأطراف المعنية واستعمال جميع الوسائل المتوفرة و الطرق البديلة المتاحة والممكنة.

يتركز عملنا على مكافحة ظاهرة الفيضانات، و الغرض منه هو حماية مركز مدينة عين الملوك من هذه الظاهرة. و لهذا قمنا ب مساهمة في هذه الدراسة و المؤلفة من عدة أجزاء اساسها:

- جمع البيانات الرئيسية المتعلقة بمنطقة الدراسة
- دراسة هيدرولوجية سمحت بتحديد تدفق الفيضان المحتمل
- الحلول المقترحة التي تسمح بحماية مركز مدينة عين الملوك من الفيضانات.

**الكلمات المفتاحية :** الفيضان، عين الملوك، تدفق.

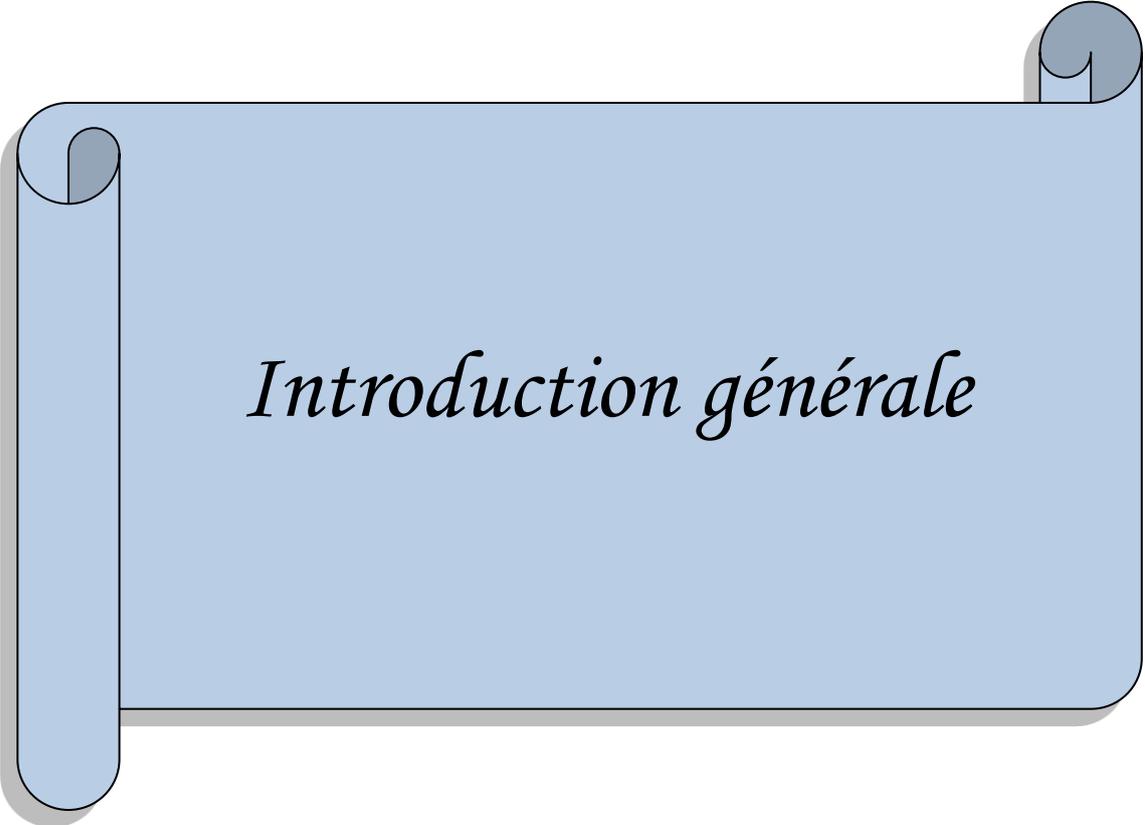
## **Abstract**

The problem of natural hazards, particularly the danger of floods, is one of the most widespread subjects in the world because of the great human and material losses it causes, especially in light of the recent major flood disasters. And for this reason it has become more necessary to work to mitigate the damage caused by this phenomenon by meeting with all parties concerned and using all available means and alternative methods.

Our work is focused on the fight against the flood phenomenon, and its objective is to protect the city center of Aïn Mellouk from this phenomenon. And for this purpose, we have made a contribution to this multi-part study, based on:

- Collecting the main data related to the study area.
- Hydrological study which allowed to determine the potential flood flow.
- Proposing solutions to protect the city center of Aïn Mellouk against flooding.

**Keywords:** Floods, Aïn Mellouk, flow.



*Introduction générale*

## **Introduction générale**

L'eau, très présente sur notre terre et indispensable à la survie de tout être vivant, animal ou végétal [a]. En général c'est la base de la vie, avec lui sera la vie et ça peut aussi être la mort, elle peut être une source bénéfique comme elle peut être une source de problèmes car l'eau, quand il y en a trop, peut entraîner des catastrophes telles que les inondations [1].

L'inondation parmi les catastrophes naturelles d'origine météorologique, hydrologique, et climatologique, il est défini comme étant une submersion d'un espace par l'eau liquide, est un des principaux risques majeurs classés au premier rang des catastrophes naturelles, causant le plus de dégâts dans le monde entier. Elles représentent 34% des catastrophes enregistrées à l'échelle mondiale entre 1990 et 2007 d'après les informations de l'International Disaster Database (IDD) du Centre de Recherche sur l'Epidémiologie des Désastres (CRED) [2].

Dans les années 1990, 87 les inondations avaient lieu en moyenne chaque année. Depuis les 2000, le chiffre a presque doublé 165 inondations sont comptabilisées en moyenne dans le monde tous les ans, entraînent la mort d'environ 500 000 personnes par ans, la destruction des villes et des villages, la propagation des maladies dangereuses et le gel de toute activité contribuant au développement des différents secteurs économiques et sociaux[b].

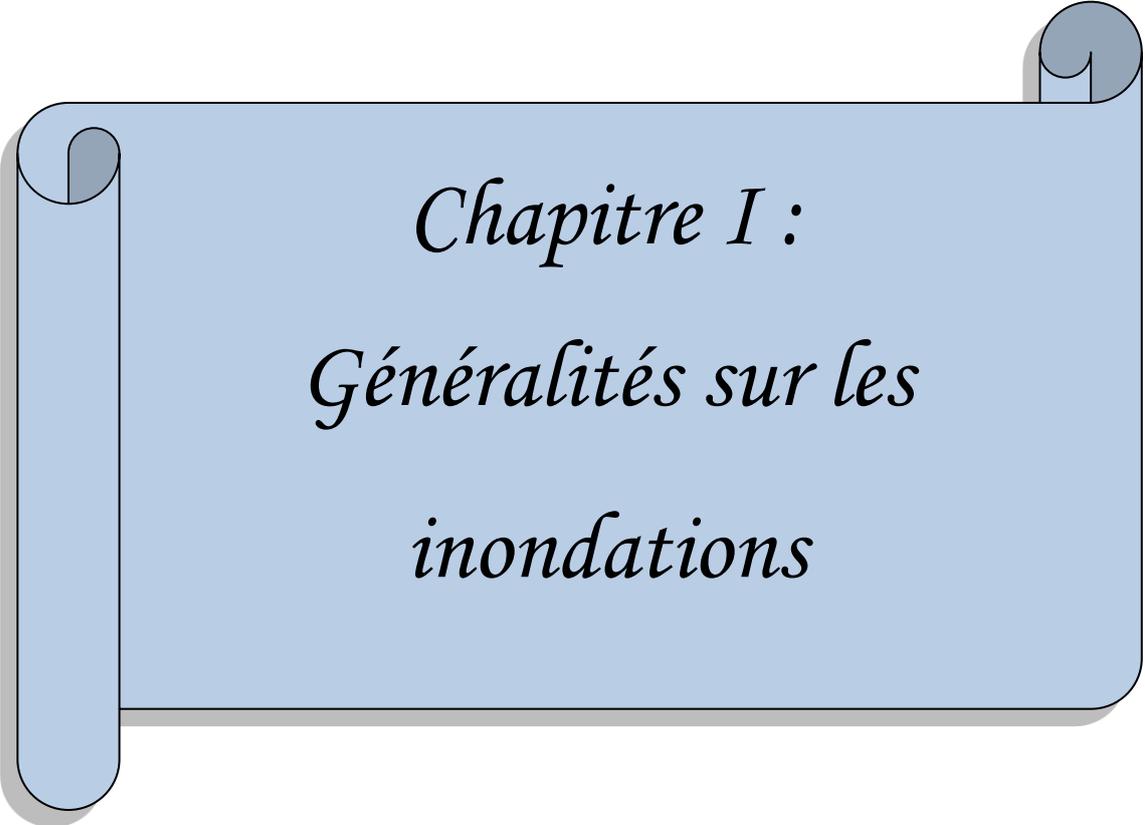
L'Algérie, de sa part, est confrontée aux phénomènes de crues et d'inondations qui sont plus fréquents que les séismes. Ces phénomènes provoquent des catastrophes plus destructrices et occasionnent d'importants dégâts humains et matériels. Les exemples de Bab El Oued – Alger en 2001, de Sidi Bel Abbes en 2006, de Ghardaïa en 2008 et El Bayadh en 2011 sont frappant. Les analyses faites à propos des crues et des inondations dans notre pays mettent en évidence leur violence et leur spontanéité ainsi que leur survenance brutale après une période de sécheresse.

L'inondation ne peut être, dans le cas de la ville d'Aïn Mellouk, qu'aléatoire ou accidentelle lors d'une crue produite par des pluies exceptionnelles, car elle se produit lorsque de l'eau en excès ne peut être évacuée par les voies naturelles (lits des cours d'eau) ou artificielles prévues à cet effet (réseaux d'évacuation des eaux pluviales).

Partant de ces considérations, le présent travail vise une étude de protection contre les inondations du centre d'Aïn Mellouk. Ce centre est située au Sud-Ouest de la wilaya de Mila à 52.7 km de chef-lieu, appartenant à la Daïra de Chelghoum Laïd.

Notre étude est scindée en quatre chapitres bien distincts :

- **Premier chapitre** : Généralités sur les inondations ;
- **Deuxième chapitre** : Présentation de site d'étude ;
- **Troisième chapitre** : Etude Géomorphologique ;
- **Quatrième chapitre** : Etude hydrologique ;
- **Cinquième chapitre** : Diagnostique et solution ;



*Chapitre I :*  
*Généralités sur les*  
*inondations*

**Introduction :**

Le phénomène des inondations est l'un des phénomènes naturels les plus loin d'être maîtrisable et qui laissent des lourds dégâts (humains et matériels) après leurs passages sur une région donnée.

Comme toutes les catastrophes naturelles, ce phénomène constitue l'une des plus sérieuses préoccupations des scientifiques, des pouvoirs de décision ainsi que de la population concernée.

**I.1. Définition :****I.1.1. La crue :**

La crue est une augmentation rapide, temporaire, et de courte durée du débit d'un cours d'eau. Elle est caractérisée par :

- Le débit ;
- La vitesse d'écoulement ;
- La hauteur d'eau ;
- La durée.

Il ya trois types de crues caractérisées en fonction du mode de propagation de l'onde de crue :

- **Les crues simples** (pluies intenses de courte durée affectant généralement l'ensemble du bassin)
- **Les crues multiples** (précipitation se succédant à un intervalle de temps inférieur au temps de réponse le plus long du bassin, ou pluies de longue durée)
- **Les crues complexes** (juxtaposant les deux types de crues précédents) [3].

**I.1.2. L'inondation :**

Les inondations sont les catastrophes naturelles les plus fréquentes et les plus destructrices. Il est défini comme une submersion rapide ou lente d'une zone pouvant être habitée (Figure I-1), par des eaux douces (fortes pluies, débordements de rivières,...etc.), ou il défini comme un débordement des eaux hors du lit mineur à la suite d'une crue [4].



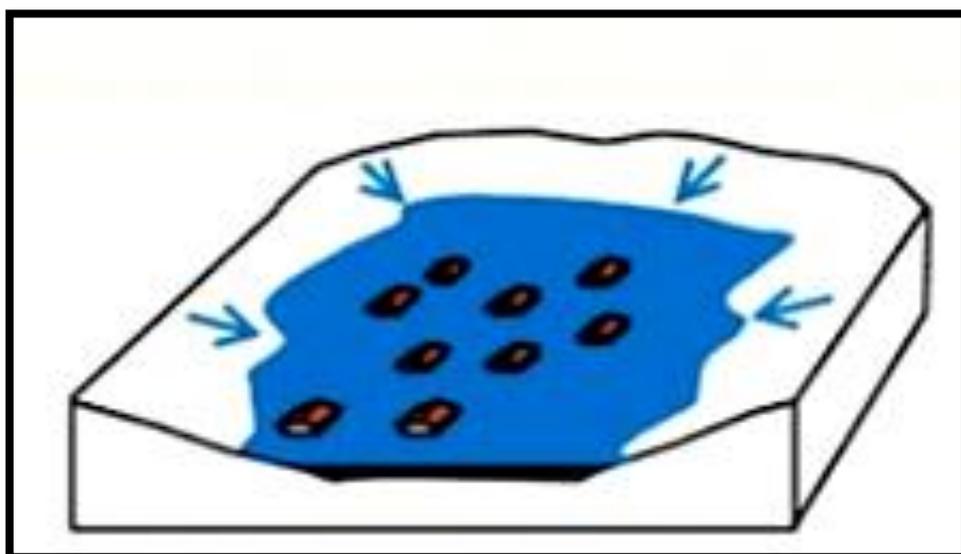
**Figure I-1 :** Inondation dans la ville de Ghardaïa, Octobre 2008 [3].

## **I.2. Les différents types des inondations :**

Il existe au moins sept types d'inondations :

### **I.2.1. Stagnation d'eaux pluviales :**

Les inondations par stagnation des eaux pluviales sont dues lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltration du sol, ou lorsque la capacité d'évacuation du réseau d'eaux pluviales est insuffisante (Figure I-2), ou bien lorsque le ruissellement se fait sur un sol déjà saturé par une nappe.



**Figure I-2:** Inondation par stagnation d'eaux pluviales [c].

### I.2.2. Débordement d'un cours d'eau :

Appelé aussi « les inondations de plaine » se produisent lorsque le débit de cour d'eau augmente et dépasse sa capacité, le cours d'eau sort de sont lit d'écoulement ordinaire pour occuper son lit majeur et inonder la plaine (Figure I-3).

Ce type d'inondation est provoqué suite à des pluies violentes et de longue durée, et lorsque la zone à une faible altitude et de faible pente.

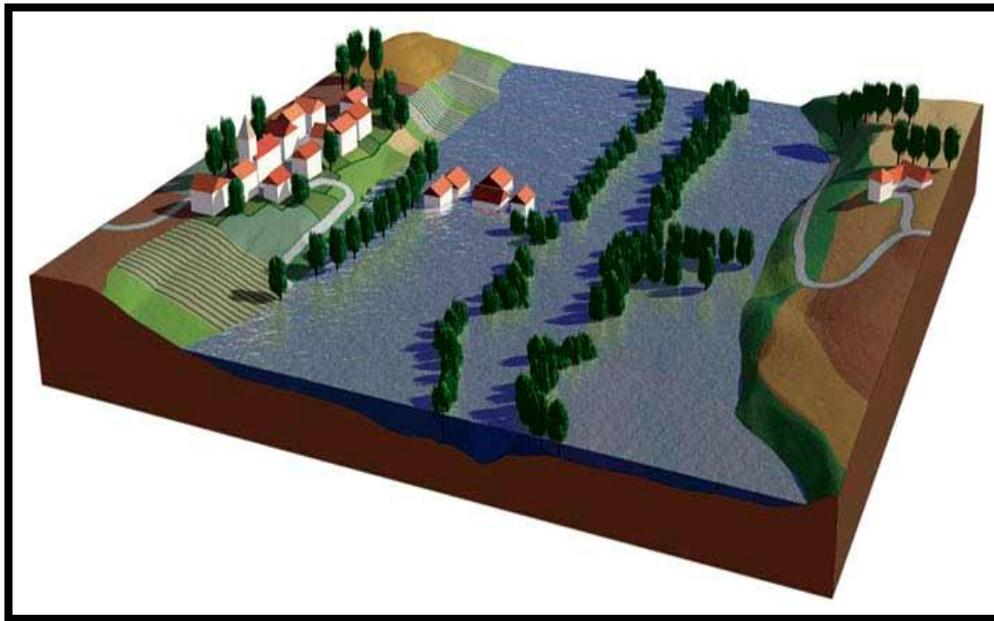


Figure I-3 : Débordement d'un cours d'eau [d].

### I.2.3. Remontée de la nappe phréatique :

Se produisent plutôt à la fin de l'hiver ou au printemps, lorsque le niveau des eaux souterraines est au plus haut et les sols sont saturés d'eau (disparition de la zone non saturée), celui-ci est plein et ne peut pas stocker davantage d'eau. Si la recharge perdue, le niveau de la nappe s'élève au-dessus du toit de l'aquifère et peut atteindre celui du sol (Figure I-4).

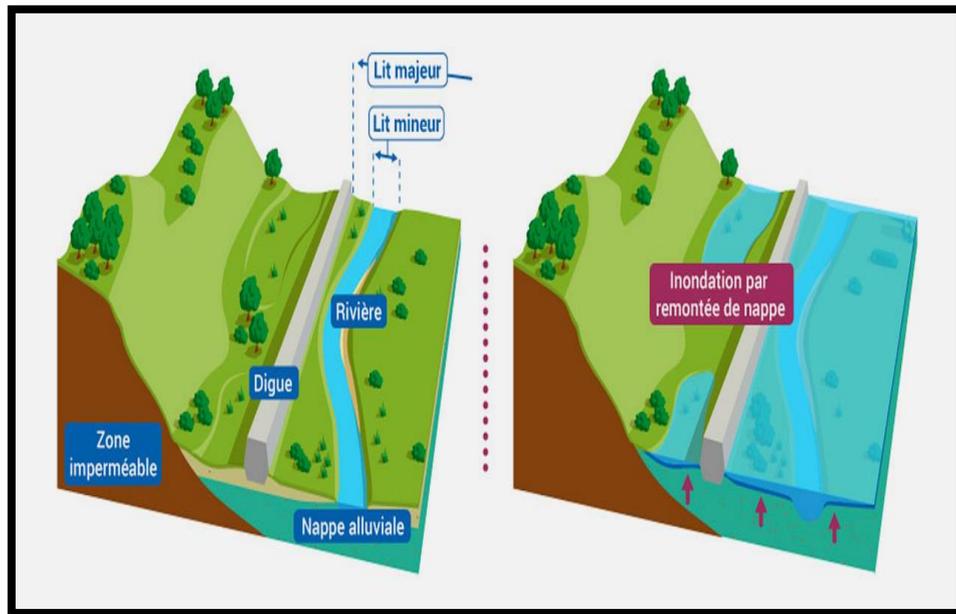


Figure I-4: Remontée de la nappe phréatique [e].

#### I.2.4. Rupture d'ouvrages de protection, ou d'embâcle :

Ce phénomène se produit en raison de la forte augmentation du niveau de l'eau et dépassant la capacité de la structure (le barrage, par exemple), ou par une rupture dans la structure ou un sous-dimensionnement de la structure ou du glissement de terrain.

L'effondrement de la structure fait couler très rapidement une grande quantité d'eau, causant de gros dégâts dans les zones proches du site (Figure I-5).

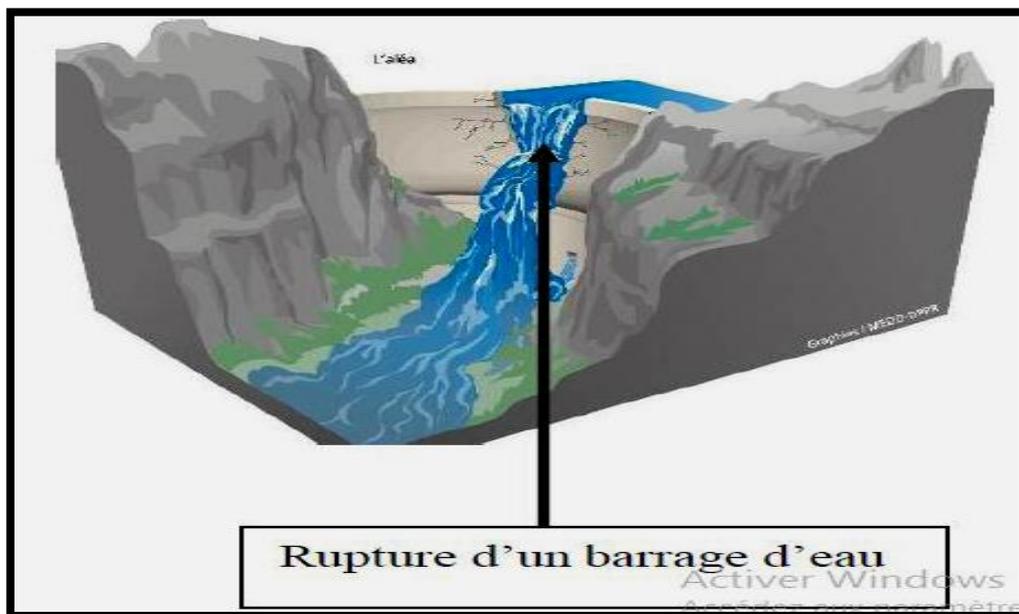


Figure I-5 : Rupture d'un barrage d'eau [5].

### I.2.5. Inondations par submersion marine :

Elles sont dues à des vagues de fortes amplitudes, à la rupture de digues ou d'ouvrages de protection, ou à la destruction d'un cordon dunaire (Figure I-6).

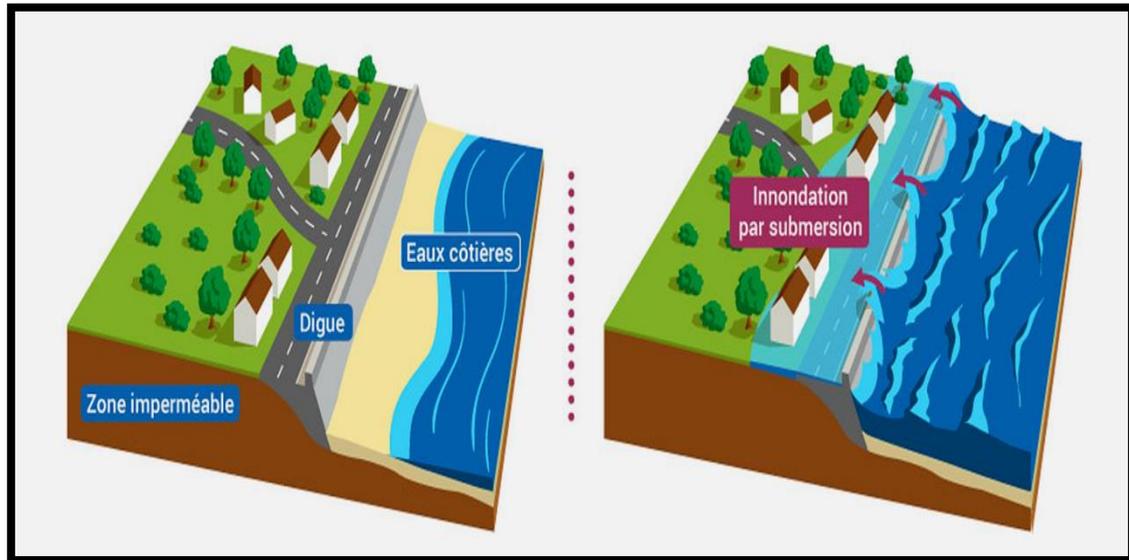


Figure I-6 : Inondations par submersion marine [e].

### I.2.6. Inondation par débordement de réseau d'assainissement :

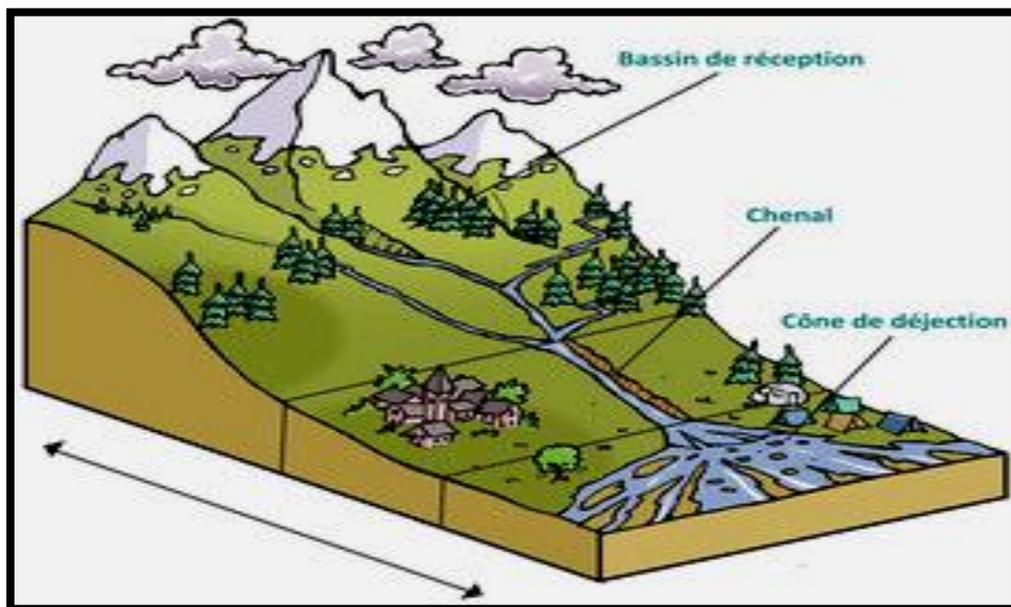
Ce type d'inondation concernant principalement les milieux urbanisés où il ya un peu d'infiltration à cause des terrains devenus imperméables car goudronnés, (Figure I-7) et le volume d'eau ruisselés ne sont pas absorbés par le réseau d'assainissement superficiel ou souterrain soit puisque elle dépasse la capacité, ou sous dimensionnement du réseau d'évacuation, ou il ya une obturation des fossés et canalisation enterrées.



**Figure I-7 :** Inondation par débordement de réseau d'assainissement [f].

### I.2.7. Crues torrentielles :

Aussi appelé crues « éclair » ont un temps de montée très court inférieure à 12 heures, brusques et violents (elles ont des vitesses d'écoulement importantes) résultant d'épisodes pluvieux intenses et localisés. Elles se produisent sur de petits bassins versants, les zones de montagne où la pente est forte, et les cours d'eau du périmètre méditerranéen [6] (Figure I-8).



**Figure I-8 :** Crues torrentielles [g].

### I.3. Eléments descriptifs d'une crue :

Une crue se caractérise par son hydrogramme graphique qui représente les variations de débit en fonction du temps.

L'hydrogramme (Figure I-9) se divise en 4 segments distincts :

- **La courbe de crue** : du début du ruissellement ;
- **Pointe de crue (segment de Pointe)**: puissance de la crue et durée de la période critique ;
- **La courbe de décrue** : c'est la partie descendante ;
- **La courbe de tarissement** : retour de la rivière au niveau antérieur à la crue.

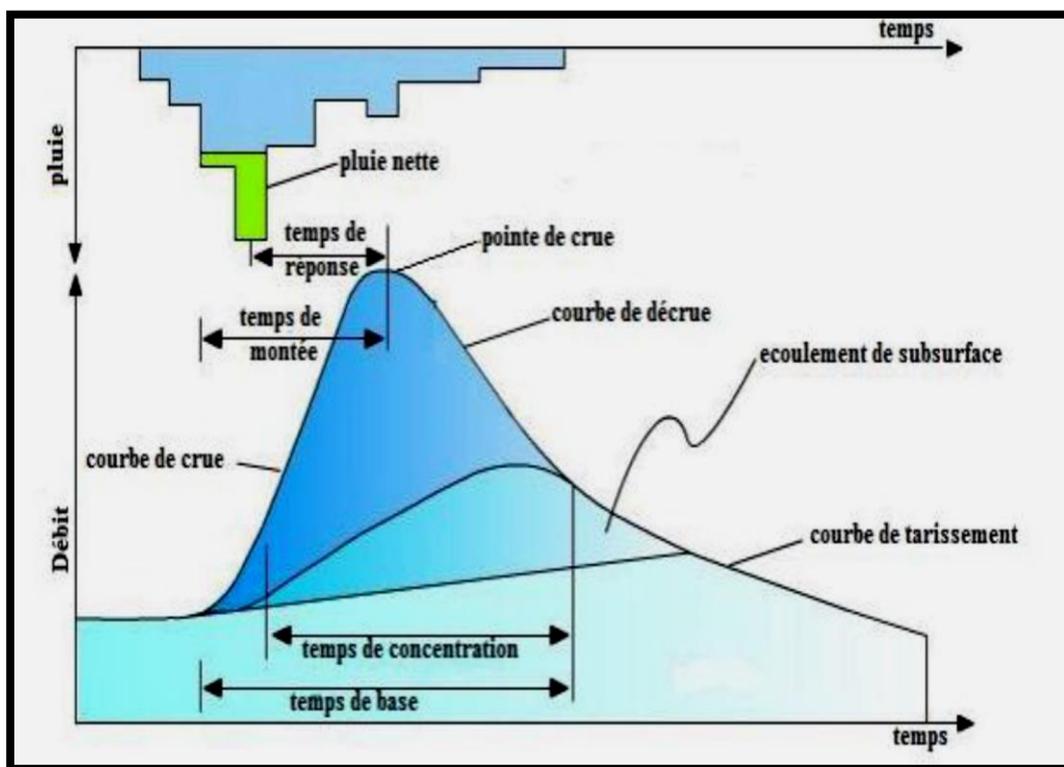


Figure I-9 : Eléments descriptifs d'une crue [5].

### I.4. Risque :

Le risque est une mesure de la probabilité et de la sévérité d'un effet défavorable pour la santé, pour les biens ou pour l'environnement.

La notion de risque d'inondation est une notion complexe faisant intervenir deux paramètres essentiels :

- L'Aléa ;
- La vulnérabilité ;

#### I.4.1. L'Aléa :

Un aléa est un composant essentiel du risque, il est défini comme la probabilité d'occurrence d'un phénomène naturel. Il se caractérise par plusieurs paramètres hydrauliques qui expliquent la capacité plus ou moins destructrice de l'inondation est sont :

- Le type ou la nature d'évènement ;
- L'intensité ;
- Probabilité d'occurrence ou la fréquence ;
- La localisation et l'étendue spatiale.

Il existe deux types de l'aléa :

- **Aléa naturel** : le PUND (Programme des Nations Unies pour le Développement) caractérise les aléas naturels comme ; « ... des phénomènes qui se produisent dans la biosphère susceptible de faire de différents dégâts, et qui peuvent être évités, si les activités humaines comme l'urbanisation arbitraire et la dégradation de l'environnement sont évités. »
- **Aléa anthropique** : Est un phénomène d'origine naturelle transformé, c'est-à-dire le déclenchement est nature, mais dans l'évolution (en terme d'intensité, de vitesse, d'orientation spatial, ...etc.) est lié à l'action humaine et, en particulier, aux modalités d'occupation des espaces concernés [7].

#### I.4.2. La vulnérabilité :

Elle se définit comme une évaluation de l'occupation humaine et économique d'un site, susceptible d'être affectée par l'aléa.

$$\text{Vulnérabilité} = \frac{\text{fragilité du site}}{\text{gestion(préventive)}}$$

Il existe trois types de vulnérabilité qui sont : La vulnérabilité physique, environnementale, et sociale.

$$\text{Risque} = \text{Aléa} * \text{Vulnérabilité}$$

- Si l'aléa augmente, le risque augmente → il est dit risque **positif** (Figure I-10)
- Si la vulnérabilité, augmente le risque augmente → il est dit risque **négatif** (Figure I-10).

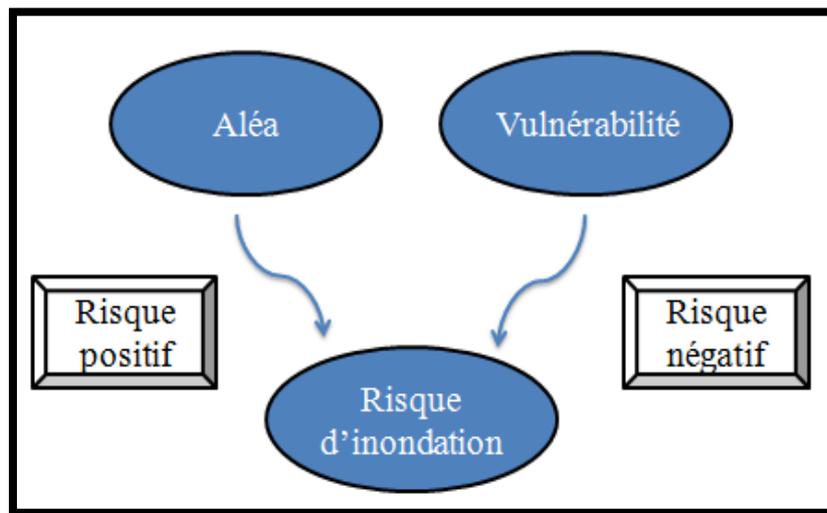


Figure I-10 : Composantes du risque d'inondation.

### I.4.3. Les types de risque :

Les risques sont regroupés dans deux grandes familles :

- **Risque naturel** : il peut être d'origine géologique (séisme, tsunami...), climatique (inondation...), environnementale (déforestation...).
- **Risques technologiques** : Ils regroupent les risques industriels, nucléaires, biologiques, rupture de barrage [7].

### I.5. Causes et origines des inondations :

#### I.5.1. Causes d'origine naturelle :

- La précipitation (quantité, répartition spatiale) ;
- L'occupation des sols (infiltration, évaporation, ruissellements) ;

- La fonte extraordinaire des neiges ou de glace ;
- Le relief ;
- La taille du bassin versant.

**I. 5.2. Causes d'origine humaine :**

- Urbanisation dans des zones inondables ;
- Les pratiques agricoles ;
- Mauvais aménagement des cours d'eau ;
- Défaillance système de protection ;
- Occupation et utilisation des sols .

**I.6. Les conséquences engendrées par les inondations :**

Les inondations sont des phénomènes naturels climatiques qui peuvent causer des dégâts majeurs et très lourds après leur passage sur une zone.

Les conséquences des inondations négatives et positives varient considérablement selon leur emplacement, leur durée, leur profondeur et leur vitesse.

**I.6.1. Les conséquences négatives :**

Les inondations ont un impact sur les individus et les communautés, et ont des conséquences sociales, économiques et environnementales.

**I.6.1.1. Sociale :**

Les inondations ont des conséquences sociales majeures pour les individus et les communautés on peut citer :

- La perte de vies humaines ;
- Les gens sont obligés de quitter leurs maisons et à perturber leur vie normale ;
- Les traumatismes psychologiques pour les victimes et leurs familles pendant de longues périodes, surtout les enfants ;

- Les conditions de santé se détériorent en raison de maladies d'origine hydrique.

**I.6.1.2. Économiquement :**

- Les activités économiques ont été interrompues en raison de la destruction et des dommages des centrales électriques, des routes et des ponts ;
- Perturbation de l'approvisionnement en eau potable, du traitement des eaux usées, de l'électricité, des transports et des communications ;
- La perte de valeur des terres dans les plaines inondables ;
- La réduction du pouvoir d'achat.

**I.6.1.3. Environnemental :**

- Perte de bétail ;
- Enlever la végétation à l'intérieur et autour des rivières ;
- Pollution de l'eau ;
- Dégradation et dégâts des cultures ;
- Contamination des denrées alimentaires côtières ;
- Propagation des mauvaises herbes ;
- La production de poisson à diminué.

**I.6.2. Les conséquences positives :**

Les inondations jouent un rôle important dans la préservation des fonctions des écosystèmes et de la biodiversité, elles visent à:

- Alimentation et recharge des réseaux d'eau souterrains ;
- Nettoyage des bassins versants ;
- Transport de sédiments et de denrées alimentaires nécessaire pour un système sain, car de nombreux sédiments et nutriments entrant dans un cours d'eau ont des effets négatifs sur la qualité de l'eau en aval [h].

## I.7. Les inondations en Algérie :

La plupart des pays du monde souffrent du phénomène des inondations, qui affectent sur le développement économique et social des pays. Le pourcentage d'impact varie d'une région à l'autre en fonction des conditions géographique, climatique et d'occupation de sols.

L'Algérie est l'un des pays méditerranéens les plus confrontés aux phénomènes d'inondation, ses principales causes se subdivisent en trois catégories :

➤ **Inondations liées à des situations météorologiques remarquables:**

Se traduisant par une forte pluviosité (pluies importantes et orages violents) tels que les inondations de décembre 1984 sur tout l'Est algérien [5].

➤ **Les inondations provoquées par des facteurs liés à l'effet de l'homme :** défaillance des réseaux d'assainissement et de collecte des eaux de pluie, le gonflement des oueds par les décombres, les troncs d'arbre, les débris et d'autres agissements humains qui favorisent les dégâts tels que la ville de Tiaret inondée presque à chaque hiver [5].

➤ **Inondations produites dans des régions à topographie défavorable :**

Comme le cas des villes traversées par des oueds tels que Bordj Bou Arreridj, Sidi Bel Abbes...etc. Ou situées au pied d'une montagne telle qu'Ain Deffa, Batna ...etc.) [5].

## I.8. Historique des inondations catastrophiques en Algérie :

On présente dans le (Tableaux I-1) par ordre chronologique, un bref aperçu des inondations catastrophiques survenues en Algérie :

**Tableaux I-1 :** Les principales inondations catastrophiques en Algérie [8].

Année	Région	Perte humaines	Perte économique
12/10/1971	Azazga	40 morts	/
28-31/3/1974	Tizi ouzou	52 morts et plus de 1800 sinistrés	4570 maisons détruite 130 village isolés (27 millions de DA)
1/9/1980	El Eulma	44 morts 50 blessés et 365 familles sinistrés	/

<b>11/11/1982</b>	Annaba	26 morts	/
<b>23/8/1983</b>	Djelfa	10 morts 10 blessés	200 habitations détruites, 1200 têtes de bétail comportées
<b>3/2/1984</b>	Est-algérien	20 morts 2346 familles sinistrés	144 maisons ,2 ponts et réseaux d'AEP détruites et 500 têtes de bétail comportées
<b>29/12/1984</b>	Jijel	29 morts et 11000 affectés	/
<b>5/7/1987</b>	Batna	2 morts	1,75 millions DA
<b>01 /9/1989</b>	Biskra	02 morts et 35 blessés	400 palmiers
<b>03/06/1991</b>	Ghardaïa	09 morts	Ponts, chaussées et réseaux d'assainissement avoisinant oued Mzab dégradés
<b>20 /10/1993</b>	Oued r'hiou	2 morts, 20 blessés et plusieurs disparus	dégâts matériels importants
<b>23 /9/1994</b>	Bordj Bou Arreridj, Msila, Djelfa, Médéa, Bouira, Ain Defla et Tiaret.	27 morts, 84 blessés et 941 familles sinistrées	/
<b>29 /9- 2/10/1994</b>	Ghardaïa, Laghouat, Biskra, Mascara, Tissemsilt, Sidi bel Abbas	21 morts 22 familles sinistrées	importants dégâts matériels plus de (270 millions de DA)
<b>1/11/ 1994</b>	Bechar	13 morts	4300 maisons détruites
<b>04 /4/1996</b>	Annaba - el Tarf	05 morts et 10 blessés	04 ouvrages endommagés
<b>4 /01/ 1999</b>	Adrar	12 morts et plusieurs disparus	174 habitations en toub détruites
<b>28/09/2000</b>	Bou Saada	01 mort	193 têtes de bétail emportées par les eaux
<b>14 /10/ 2000</b>	Ain Temochent	04 morts	/

<b>23/10/2000</b>	Naâma	05 morts et plusieurs disparus	/
<b>10/11/2001</b>	Bab-el oued	710 morts et 115 Disparus, 311 blessés et plus de 1454 familles sans abri	Dégâts matériels importants (30 Milliards DA)
<b>01/10/ 2007</b>	Sidi bel Abes	7morts et plus de 100 familles sinistrées	/
<b>1/10/ 2008</b>	Ghardaïa	43 morts, 84 blessés	600 habitations détruites.
<b>1-2/ 10/ 2011</b>	El bayadh	13 morts, 400 familles sinistrées	des dégâts matériels importants
<b>22/10/2015</b>	Djelfa	3 morts	/
<b>05/8/2018</b>	Tamanrasset	5 morts	/
<b>19/9/2018</b>	Constantine	2 morts	/

### **I.9. Les différents types d'aménagement pour lutter contre les inondations :**

Pour empêcher ces inondations de se produire, il est cependant possible d'en atténuer les effets ou d'en diminuer la fréquence en priorité au niveau des zones les plus sensibles et les plus exposées. Ces protections peuvent être réparties en deux groupes : directes et indirectes.

#### **I.9.1. Protection directe :**

Consiste à intervenir directement sur le site menacé.

#### **I.9.2. Protection indirecte :**

Consiste à intervenir plus loin des sites menacés, à l'extérieur du périmètre d'aménagement, en réalisant des ouvrages sur les oueds responsables des inondations.

### **I.10. Procédés de protection des agglomérations contre les inondations :**

#### **I.10.1. Curage :**

Qui permet une nette amélioration des conditions d'écoulement suite à l'élimination de tous les obstacles et les dépôts (Figure I-11) entravant l'écoulement des eaux dans le cours d'eau.

Le débroussaillage est également nécessaire à la traversée des agglomérations pour des raisons sanitaires et en section courantes pour diminuer la rugosité et accroître la débitance.



**Figure I-11** : Opération de curage de l'Oued traversant le Sud de la ville d'Ain oulméne [i]

### I.10.2. Recalibrage :

C'est la modification de la géométrie du lit mineur de cours d'eau par élargissement ou approfondissement du lit ou les deux à la fois, pour augmentant la section d'écoulement et par suite augmenter la capacité d'évacuation du cours d'eau (Figure I-12).

Le recalibrage des cours d'eau est probablement l'un des types d'intervention les plus fréquemment réalisé. Ce type de travaux hydrauliques a été mis en œuvre très anciennement dans les zones urbaines et périurbaines, souvent accompagné d'endiguements étroits, pour réduire la fréquence des inondations. Il a été utilisé de manière quasi systématique dans les zones rurales, particulièrement au cours des années **1950** à **1980**, pour diminuer la fréquence de submersion des terres agricoles. Notons que le recalibrage d'un cours d'eau a souvent été couplé à d'autres interventions telles que [5] :

- La rectification du lit mineur ;
- La protection des berges contre l'érosion ;
- La suppression de la ripisylve (systématique sur au moins l'une des deux berges) ;
- L'endiguement « rustique » (merlon réalisé avec les déblais du recalibrage).

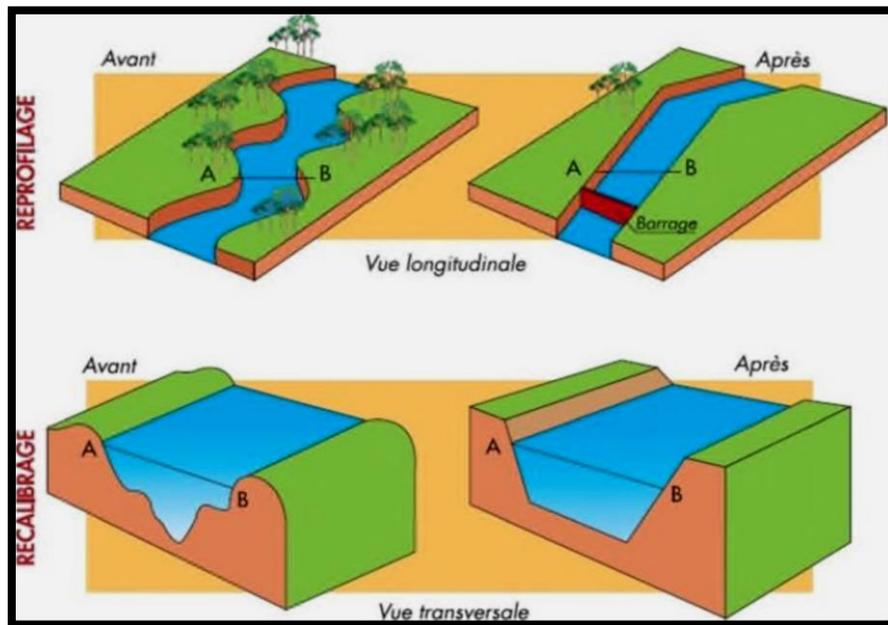


Figure I-12 : Recalibrage d'un cours d'eau [5].

#### I.10.2.1. Les inconvénients :

- Aggravation des inondations au débouché dans un tronçon aval non recalibré ;
- Evacuation accélérée : moindre recharge des nappes en crue ;
- 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.

#### I.10.3. Réalisation des canaux :

Permettant de régénérer le couloir initial de l'oued. Cette solution est indispensable dans le cas où le lit de l'oued et son domaine hydraulique ont été complètement occupé par des bâtiments ou par la voirie (Figure I-13).



**Figure I-13 :** Réalisation des canaux dans un oued dans la wilaya d'Alger [j].

#### **I.10.4. Protection des berges :**

Qui comprend tout ouvrage visant à maintenir la stabilité des terres en dépit de l'action de l'eau. Les berges sont en effet attaquées par des courants perturbateurs générés par les crues. De même, les terres glissent par suite de l'infiltration de l'eau après le retrait de la crue. La protection des berges est également nécessaire au voisinage de certains ouvrages tels que les ponts.

#### **I.10.5. Endiguement des oueds:**

C'est un processus effectué par la réalisation des digues qui longent le cours d'eau sur ses deux berges pour but de contenir des eaux ou de se protéger de leurs effets. Cette opération est aisément réalisable par les ressources locales en main-d'œuvre et en matériaux. Par ailleurs, ce type de protection permet en outre de réaliser une protection sélective.

Les digues sont divisées en deux grandes familles:

- Les digues en charge en permanence ;
- Les digues de protection contre les inondations.

**I.10.5.1. Les digues en charge en permanence :**

Une digue en charge en permanence est sollicitée en situation normale d'exploitation par la charge hydraulique. Ce cas correspond aux digues de navigation ou aux digues de dérivation pour certaines industries (hydroélectricité, nucléaire...).

Les digues de navigation le long des canaux à grand gabarit sont relativement récentes et en bon état. Par contre, les digues de navigation le long des canaux de plus petit gabarit sont plutôt anciennes, une partie d'entre elles datant du 19<sup>èm</sup> siècle. Les ouvrages sont donc hétérogènes et assez mal connus des gestionnaires. Les digues de navigation le long des canaux présentent divers profils, selon la topographie du site (Figure I-14).



**Figure I-14** : Digue de navigation du Rhône en charge en permanence [5].

L'effet d'un endiguement est d'empêcher le débordement pour des crues dont les débits sont inférieurs à ceux de la crue de projet. Au-delà de ces débits, le débordement aura lieu, ses conséquences sont souvent accrues du fait de vitesses d'écoulement importantes là où se produit la submersion.

**I.10.5.2. Digue de protection contre les inondations :**

Les digues de protection contre les inondations sont des ouvrages dont au moins une partie est construite en élévation au-dessus du niveau du terrain naturel et destinés à contenir épisodiquement un flux d'eau afin de protéger des zones naturellement inondables.

Les digues de protection contre les inondations constituent le deuxième grand type de digues (Figure I-15). On trouve ces digues essentiellement le long des cours d'eau, parfois positionnées directement en contact avec la berge, ou éloignées de plusieurs mètres.

Il existe un type particulier de digues de protection contre les inondations : les digues de ceinture, elles ont la particularité d'entourer, totalement ou partiellement, une zone à enjeux (ville, village, hameau...) en se rattachant à flanc de coteau.

Il s'agit d'aménagement longitudinal le long des berges qui sert à protéger de l'inondation des zones où sont présents des enjeux importants (habitations, zones commerciales industriels....etc).

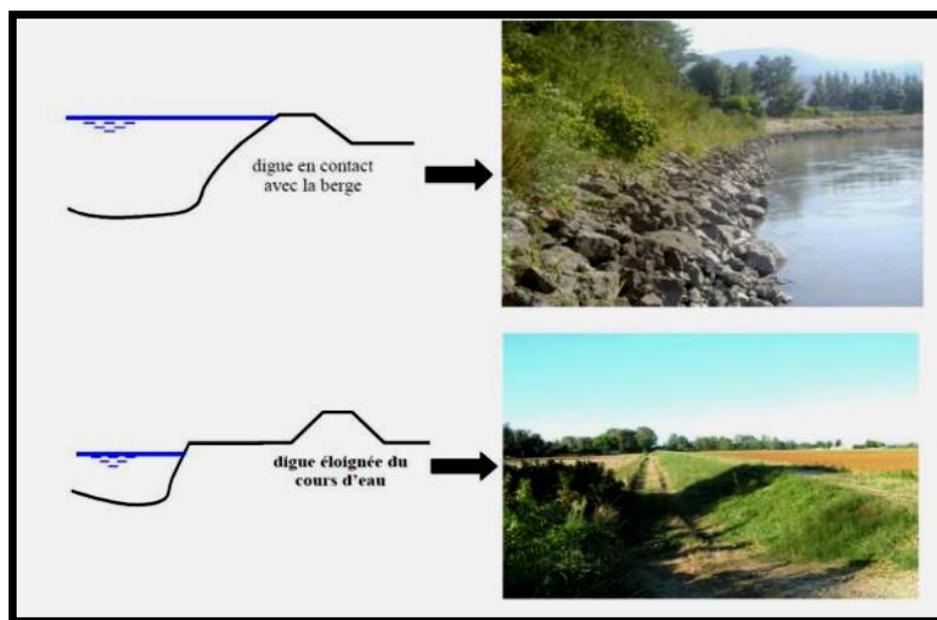


Figure I-15: Positions de la digue par rapport aux cours d'eau [5].

### I.10.5.3. Caractéristiques des digues de protection contre les inondations :

On peut décrire le fonctionnement hydraulique d'une vallée endiguée de la façon suivant :

- Lors d'une crue, la rivière déborde de son lit mineur et inonde progressivement le lit majeur endigué ;
- L'endiguement limite l'emprise de l'inondation pour les crues faibles et moyennes, mais il surélève la ligne d'eau là où la présence des digues conduit à rétrécir sensiblement la largeur du lit naturel (c'est très souvent le cas dans la traversée des villes) ;
- Dans le cas des fortes crues, le rôle des digues est limité et la vallée sera complètement inondée ;

- On aménage parfois des déversoirs qui permettent de protéger la digue contre le déversement ;
- Pour les crues extrêmes, l'ensemble de la vallée est inondé, soit à la suite du fonctionnement des déversoirs, soit par des ruptures de digues ; le fleuve ou la rivière recouvrent ainsi l'ensemble de leur lit majeur, comme en l'absence de protections.

**I.10.6. Création des canaux périphériques :**

Consiste à dériver les eaux vers les oueds permettant de les restituer vers des zones situées en dehors des aires à protéger. Cette déviation pourrait concerner une partie ou la totalité des eaux d'un oued vers un autre.

**I.10.7. Changement d'occupation de sol :**

Les changements d'occupation des sols participent aux changements globaux en altérant les relations entre atmosphère et surface terrestre. La déforestation, l'agriculture et l'étalement urbain en sont les causes principales, provoquant des modifications des processus de contrôle des écosystèmes. Le rôle de l'humanité est donc significatif, mais les facteurs intervenant sur les changements d'utilisation des sols sont complexes. Il s'ensuit une nécessité de détecter et suivre ces changements, mais les méthodes sont nombreuses.

**I.10.8. Banquettes :**

La technique des banquettes est de doubles objectifs, la lutte contre l'érosion et la réduction de ruissellement en favorisant l'infiltration due à la diminution de pente. Leurs effet est considérable dans la défense et la restauration de sol (Figure I-16).

La banquette mécanique se divise en quatre zones:

- Le fossé large reçoit les eaux de ruissellement de l'impluvium ;
- Le talus reçoit la pluie et un apport latéral des eaux fossé ;
- L'impluvium à l'amont du fossé ; zone cultivé entre les bourrelets, qui ne reçoit plus que la pluie moins le ruissellement ;
- La zone de l'impluvium à l'aval et proche du bourrelet qui pourrait recevoir un appoint d'eau par drainage à travers le bourrelet des grosses averses.

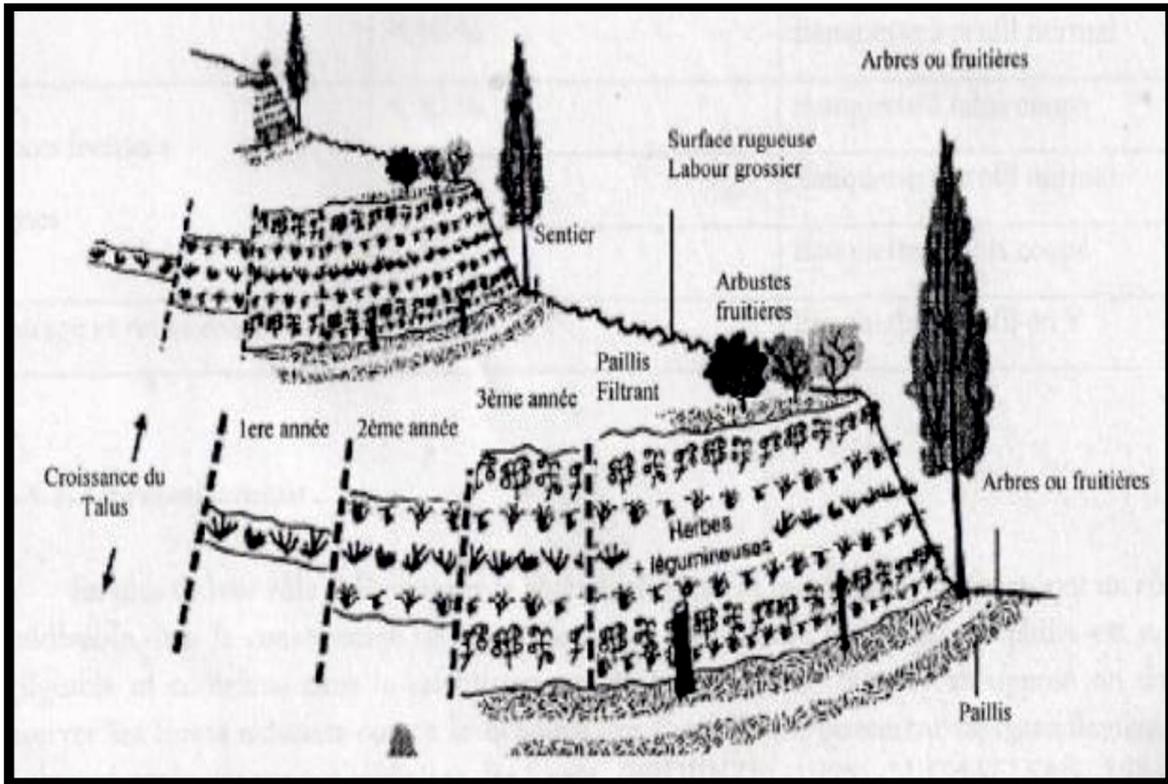


Figure I-16 : Technique de Banquettes [5].

#### I.10.9. Reboisement :

En plus de leur rôle à développer le volet écologique et touristique, les forêts ont un rôle considérable dans la conservation de sol et des eaux. Le volume intercepté de pluies et non négligeable et contribue dans le ralentissement de la montée de crue et en opposé on doit conserver les forêts existants contre le déboisement (un fort accroissement de ruissellement a été observé après des coupes sélectives des forêts. Le taux d'infiltration sous un couvert végétal naturel non modifié est généralement élevé et le ruissellement est un phénomène relativement rare sauf dans le cas de pluie exceptionnellement violente.

#### I.10.10. Correction torrentielle :

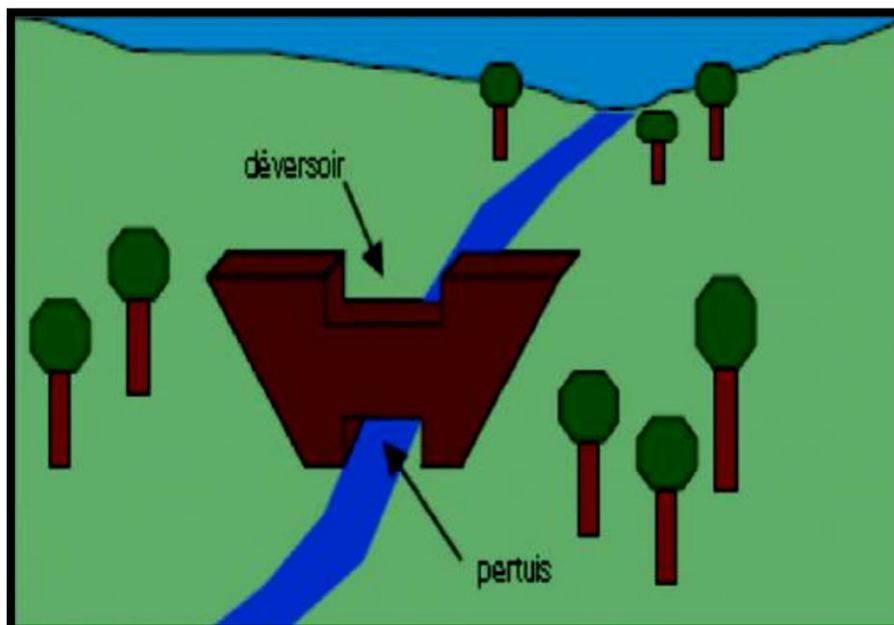
Dans les rivières torrentielles et les torrents la vitesse d'écoulement est très élevée et provoque le transport des sédiments par la force de l'eau de lave torrentielle, pour diminuer cette vitesse on utilise les travaux de correction torrentiel qui consistent à implanter des digues le long du cours d'eau (Figure I-17).



**Figure I-17** : Correction torrentielle, ville de Grasse [k].

#### I.10.11. Barrage écrêteur :

Les barrages écrêteurs de crues sont souvent l'un des éléments d'une stratégie de ralentissement dynamique des crues à l'échelle d'un bassin versant. Les barrages écrêteurs de crues sont implantés en travers du thalweg et ont pour objet de stocker, temporairement un certain volume dans le lit du cours d'eau, de façon à diminuer le débit de pointe de la crue aval (Figure I-18).

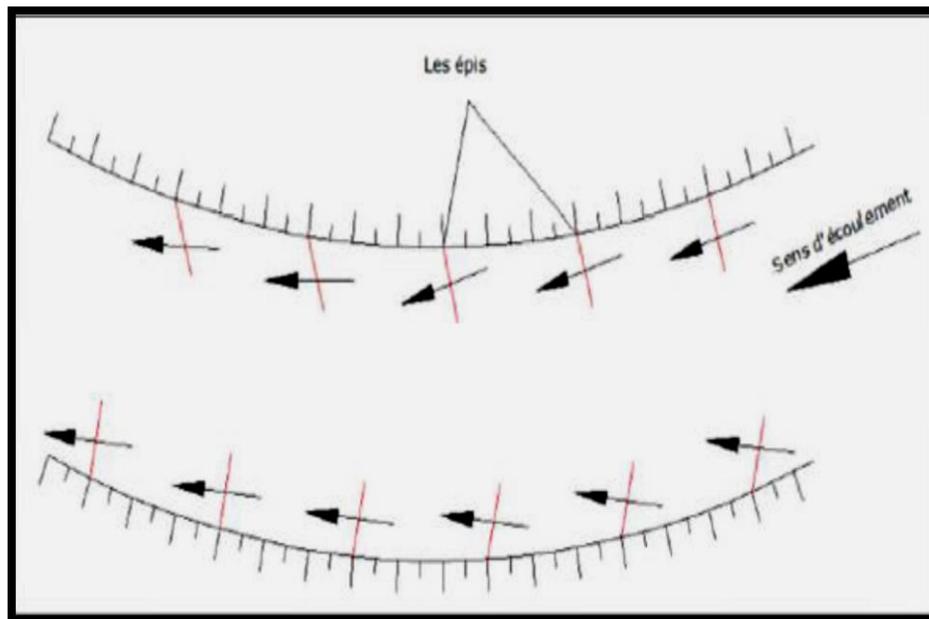


**Figure I-18** : Schéma de fonctionnement d'un barrage écrêteur de crue [5].

**I.10.12. Les épis :**

Les épis sont des ouvrages hydrauliques rigides, construits au bord de l'océan ou sur une berge de rivière pour freiner les courants d'eau et limiter les mouvements de sédiments.

Les épis constituent également une méthode efficace pour protéger les berges ou pour faciliter la navigation, ils consistent à dévier les vitesses d'écoulement élevées pour les éloigner des berges érodables. Ces structures fonctionnent de façon autonome, ou forment un système (Figure I-19).

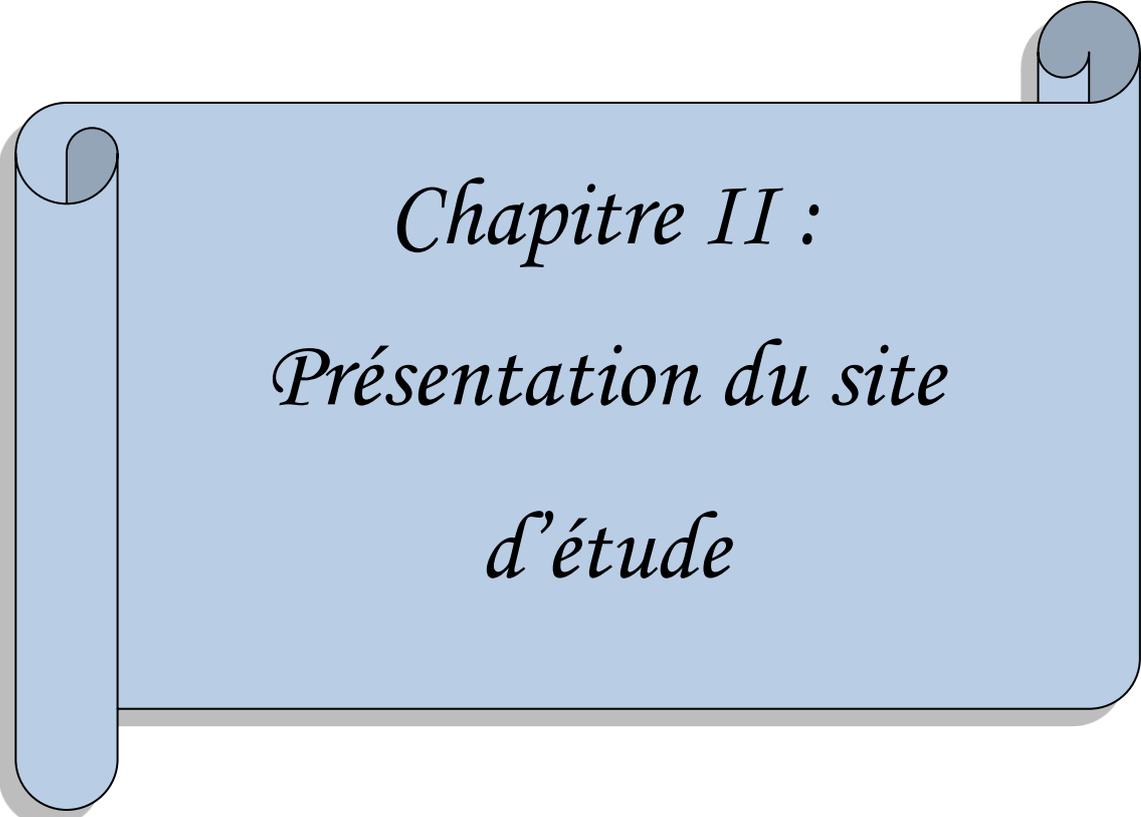


**Figure I-19 :** Implantation des épis [5].

**Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons défini le phénomène d'inondation qui est un phénomène naturelle représente la moitié des catastrophe naturelles mondiales en raison de leur fréquence et de leur graves conséquences humains et matériels. Nous avons aussi décrit d'une manière générale les causes et les principaux types d'inondation... etc. Ainsi nous avons donné un bref aperçu sur les inondations en Algérie.

En fin on a cité les différentes solutions directe et indirecte pour la protection contre les inondations.



*Chapitre II :*  
*Présentation du site*  
*d'étude*

**Introduction :**

L'étude de ce projet a pour but de protéger le centre-ville d'Aïn Mellouk contre les inondations et protégeant ainsi les personnes et les biens. L'achèvement de tout projet nécessite une étude préalable du site pour connaître les propriétés physiques et les choses qui pourraient affecter le projet de prendre les précautions nécessaires. Pour cela, nous essayons dans ce chapitre de présenter la commune d'étude et d'analyser ses différentes caractéristiques physiques (reliefs, géologie, climat, .....).

**II.1. Situation du site d'étude :****II.1.1. Situation dans le contexte régional :**

La commune d'Aïn Mellouk appartient à la partie Nord des hautes plaines constantinoises, située dans la wilaya de Mila, à 52.7 km au Sud-Ouest du chef-lieu de wilaya, et à 12.1 km au Nord du chef-lieu de la daïra de Chelghoum laïd.

Elle s'étend sur une superficie de 124.70 km<sup>2</sup>, ce qui signifie qu'elle occupe 3,67 % de la superficie totale de la wilaya.

Elle se trouve liée par l'ancienne CW 115 classée comme chemin de wilaya à un axe routier très important qui est la route nationale RN n°5 desservant Constantine à l'Est et Sétif à l'Ouest.

**II.1.2. Limites administratives :**

La commune d'Aïn Mellouk est liée administrativement à la daïra de Chelghoum laïd (Figure II-1), elle est administrativement limitée par :

- La commune d'Ahmed Rachedi et la commune de Sidi Khelifa, au Nord ;
- La commune d'Oued Athmania, à l'Est ;
- La commune de Chelghoum Laïd, au Sud ;
- La commune de Bouhatem et celle de Ben yahia Abderrahmane, à l'Ouest.



Figure II-1 : Limite administrative de la commune d'Aïn Mellouk [9].

## II.2. Population :

$$P_n = P_0 \times (1 + \tau)^n \dots \dots \dots (1)$$

Avec :

**T** : Taux d'accroissement de la population ;

**n** : Nombre d'années séparent l'année de référence de l'horizon voulu ;

**P<sub>n</sub>** : Population à l'horizon voulu (2020) ;

**P<sub>0</sub>** : Population de l'année actuelle ou de référence (2016) ;

Le tableau qui suit (Tableaux II-1) représente l'évaluation de la population, dont les données sur le nombre d'habitants et le taux d'accroissement :

**Tableaux II-1** : Evaluation de la population.

Commune			
Code	Nom		
43	Wilaya de Mila		
4305	Aïn Mellouk	2016	2020
Population		16523	17916
Taux d'accroissement (%)		2.044	-

### II.3. Cadre géologique :

#### II.3.1. Aperçu général de la structure géologique :

La zone d'Aïn Mellouk est située dans la partie Nord des hautes plaines constantinoises, sur la bordure Sud de la zone est limitée par un relief très accidenté de djebel Grouz, tandis que la bordure Nord-Ouest est limitée par un relief isolé à coté de Mechta Ouled Salah.

#### II.3.2. Géologie :

La région d'Aïn Mellouk est située entre deux unités géologiques qui sont la nappe néritique constantinoise au Sud (au niveau du massif de Djebel Grouz) et la nappe penitellienne au Nord, dans une dépression du Miopliocène Continental constituée essentiellement de formations peu ou pas tectonisés du Quaternaire ou l'on constate de plus récent au plus ancien (Figure II-2) :

##### - Alluvions récentes :

Les alluvions récentes forment généralement une mince bande souvent discontinue, il s'agit d'une banquette de limons gris, de sables et de graviers.

##### - Villafranchien :

Constitué de croûtes calcaires, qui sont des formations caractéristiques des hautes plaines setifiennes, des dépôts limoneux assez fins, et des alluvions.

- **MioplIOCène Continental :**

S'étendent sur de grandes surfaces surtout à l'Est et à l'Ouest de l'agglomération du chef-lieu, et les formations caractérisant ces terrains sont des sables, des limons rougeâtres, des cailloutis et des conglomérats.

D'autres formations plus anciennes peuvent être rencontrées à savoir :

- **Crétacé inférieur :**

Il s'agit d'une alternance de calcaires argileux légèrement silteux et de pelites plus ou moins marneuses selistosées.

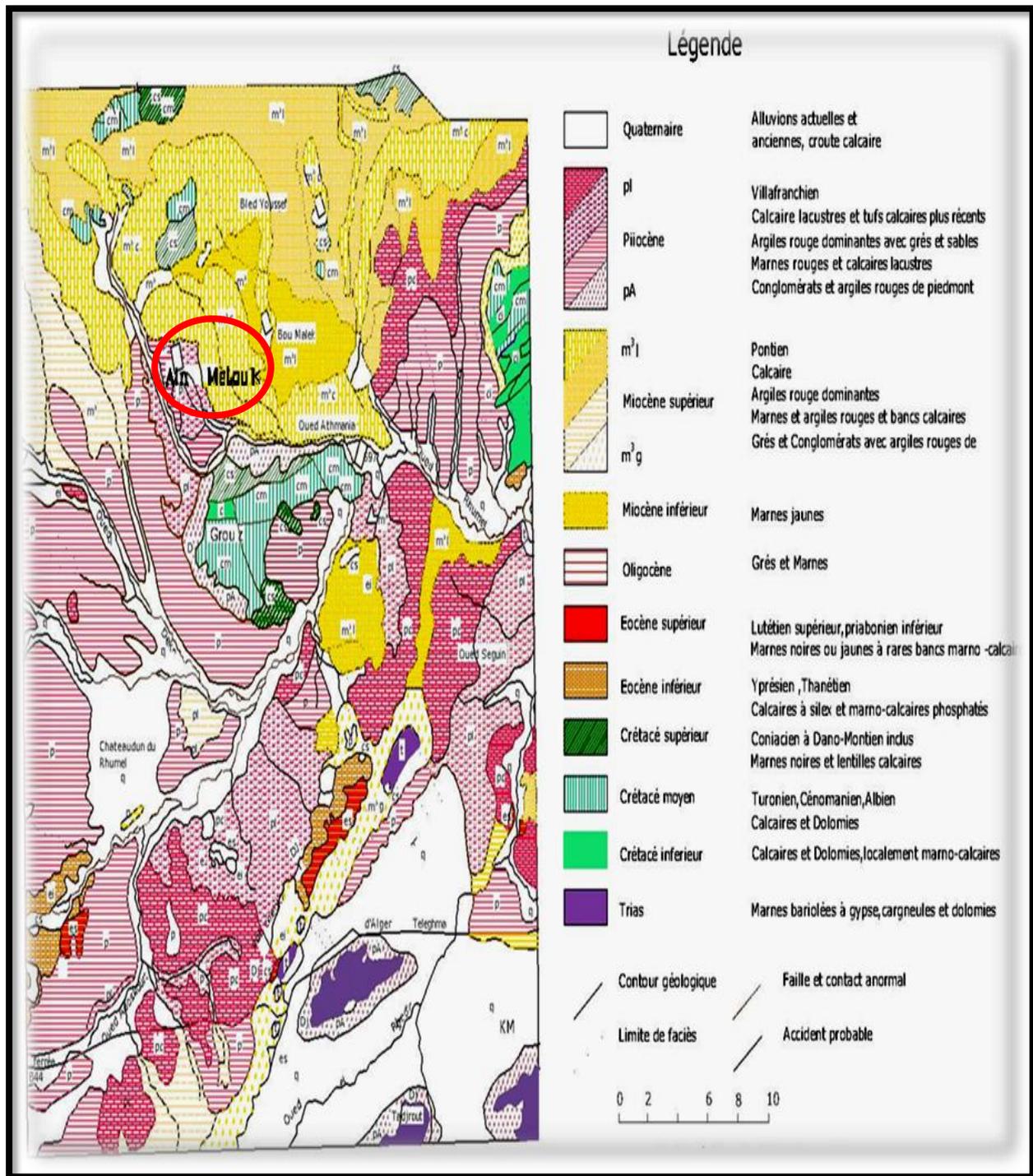
- **Cenonien et Turonien :**

Sont représentés par des calcaires massifs pouvant atteindre les 300 m d'épaisseur.

- **Albien – Vraconien :**

L'Albien et le Vraconien ne sont représentés qu'au Djebel Grouz sous la barre carbonatée Cénomaniennne.

La série Albienne débute par des marnes silteuses noirâtres à intercalations de marno-calcaires micritiques au-dessus des calcaires à silex à bancs jointifs.



**Figure II-2 :** Esquisse de la carte géologique de la région de Chelghoum Laid par Guy Durozou. 1960 [10].

#### II.4. Séismicités :

Le territoire algérien divisé en quatre zones de séismicité croissante (Figure II-3) qui son :

- Zone 0 : séismicité négligeable ;

- Zone 1 : séismicité faible ;
- Zone 2 : séismicité moyenne ;
- Zone 3 : séismicité élevée.

On constate que la commune d'Aïn Mellouk fait partie de la zone 2 (zone à séismicité moyenne).

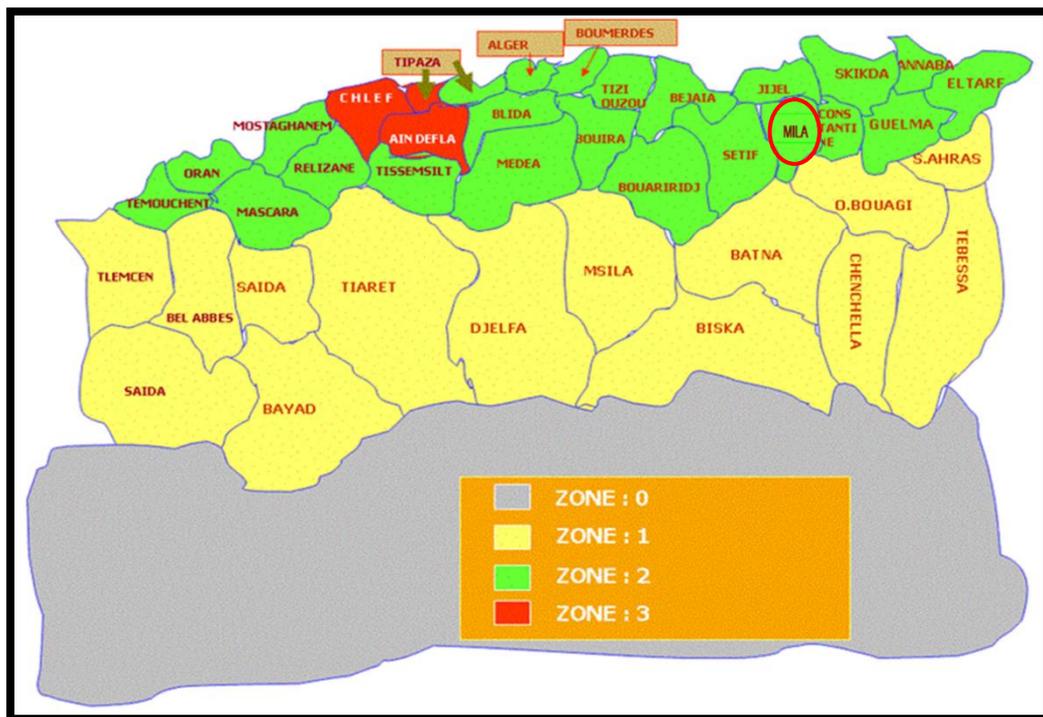


Figure II-3 : Zones séismique et degré de vulnérabilité des territoires en Algérie [1].

## II.5. Géomorphologie :

La commune d'Aïn Mellouk est implantée sur un relief plat, où les zones des plaines englobent la majorité de la zone avec 82,75% de la superficie totale ; Les zone des hauts plateaux englobent 10,59 % de la superficie totale (moyennement favorables à l'urbanisation), alors que les zones de montagnes (ces terrains sont non urbanisables) englobent un pourcentage de 6.66% de la superficie totale (Tableaux II-2 et Figure II-4).

Tableaux II-2 : Classes des pentes de la commune d'Aïn Mellouk [10].

Classe de pente	Superficie (km 2)	Pourcentage (%)
Pente entre 0-10 %	103,19	82,75
Pente entre 10-20 %	13,21	10,59
> 20 %	08,30	06,66
Total	124,70	100

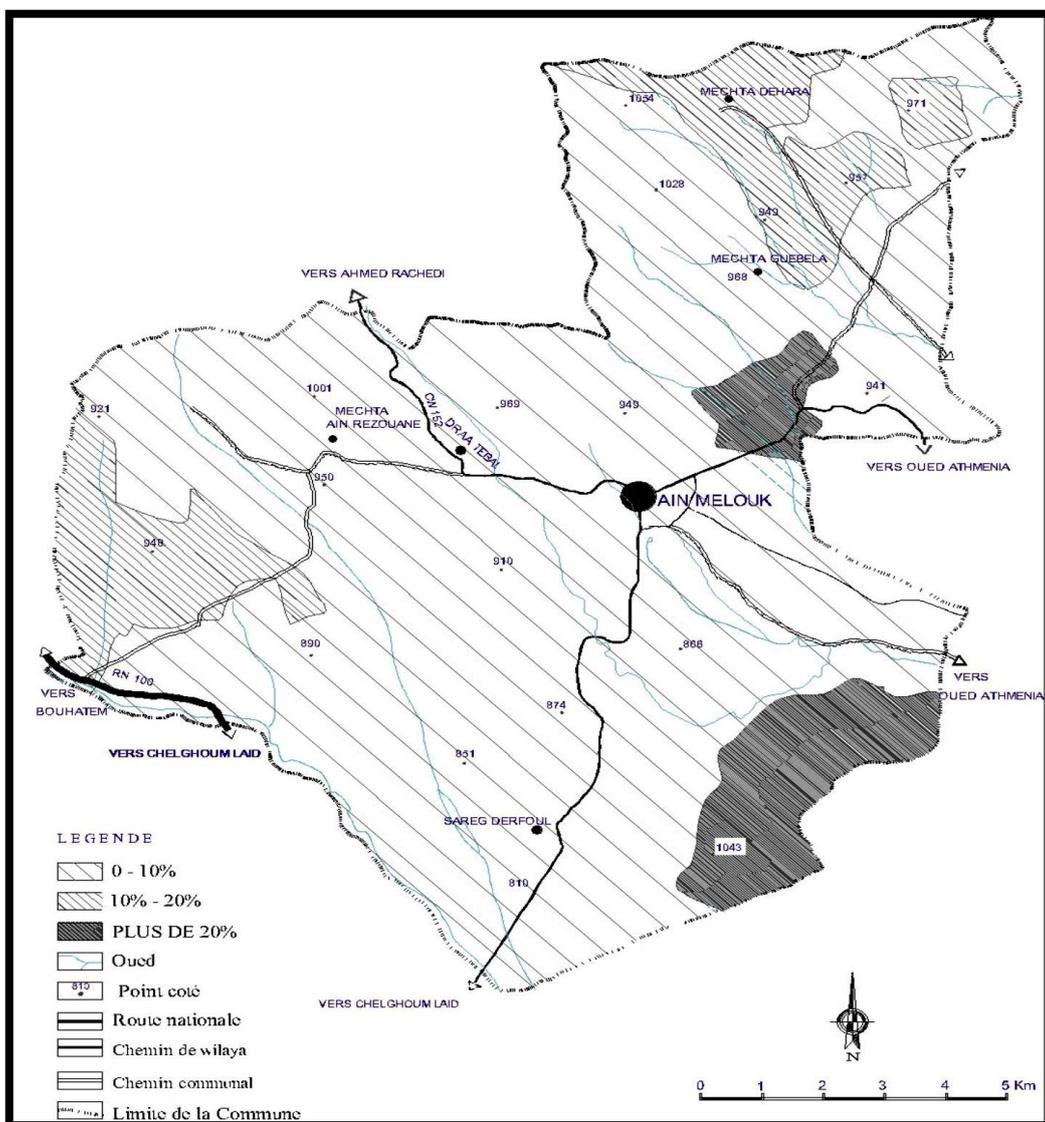


Figure II-4 : Carte des pentes de la commune d'Aïn Mellouk [10].

## II.6. Aperçu climatique :

Compte tenu de l'absence de station météorologique propre à la commune, les données météorologiques utilisées pour les différents calculs sont celles de la station de Hammam Grouz.

### II.6.1. Situation climatologique :

La commune d'Aïn Mellouk à un climat semi-aride caractérisé par une saison particulièrement froide et humide en hiver, et une saison sèche et chaude en été. La pluviométrie moyenne annuelle est estimée entre 500 mm et 600 mm/an (Figure II-5), du fait que les précipitations sont généralement concentrées durant la saison d'hiver, cependant la période d'été n'en reçoit que peu. L'essentiel des précipitations est enregistré pendant la saison pluvieuse qui s'étale du mois d'Octobre au mois du Mai.

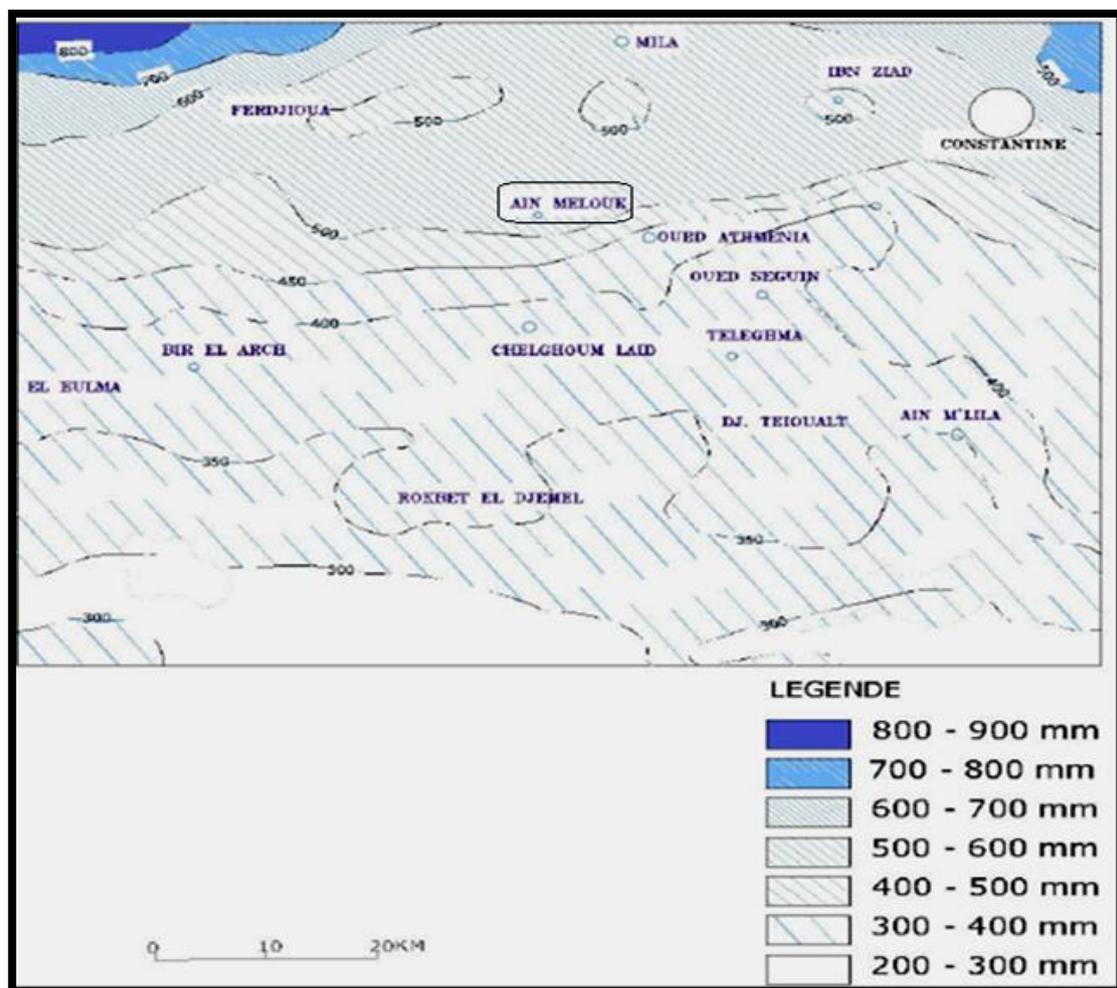


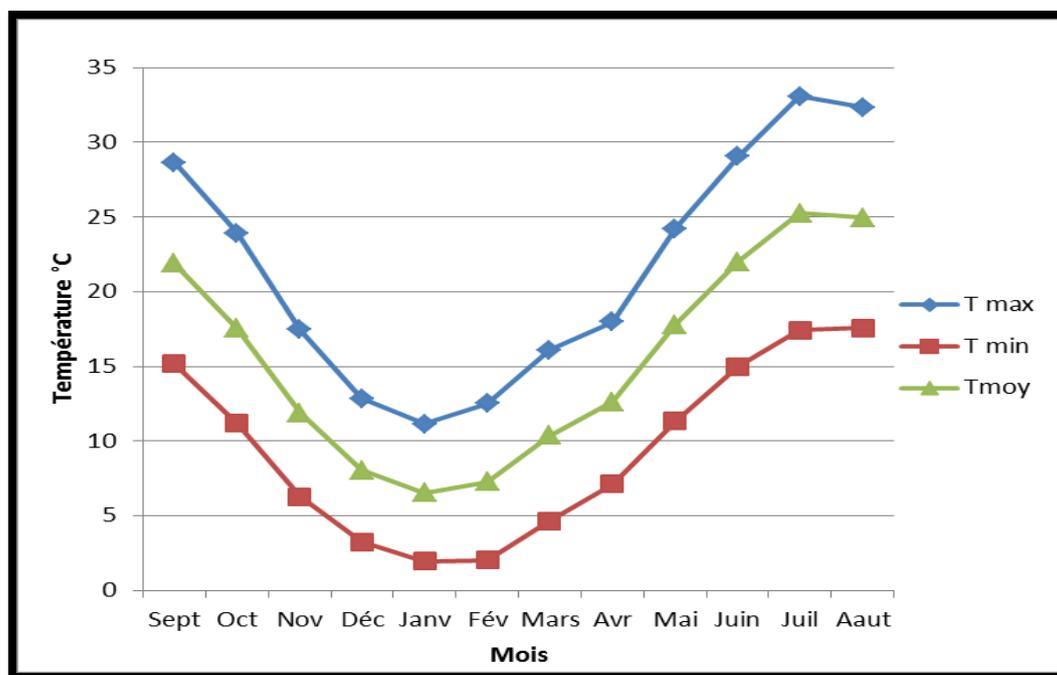
Figure II-5 : Carte pluviométrique de la région de Mila 1993 [10].

**III.6.2. Température :**

Les températures moyennes mensuelles et saisonnières relevées de la station de Hammam Grouz pour une période de 21 ans (1989-2009), sont dressées dans le tableau (Tableaux II-3) ci-dessous.

**Tableaux II-3 :** Températures moyennes mensuelles et saisonnières de la station de Hammam Grouz. Période (1989-2009). [11].

	Automne			Hiver			Printemps			Été			Moy
	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	
<b>T°max</b>	28.65	23.94	17.48	12.85	11.13	12.52	16.1	17.97	24.23	29.05	33.07	32.36	<b>21.62</b>
<b>C°</b>	23.36			12.16			19.43			31.49			
<b>T°min</b>	15.18	11.17	6.27	3.23	1.96	2.04	4.64	7.12	11.34	14.98	17.41	17.58	<b>9.41</b>
<b>C°</b>	10.87			2.41			7.7			16.66			
<b>T°moy</b>	21.91	17.55	11.87	8.04	6.545	7.28	10.37	12.54	17.78	22.01	25.24	24.97	<b>15.51</b>
<b>C°</b>	17.11			7.28			13.56			24.07			



**Figure II-6 :** Variation mensuelle de la température au niveau de la station de Hammam Grouz. Période (1989-2009).

Nous remarquons que la température moyenne annuelle est de **15.51°C**, cette température atteint un maximum de **33.07°C** en été et un minimum de **1.96°C** en hiver. Les mois les plus chauds sont ceux d'été (Juin, Juillet et Aout) (Figure II-6), par contre les plus froids sont ceux de l'hiver (Décembre, Janvier et Février).

**III.6.3. Vent :**

Les vents dominants sont de secteur Nord-est, en été et généralement au mois de juillet se sont des vents sec et chaud, mais les vents d'hiver sont froids et humides.

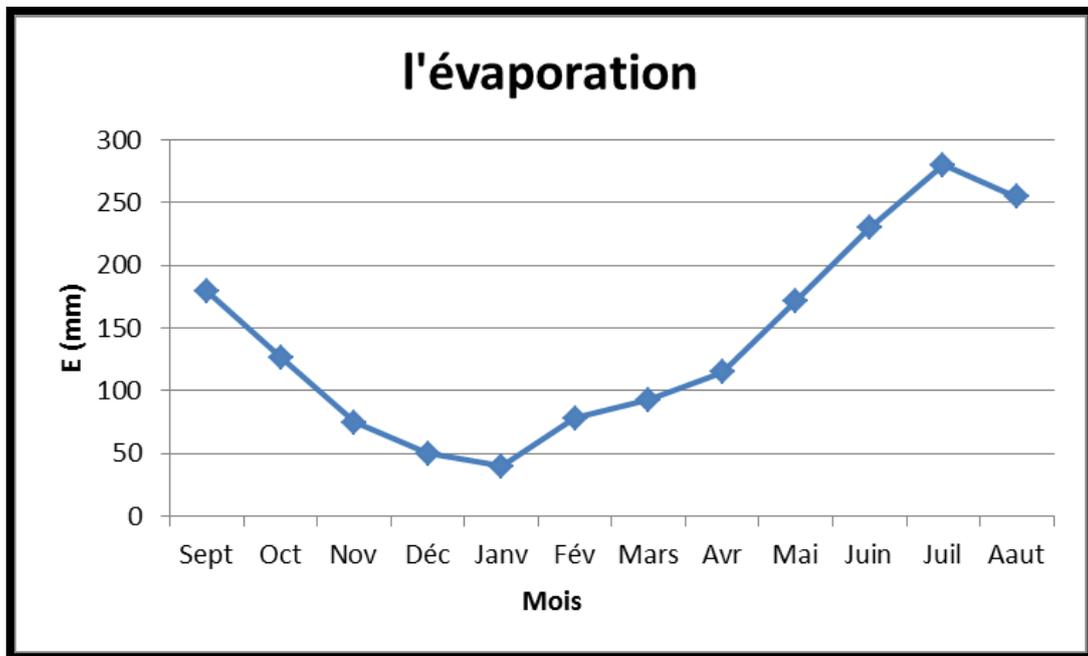
**III.6.4. L'Evaporation :**

L'évaporation moyenne mensuelles relevées de la station de Hammam Grouz pour une période de 21 ans (1989-2009), sont dressées dans le tableau (Tableaux II-4) ci-dessous.

**Tableaux II-4 :** Evaporation moyenne mensuelles de la station de Hammam Grouz.

Période (1989-2009). [11].

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
E (mm)	180	127	75	50	40	78	93	115	172	230	280	255	141.25



**Figure II-7 :** Evaporation moyenne mensuelles de la station de Hammam Grouz.

Période (1989-2009).

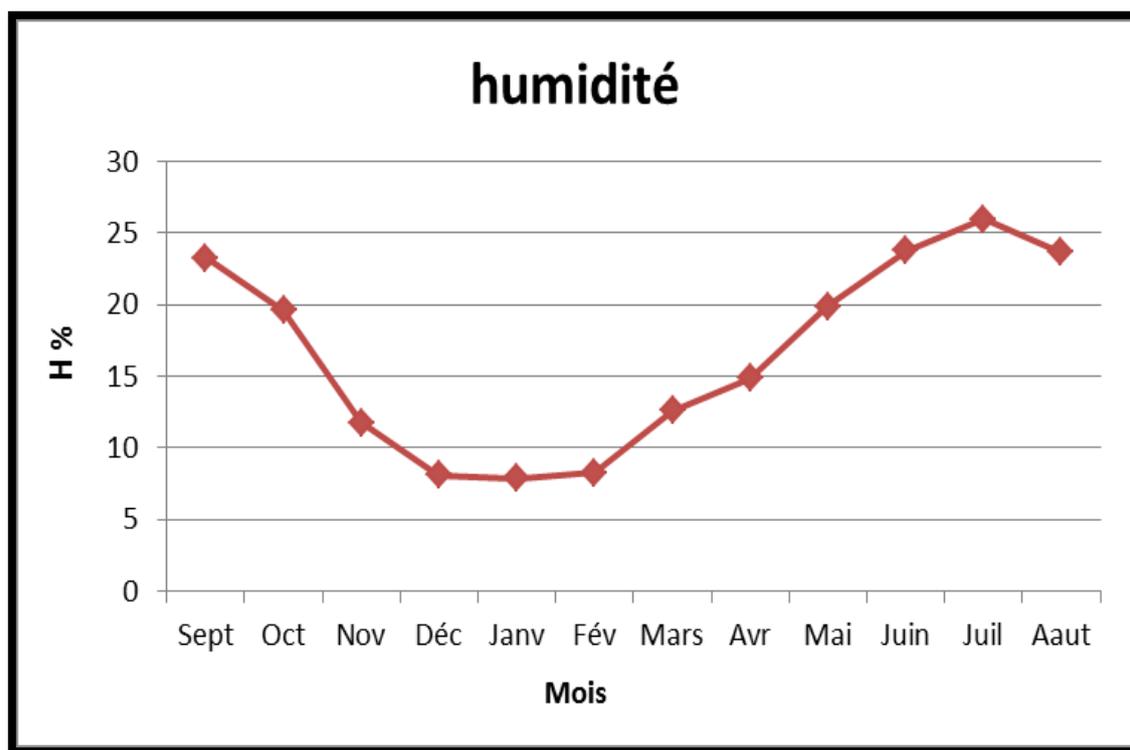
Nous remarquons que l'évaporation moyenne annuelle retenue est de **141.25 mm**, Elle est minimale durant les mois d'hiver (Décembre, Janvier et Février). Alors qu'elle est maximale pour les mois d'été (Juin, Juillet et Aout) (Figure II-7).

**III.6.5. Humidité :**

Humidité relative moyennes mensuelles relevées de la station de Hammam Grouz pour une période de 21 ans (1989-2009), sont dressées dans le tableau (Tableaux II-5) ci-dessous :

**Tableaux II-5 :** Humidité relative moyennes mensuelles de la station de Hammam Grouz. Période (1989-2009). [11].

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
Hr %	23.3	19.6	11.8	8.1	7.9	8.3	12.6	14.9	19.9	23.8	26.0	25.7	<b>16.82</b>



**Figure II-8 :** Humidité relative moyennes mensuelles de la station de Hammam Grouz. Période (1989-2009).

Nous remarquons que l'humidité relative est faible et varie d'un mois à un autre (Figure II-8), l'humidité moyenne annuelle est de 16.82%, elle est minimale durant le mois de Mai (7.9 %), alors qu'elle est maximale durant le mois de Novembre (26%).

## **II.7. Végétation :**

La superficie agricole occupe un pourcentage de 87,48% de la surface totale de la commune, ce qui reflète que la commune d'Aïn Mellouk est une commune à vocation agricole. Au Nord de la commune d'Aïn Mellouk, on trouve des sols à hautes potentialités agricoles fertiles et profonds aptes aux grandes cultures. Au Sud, on trouve des sols un peu légers, ce sont des terres à moyennes potentialités agricoles ; sols moyens fertiles aptes aux grandes cultures et autres cultures maraîchères.

La forêt de la commune d'Aïn Mellouk couvre une faible superficie et n'occupe ainsi que 4,2 % de la surface agricole totale, ce qui signifie qu'elle occupe un pourcentage de 1.76 % de la superficie totale de la commune, ses essences principaux sont constituées de pin d'Alep et de cyprès.

Le reste, qui constitue 12.51 % de la surface totale de la commune sont des zones urbanisées [10].

## **II.8. Ressources hydriques :**

La commune de Aïn Mellouk est plus précisément, implanté dans le sous bassin versant du Rhumel, codé 10 – 03, drainé par l'Oued Rhumel et ses affluents, les écoulements dans cette commune sont orientés Nord-Ouest, Sud- Est, drainant les eaux vers le grand oued du Rhumel à la limite Sud- Est de la commune.

Le réseau hydrographique d'Aïn Mellouk est constitué par deux oueds principaux qui traversent la commune, qui sont Oued Sareg et Oued Dekri, ainsi que d'autres petits oueds comme oued Béni Filane et oued Bouyakour, Oued Zizou Oued El-Krerba au Sud- Est de la commune. Le reste de la commune est traversé par un grand ensemble de chaâbats tels que chaâbat Ain Bezat au Nord-Ouest et chaâbat Ain Okba, chaâbat Lourarsa, chaâbat Tabesbast au Nord.

Vu la densité du réseau hydrographique et le niveau des précipitations dans la commune, nous pouvons conclure que il ya plusieurs sources d'eau.

Les ressources en eaux souterraines mobilisées sont indiquées dans le tableau (Tableaux II-6) ci-dessous :

**Tableaux II-6:** Ressources en eaux mobilisées.

	Les forages			Total (Hm <sup>3</sup> /an)	%
	Nombre	Débit l/s	Débit Hm <sup>3</sup> /An		
Aïn Mellouk	6	120	1.324	1.781	2.96

## II.9. Problèmes des inondations du centre-ville d'Aïn Mellouk :

La ville d'Aïn Mellouk est enclavée entre deux cours d'eaux et leurs affluents, et qui consistent en :

- Chaabat Lourarsa qui traverse la ville du nord au sud en son côté Est et son principal affluent qui traverse la ville au même sens, mais en son côté centre. Ces deux cours d'eaux sont responsables des inondations de la partie Centre et Est de la ville.
- Chaabat Tabesbast qui à son tour traverse la ville du Nord au Sud en son côté Ouest et qui est responsable de l'inondation de la partie Ouest de la ville.

Ces deux importants cours d'eau traversent le centre-ville du Nord au Sud et laissent des lourds dégâts après chaque passage de fortes crues.

Les deux cours d'eaux «chaâbat Lourarsa et chaâbat Tabesbast,» constituent plus loin en aval l'Oued El-Krerba. La confluence de l'Oued Krerba avec l'Oued Beni-Filane, venant de l'Est donne naissance à l'Oued Bouyakour qui traverse la ville de Oued Athmania et se raccorde plus loin en aval au Rhumel.

Du point de vue morphométrique et couvert végétal, cette région est s'implante sur un relief plat et relativement dépressif au piémont de Djebel Grouz, et sont totalement dépourvu de couvertures forestières qui joue le rôle de dissipateur d'énergie et amortisseur de crues et par conséquent l'écoulement atteint la ville avec une forte vitesse ce qui provoque les débordements et les inondations de la ville.

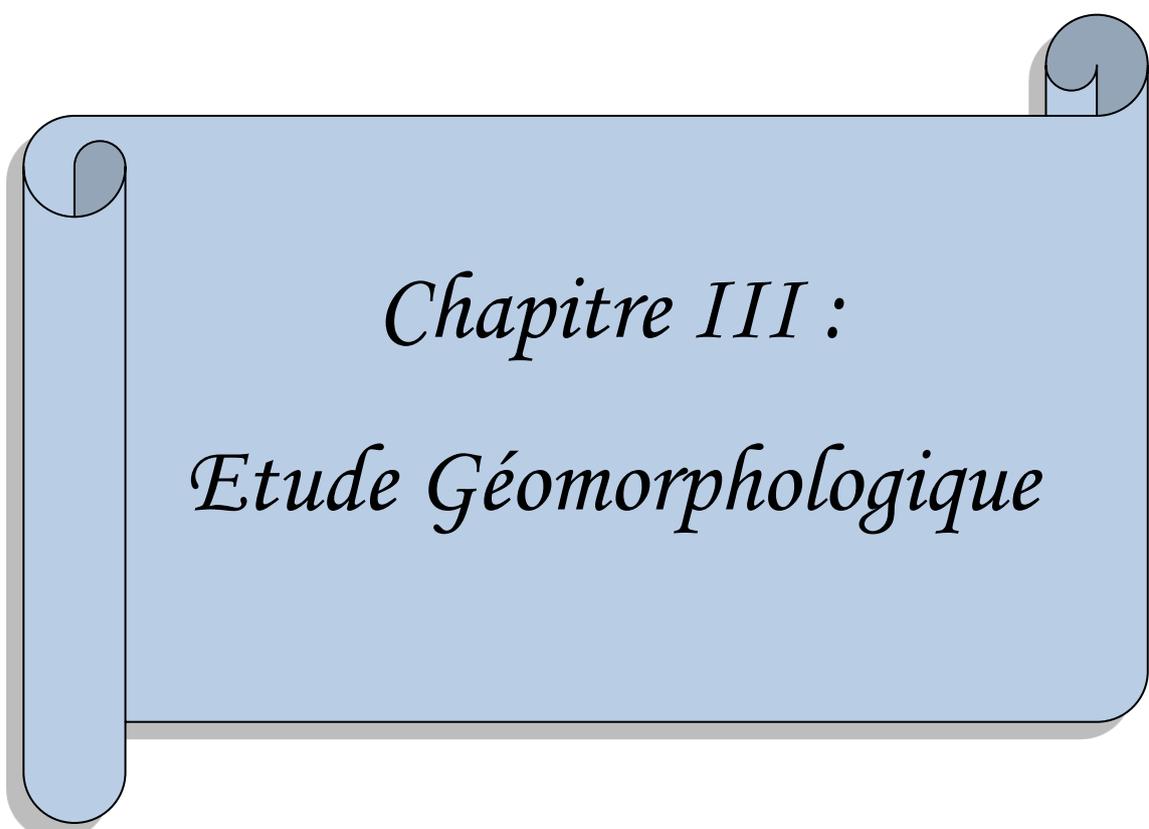
A l'issue d'étude préalable du site, on peut citer les causes et facteurs aggravant les inondations dans la région d'Aïn Mellouk qui sont essentiellement due à :

- La géologie du site constitué essentiellement d'argile, le sol saturé, agressif, très compressible et présentant un caractère gonflant ce qui favorise le ruissèlement des eaux de surfaces ;
- Dépourvu de couvert végétal forestier ;
- L'absence d'une politique rationnelle de prise en charge des curages et traitements des cours d'eau et des réseaux d'assainissements.

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présenté les données nécessaires concernant notre zone d'étude que ce soit en termes de la localisation géographique, géologique, Géomorphologique, Situation climatologique (précipitation, température....etc.), couvert végétal, Ressources hydriques pour éclaircir l'image du site.

A l'issue de ce chapitre nous n'avons conclu que la région d'Aïn Mellouk exposé aux inondations majeures après chaque forte averse.



*Chapitre III :*  
*Etude Géomorphologique*

## **Introduction :**

Le but principal des études géomorphologique est d'établir les documents nécessaires aux avant projets : plans, cartes et profils, documents qui permettront aussi en premier lieu de se prononcer sur l'aptitude topographique du Bassin versant étudié et de positionner au mieux les ouvrages de protection contre les inondations projetés, par la suite on a définis les éléments caractéristiques du bassin versant tel que :

- Les caractéristiques de forme du sous bassin versant (P, S, H.) ;
- Les caractéristiques des reliefs (Ip, Ig...)
- Les caractéristiques de l'écoulement (Tc, Vr).

### **III.1. Présentation du bassin versant :**

#### **III.1.1. Définition du bassin versant :**

Le bassin versant représente, en principe, l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse de cycle hydrologique et de ses effets.

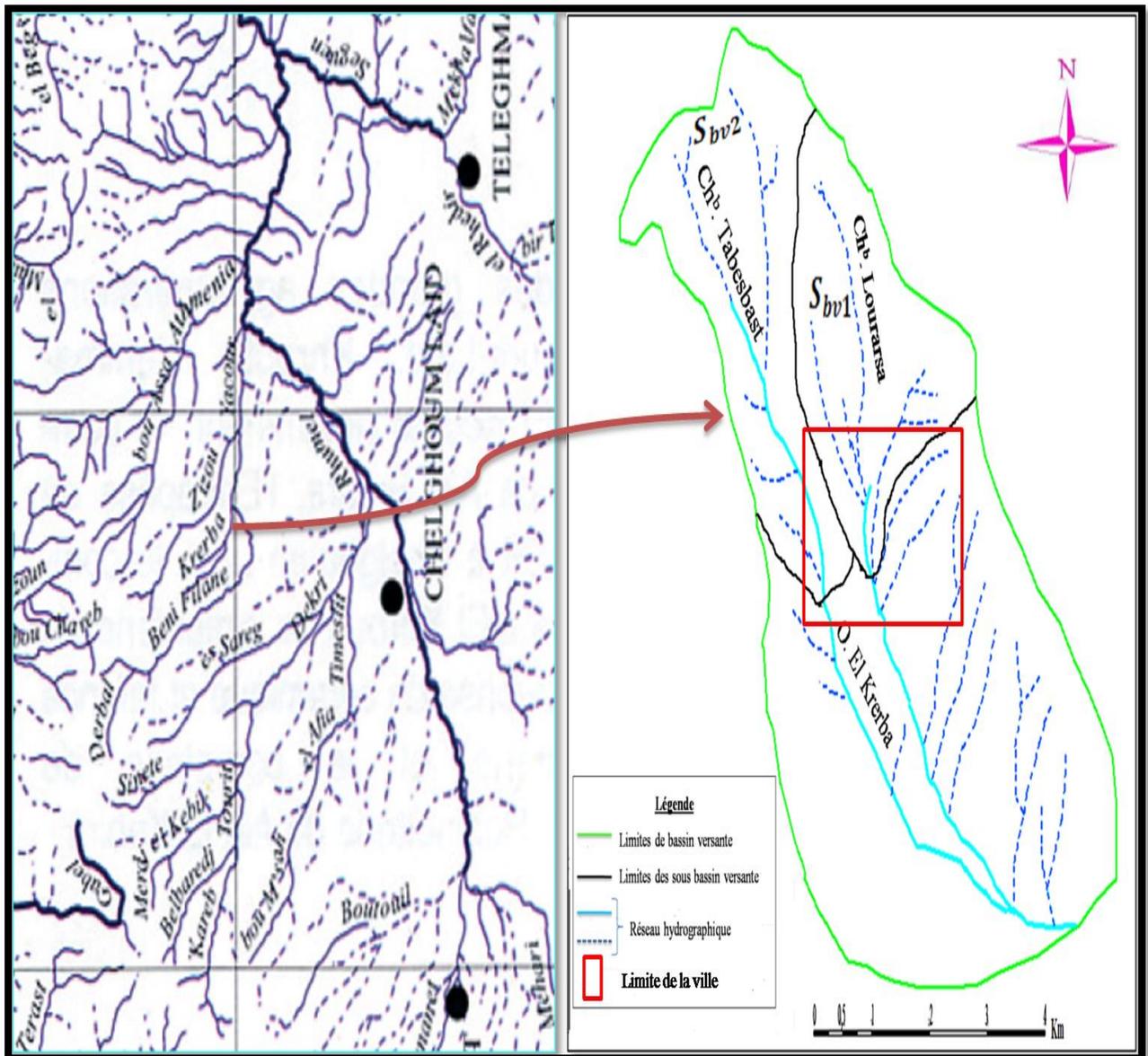
Plus précisément, le bassin versant qui peut être considéré comme un « système » est une surface élémentaire hydrologiquement close, c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire.

Le bassin versant en une section droite d'un cours d'eau, est donc défini comme la totalité de la surface topographique drainé par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section. Il est entièrement caractérisé par son exutoire, à partir duquel nous pouvons tracer le point de départ et d'arrivée de la ligne de captage des eaux qui le délimite [m].

#### **III.1.2. Bassin versant d'Aïn Mellouk :**

La délimitation du bassin versant de la zone d'étude est évalué à partir du logiciel «ArcGIS » sur la carte topographique de Chateaudun du Rhumel (N°95) (Figure III-1).

La ville d'Aïn Mellouk draine les deux principales Chaabats de Lourarsa au Nord-Est et celle de Tabesbast au Nord-Ouest, puis les deux chaabats forme l'oued de Krerba. Donc il est indispensable d'étudié chaque sous bassin drainé par la chaabat a part pour déterminé le débit de chacune.



**Figure III-1** : Délimitation du bassin versant d'Oued Krerba et son réseau hydrographique.

### III.1.3. Caractéristique morphologique du bassin versant :

#### III.1.3.1. La surface et le périmètre:

La surface du bassin versant est définie comme l'aire de collecte ; Et le périmètre correspond à la limite extérieure du bassin et représente la longueur de la ligne de partage des eaux délimitant le bassin.

La surface et le périmètre peut-être mesurée par plusieurs méthodes parmi eux les techniques de digitalisation par des logiciels comme l'ArcGIS, sur la carte topographique.

**III.1.3.2. Longueur du talweg principal :**

La longueur du talweg principal est correspond à la longueur du cours d'eau le plus long dans notre réseau hydrographique du bassin versant, il est déterminé à l'aide du logiciel ArcGIS.

Les paramètres de forme du bassin versant et des sous bassins versant sont insérés dans le tableau (Tableaux III-1) suivant :

**Tableaux III-1 : Les paramètres de forme.**

Bassin versant	Surface (Km <sup>2</sup> )	Périmètre (Km)	Longueur du talweg principal (Km)
Bassin versant d'Oued Krerba	12,43	16,07	6,67
Sous bassin de Chaabat Lourarsa	1,584	5,177	2,409
Sous bassin de Chaabat Tabesbast	2,506	7,816	2,95

**III.1.3.3. Indice de compacité de Gravelius :**

Appelé aussi indice de forme, cet indice caractérisant la forme du bassin versant et donnée par la formule suivante :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi \times A}} \cong 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \dots \dots \dots (2)$$

Avec :

**K<sub>G</sub>** : Indice de compacité de Gravelius ;

**P** : Périmètre du sous bassin versant en (km) ;

**A** : Surface du sous bassin versant en (km<sup>2</sup>) ;

Si **K<sub>G</sub>** = 1.12 → en dit que le bassin à une forme carré ;

Si **K<sub>G</sub>** > 1.12 → en dit que le bassin à une forme allongé ;

Si **K<sub>G</sub>** ≤ 1 → en dit que le bassin à une forme circulaire.

Les résultats résumés dans le tableau (Tableaux III-2) suivant :

Tableaux III-2 : Indice de compacité de Gravelius.

BV	K <sub>G</sub>	Remarque
Bassin versant d'Oued Krerba	1.28	bassin est allongé
Sous bassin de Chaabat Lourarsa	1.15	bassin est allongé
Sous bassin de Chaabat Tabesbast	1.38	bassin est allongé

### III.1. 3. 4. Le rectangle équivalent :

Le rectangle équivalent est un modèle établi par ROCHE(1963), et c'est une transformation purement géométrique du bassin versant en un rectangle de dimensions L et l qui a la même surface (S), même périmètre (P), même indice de compacité (K<sub>G</sub>) et même hypsométrie que le sous bassin versant étudié. Ce paramètre a été introduit pour pouvoir comparer des bassins entre eux du point de vue de l'écoulement.

La longueur du rectangle équivalent donnée par la formule suivante :

$$L_{eq} = \frac{k_G \times \sqrt{S}}{1,128} \times \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{K_G} \right)^2} \right] \dots\dots\dots (3)$$

La largeur du rectangle équivalent donnée par la formule suivante :

$$l_{eq} = \frac{k_G \times \sqrt{S}}{1,128} \times \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{K_G} \right)^2} \right] \dots\dots\dots (4)$$

### III.1.4. Relief :

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

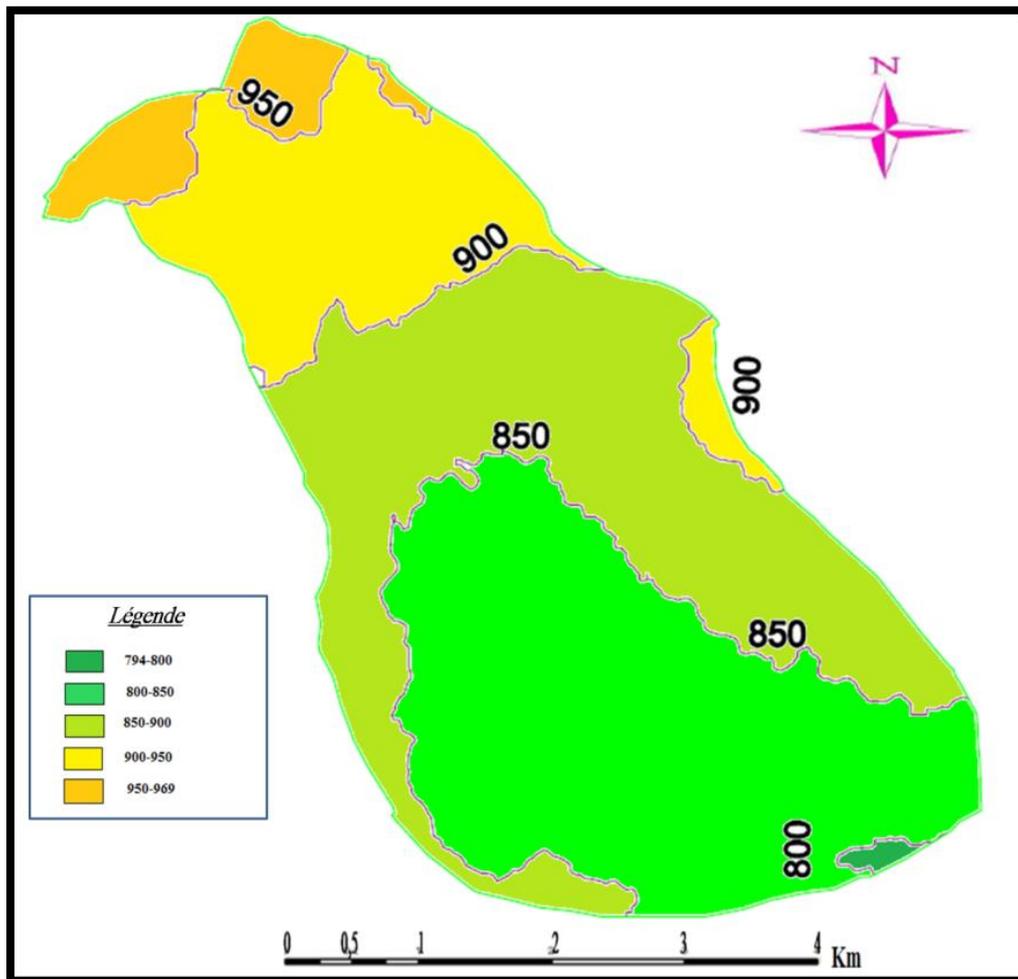


Figure III-2 : Courbes de niveau du bassin versant d’Oued Krerba.

**III.1.4.1. Répartition des surfaces et courbe hypsométrique :**

La courbe hypsométrique (Figure III-3, III-4, III-5) représente la répartition de la superficie du bassin versant en fonction de son altitude (Tableaux III-3, III-4, III-5), elle porte en abscisse la surface en pourcentage et en ordonnée les altitudes en mètre.

**Tableaux III-3 :** Répartition de la superficie partielle en fonction d’altitude du bassin versant d’Oued Krerba.

Altitude (m)	Superficie partielle (km <sup>2</sup> )	superficie partielle (%)	Superficie cumulée (%)
<b>794-800</b>	0,052359	0,42	0,42
<b>800-850</b>	4,860237	39,10	39,52
<b>850-900</b>	4,493369	36,15	75,67

<b>900-950</b>	2,268598	18,25	93,92
<b>950-969</b>	0,753734	6,06	100
<b>Somme</b>	12,43	100	-

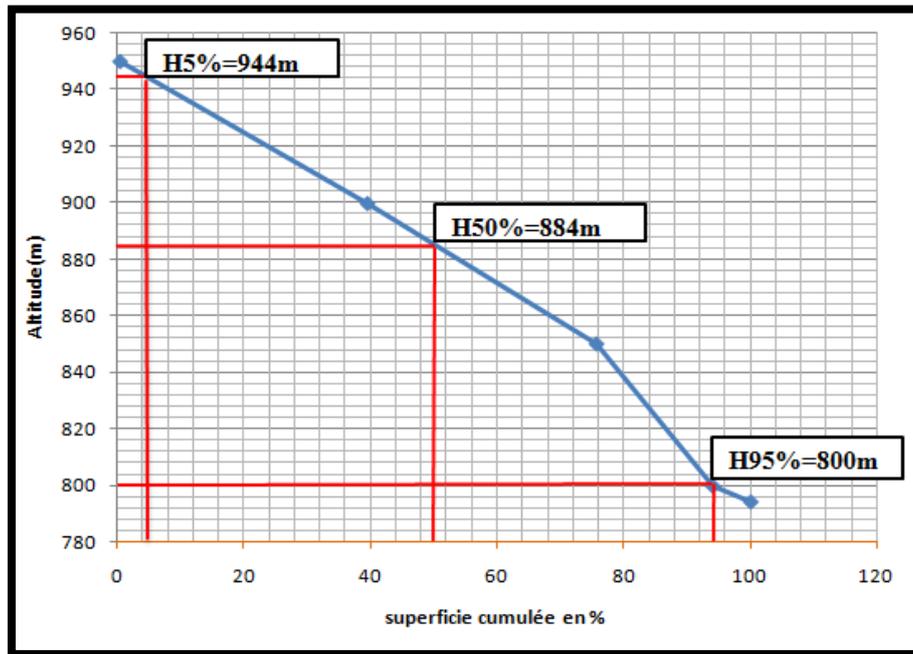


Figure III-3 : Courbe hypsométrique du BV d'Oued Krerba.

Tableaux III-4 : Répartition de la superficie partielle en fonction d'altitude du sous BV de Chaabat Lourarsa.

Altitude (m)	Superficie partielle (km <sup>2</sup> )	superficie partielle en %	Superficie cumulée en %
<b>843-850</b>	0,022	1,39	1,39
<b>850-900</b>	0,71	44,82	46,21
<b>900-950</b>	0,852	53,79	100
<b>Somme</b>	1,584	100	-

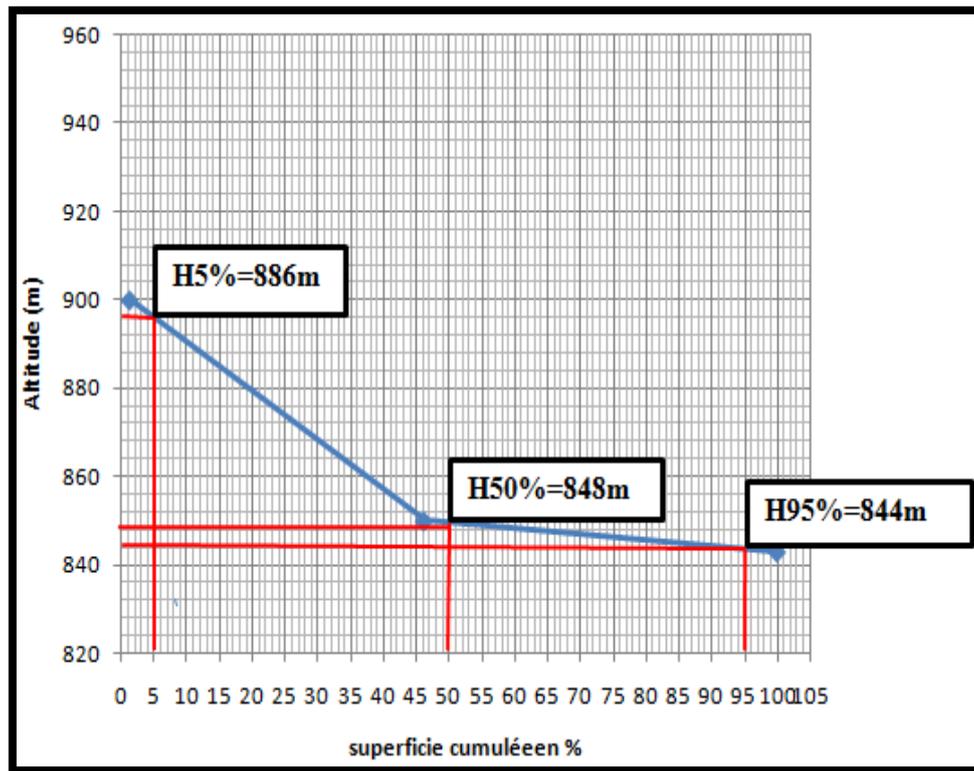


Figure III-4 : Courbe hypsométrique du sous BV de Chaabat Lourarsa.

Tableaux III-5 : Répartition de la superficie partielle en fonction d'altitude du sous BV de chaabat Tabesbast.

Altitude (m)	Superficie partielle (km <sup>2</sup> )	superficie partielle en %	Superficie cumulée en %
840-850	0,027	1,08	1,08
850-900	0,459	18,32	19,4
900-950	1,327	52,95	72,35
950-969	0,693	27,65	100
<b>Somme</b>	2,506	100	-

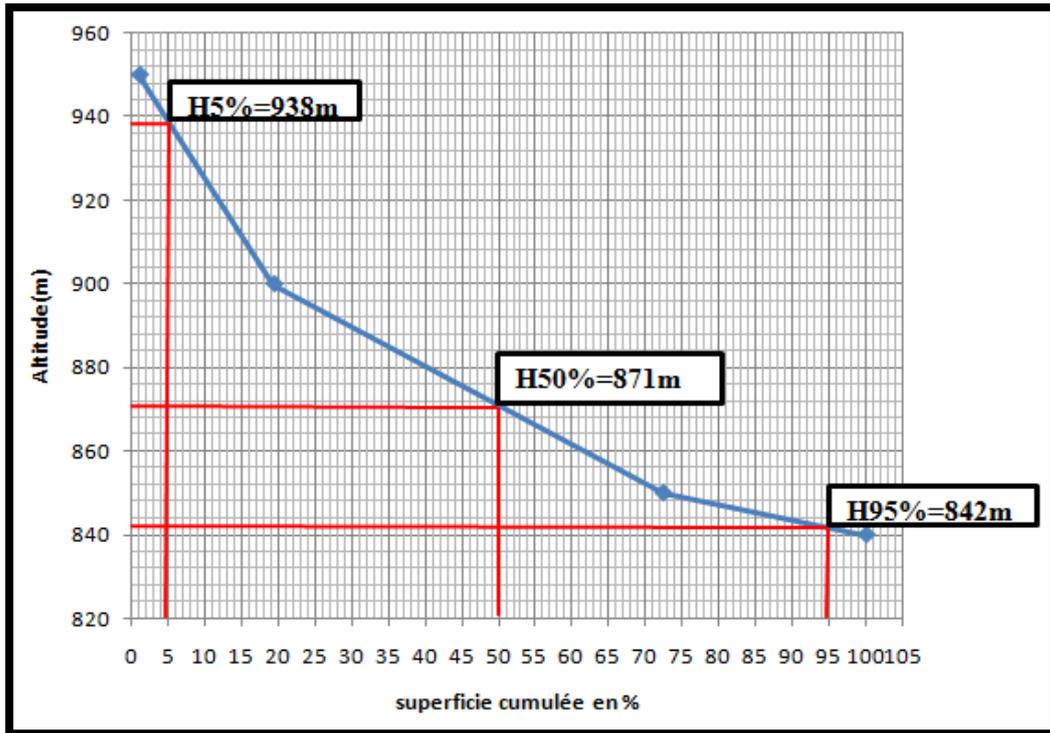


Figure III-5: Courbe hypsométrique du sous BV de Chaabat Tabesbast.

**III.1.4.2. Les altitudes Caractéristiques :**

**III.1.4.2.1. Altitude maximale et minimale :**

Elles sont obtenues directement à partir des cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé, et l'altitude minimale considère le point le plus bas du bassin versant.

**III.1.4.2.2. Altitude moyenne :**

$$H_{moy} = \sum \frac{S_i \times h_i}{S} \dots\dots\dots (5)$$

Avec :

**h<sub>i</sub>**: Altitude moyenne entre 2 courbes de niveaux consécutives en (m) ;

**S<sub>i</sub>**: Surface partielle comprise entre 2 courbes de niveaux consécutives en (km<sup>2</sup>) ;

**S** : Surface totale du sous bassin en (km<sup>2</sup>) ;

**Tableaux III-6** : Calcul de l'altitude moyenne du BV d'Oued Krerba.

Altitude (m)	Superficie partielle $S_i$ (km <sup>2</sup> )	$h_i$	$S_i \times h_i$	$\frac{S_i \times h_i}{S}$
794-800	0,052359	797	41,73	3,36
800-850	4,860237	825	4009,69	322,58
850-900	4,493369	875	3931,7	316,31
900-950	2,268598	925	2098,45	168,82
950-969	0,753734	959,5	723,21	58,18
Somme	12.43	-	-	869,25

**Tableaux III-7** : Calcul de l'altitude moyenne du sous BV de chaabat Lourarsa.

Altitude (m)	Superficie partielle $S_i$ (km <sup>2</sup> )	$h_i$	$S_i \times h_i$	$\frac{S_i \times h_i}{S}$
<b>843-850</b>	0,022	846,5	18,62	11,76
<b>850-900</b>	0,71	875	621,25	392,20
<b>900-950</b>	0,852	925	788,1	497,54
<b>Somme</b>	1,584			901,5

**Tableaux III-8** : Calcul de l'altitude moyenne du sous BV de chaabat Tabesbast.

Altitude (m)	Superficie partielle $S_i$ (km <sup>2</sup> )	$h_i$	$S_i \times h_i$	$\frac{S_i \times h_i}{S}$
<b>840-850</b>	0,027	845	22,82	9,11
<b>850-900</b>	0,459	875	401,63	160,27
<b>900-950</b>	1,327	925	1227,48	489,82
<b>950-969</b>	0,693	959,5	664,93	265,34
<b>Somme</b>	2,506			924,54

**III.1.4.3. Les indice de pente :****III.1.4.3.1. La pente du bassin versant :**

$$P_{BV} = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{L_p} \dots\dots\dots (6)$$

Avec :

**P<sub>BV</sub>** : Pente du bassin versant en (m/Km) ;

**L<sub>p</sub>**: Longueur de talwegs en (km) ;

**H<sub>max</sub> et H<sub>min</sub>**: Hauteur maximale et minimale en (m).

**III.1.4.3.2. Indice de pente moyenne :**

$$I_m = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{\sqrt{S}} \dots\dots\dots (7)$$

Avec :

**I<sub>m</sub>**: Indice de pente moyenne en (m/Km) ;

**S**: Surface du bassin versant (km<sup>2</sup>) ;

**H<sub>max</sub> et H<sub>min</sub>**: Hauteur maximale et minimale en (m).

**III.1.4.3.3. Indice de pente globale :**

$$I_g = \frac{D}{L_{eq}} \dots\dots\dots (8)$$

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

**D** : Dénivelée entre H5% et H95% en (m) ;

**L<sub>eq</sub>**: Longueur du rectangle équivalent en (Km) ;

**H5% et H95%** : Sont respectivement les altitudes correspondantes à S5% et S95%.

**III.1.4.3.4. Dénivelée spécifique :**

$$D_s = I_g \sqrt{S} \dots \dots \dots (9)$$

Avec:

**D<sub>s</sub>** : Dénivelée spécifique en (m) ;

**I<sub>g</sub>**: Indice global de pente en (m/km) ;

**S**: Superficie du bassin versant en (km<sup>2</sup>) ;

**Tableaux III-9** : Classement du relief à partir de la dénivelée spécifique selon la classification de l'ORSTOM [1].

Relief	Valeur de <b>D<sub>s</sub></b> (m)
Relief très faible	<b>D<sub>s</sub></b> < 10
Relief faible	10 < <b>D<sub>s</sub></b> < 25
Relief assez faible	25 < <b>D<sub>s</sub></b> < 50
Relief modéré	50 < <b>D<sub>s</sub></b> < 100
Relief assez fort	100 < <b>D<sub>s</sub></b> < 250
Relief fort	250 < <b>D<sub>s</sub></b> < 500
Relief très fort	<b>D<sub>s</sub></b> > 500

D'après la classification de l'ORSTOM (Office de la recherche scientifique et technique outre-mer) (Tableaux III-9), notre BV d'Oued Krerba et les sous BV des deux chaabats présentent des reliefs modérés.

**III.1.5. Caractéristiques hydrographiques du bassin versant :**

**III.1.5. 1 La pente moyenne du cours d'eau principal:**

$$Pente_{moy} = \frac{\Delta H_{max}}{L_p} \dots \dots \dots (10)$$

Avec :

**Pente<sub>moy</sub>**: Pente moyenne du cours d'eau en (m/km) ;

**ΔH<sub>max</sub>** : Dénivellation maximale de la rivière (m) ;

$L_P$  : Longueur du cours d'eau principal en (km) ;

### III.1.5.2. Le temps de concentration :

C'est le temps requis par la goutte d'eau hydrauliquement la plus éloignée pour parvenir à l'exutoire du bassin. Il ya plusieurs méthodes et relations permettent le calcul de ce coefficient, d'une grande importance pour les études hydrologiques.

Pour notre cas en a recouru plusieurs formules empiriques qui sont :

➤ **Formule de CALIFORNIA :**

$$T_C = \left( \frac{0,87 \times L_P}{H_{\max} - H_{\min}} \right)^{0,386} \dots\dots\dots (11)$$

Avec :

$T_C$  : Temps de concentration en (heures) ;

$L_P$  : Longueur du talweg principal en (Km) ;

$H_{\max}$ ,  $H_{\min}$ : Respectivement la hauteur maximale et minimale du B.V en (m) ;

➤ **Formule de TÉMEZ :**

$$T_C = 0,3 \times \left( \frac{L_P}{(\text{Pente}_{\text{moy}})^{1/4}} \right)^{0,76} \dots\dots\dots (12)$$

Avec :

$T_C$  : Temps de concentration en (heures) ;

$\text{Pente}_{\text{moy}}$ : La pente moyenne de talwegs principale en (m/m) ;

$L_P$ : Longueur du talweg principal en (Km) ;

➤ **Formule de KIRPICH :**

$$T_C = 0,6615 \times L_P^{0,77} \times I_g^{-0,385} \dots\dots\dots (13)$$

Avec :

$T_C$ : Temps de concentration en heures ;

$I_g$  : La pente globale de talwegs principale en (m/m) ;

$L_p$  : Longueur du talweg principal en (Km) ;

➤ **Formule Algérienne :**

$$T_c = 0,0055 \times S + 0,1657 \times L_p + 0,0078 \times \Delta H + 0,821 \dots\dots\dots (14)$$

Avec :

$T_c$  : Temps de concentration en heures ;

$L_p$  : Longueur du talweg principal en (Km) ;

$S$  : Surface du bassin versant en Km<sup>2</sup> ;

$\Delta H$  : Dénivelé entre l'altitude moyenne et minimale ;

➤ **Formule de SCS :**

$$T_c = \left( 0,868 \times \frac{L_p^2}{S} \right)^{0,385} \dots\dots\dots (15)$$

$T_c$  : Temps de concentration en heures ;

$S$  : Surface du bassin versant en Km<sup>2</sup> ;

$L_p$  : Longueur du talweg principal en (Km) ;

Les résultats des différentes méthodes sont représentés dans le tableau (Tableaux III-10, III-11, III-12) suivant :

**Tableaux III-10 :** Temps de concentration par différentes méthodes.

Formule	Résultat
Formule de TÉMEZ	0,49
Formule de CALIFORNIA	0,27
Formule de KIRPICH	0,83
Formule Algérienne	2 ,58
Formule de SCS	1,55

Vu les résultats trouvés ci-dessus, le temps de concentration varie entre 0.49 et 2.58 heures et la moyenne est de 1.44 heures sachant qu'elle n'est pas prise en considération puisque les valeurs empiriques ne s'additionnant pas car elles sont hétérogènes.

**Tableaux III-11 :** Temps de concentration du sous bassin versant de chaabat Lourarsa.

Formule	Résultat
Formule de SCS	1.56

**Tableaux III-12 :** Temps de concentration du sous bassin versant de chaabat Tabesbast.

Formule	Résultat
Formule de SCS	1.53

Alors on prendra : les valeurs obtenues par la formule de SCS:

- **Tc= 1.55 h** pour BV d'oued Krerba ;
- **Tc=1.56 h** pour  $S_{BV}$  Lourarsa;
- **Tc=1.53h** pour  $S_{BV}$  Tabesbast.

**III.1.5.3. Vitesse moyenne de ruissellement :**

$$V_R = \frac{L_p}{T_c} \dots\dots\dots (16)$$

Avec :

$V_R$ : Vitesse moyenne de ruissellement en (Km/h) ;

$L_P$ : Longueur de talweg principal en (Km) ;

$T_c$ : Temps de concentration en (heure) ;

**Tableaux III-13 : Vitesse de ruissèlement.**

Bassin versant	$V_R$ (Km/h)
Bassin versant d'Oued Krerba	4.3
Sous bassin de Chaabat Lourarsa	1.54
Sous bassin de Chaabat Tabesbast	1.93

### Conclusion :

Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de Aïn Mellouk (Oued Krerba), et les deux sous bassin versant (chaabat Lourarsa ,chaabat Tabesbast ) ont été évaluées à partir du logiciel ArcGis sur une carte topographique de 1/50.000.

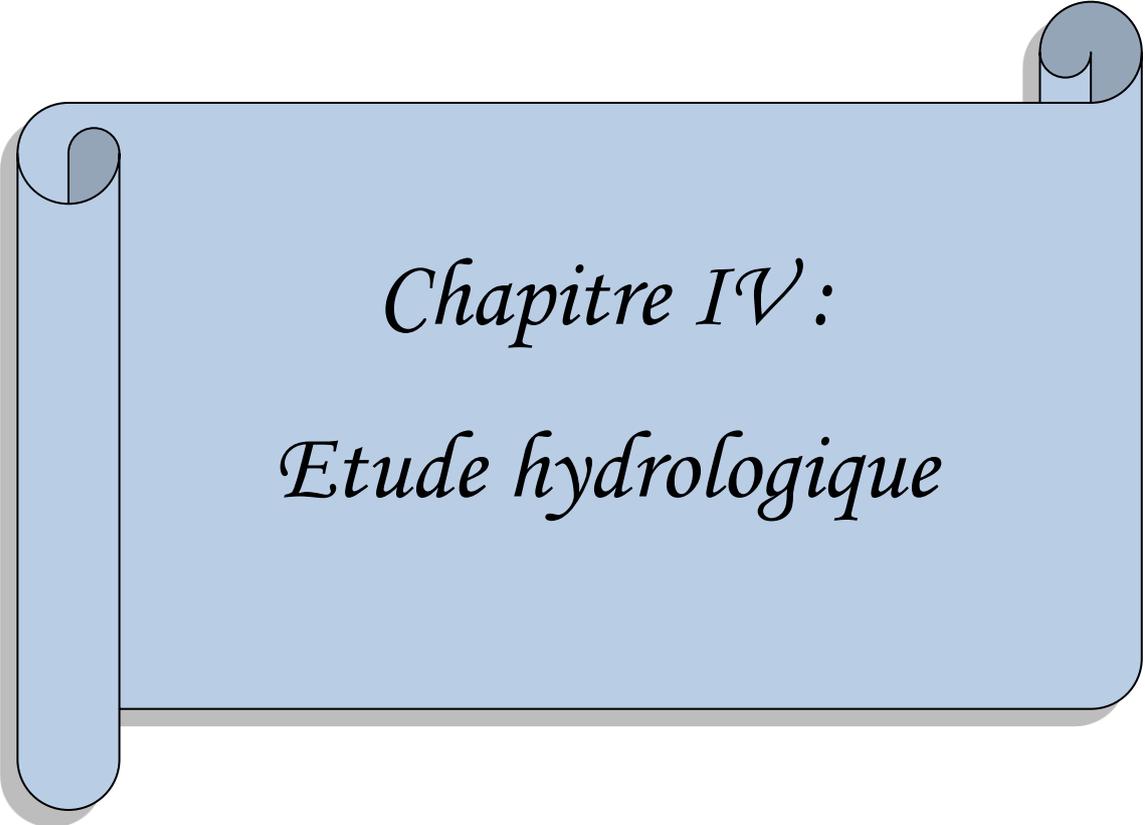
D'après l'étude morphométrique, les trois BV présentent des formes allongées, reliefs modérés et des pentes globales fortes, ainsi des temps de concentration et de ruissellement moyen ce qui favorise l'infiltration des eaux de pluie.

Les principaux indices géomorphologiques pour le bassin versant d'oued Krerba et les deux sous bassin versant et définies sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableaux III-14 : Caractéristiques morphométriques des bassins versant.**

Caractéristiques	Symboles	Unité	BV Krerba	Sous BV Lourarsa	Sous BV Tabesbast
Superficie	S	Km <sup>2</sup>	12,43	1,584	2,506
Périmètre	P	Km	16,07	5,177	7,816
Longueur du thalweg principal	$L_P$	Km	6,67	2,409	2,95
Indice de compacité	$K_G$	-	1,28	1,15	1,38

<b>Rectangle équivalent</b>	<b>Longueur</b>	$L_{eq}$	Km	5,89	1,53	3,05
	<b>Largeur</b>	$I_{eq}$	Km	2,11	1,03	0,82
<b>Altitudes</b>	<b>Maximale</b>	$H_{max}$	m	969	950	969
	<b>Minimale</b>	$H_{min}$	m	794	843	840
	<b>Moyenne</b>	$H_{moy}$	m	869,25	901,5	924,54
	<b>Médiane</b>	$H_{med}$	m	884	848	871
	<b>Altitude 5%</b>	$H_{5\%}$	m	944	886	938
	<b>Altitude 95%</b>	$H_{95\%}$	m	800	844	842
<b> pente du bassin versant</b>		$P_{BV}$	m/Km	26,24	44,42	43,73
<b>Indice de pente moyenne</b>		$I_m$	(m/Km)	49,64	85,02	81,49
<b>Indice de pente globale</b>		$I_g$	(m/Km)	24,45	27,45	31,48
<b>Dénivelée spécifique</b>		$D_s$	m	86,20	34,55	49,83
<b>La pente moyenne du cours d'eau principal</b>		$Pente_{moy}$	(m/km)	145,28	20,76	6,44
<b> temps de concentration</b>		$T_C$	h	1,55	1,56	1,53
<b>Vitesse moyenne de ruissellement</b>		$V_R$	Km/h	4,30	1,54	1,93



*Chapitre IV :*  
*Etude hydrologique*

## Introduction :

L'objectif de l'étude effectuée dans ce chapitre est de calculer, évaluer ou encore estimer avec la plus grande précision possible, les paramètres hydrologiques servant pour la détermination des volumes d'eau à évacuer en période de crues.

C'est la partie la plus rigoureuse, et toutes erreurs sur le calcul des paramètres hydrologiques peuvent causer des grands dégâts sur les ouvrages à dimensionner, d'où la nécessité d'un traitement très poussé de cette partie de l'étude.

### IV.1. Analyse des données pluviométrique :

Le bassin versant d'Oued Krerba (Aïn Mellouk) ne dispose d'aucun équipement hydro climatologique, cependant, nous avons procédé à inventorier les équipements implantés à l'intérieur du sous bassin versant 10 03 dans lequel est inclus le Krerba et le sous bassin 10 04 limitrophe de ce dernier.

Le sous bassin 10 03, dispose de six (06) postes pluviométriques (Tableaux IV-1) en fonctionnement. En plus de ces postes pluviométriques, nous avons retenus la poste pluviométrique codé 10 04 01 en raison de sa situation géographique très rapproché du bassin d'étude (situé à environ 1.2 Km au Sud-est de la ville d'Aïn Mellouk).

**Tableaux IV-1:** Postes pluviométriques proches du bassin d'Oued Krerba.

Stations	Code	Coordonnée Lambert		Altitude (m)	Situation par apport au BV	Série Pluviométrique
		X (km)	Y (km)			
<b>Bellaa</b>	10 03 02	783,80	327,10	990	29 km au Sud- ouest	/
<b>Tadjenanet</b>	10 03 03	796,15	318,00	845	20 km au Sud-ouest	/
<b>Bir El-Arch</b>	10 03 06	782,30	319,10	952	31 km au Sud-ouest	/
<b>Mechta Khellouta</b>	10 03 08	805,00	331,50	900	4,5 km au Sud-est	N'est pas disponible
<b>Chelghoum-Laid</b>	10 03 12	811,40	323,75	768	4,5 km au Sud-ouest	N'est pas disponible
<b>Grouz</b>	10 03 15	821,99	332,08	700	0,5 km au Sud- est	N'est pas disponible
<b>Bou Malek</b>	10 04 01	81715	337,00	830	1,2 km au Sud-est	Disponible

**IV.1.1 Pluies journalières maximales :**

Les pluies maximales journalières (Pjmax) de différentes fréquences (ou période de retour) rares sont génératrices de crues exceptionnelles contre lesquelles il faut protéger les ouvrages,

Les pluies maximales journalières sont nécessaires pour l'estimation des crues à différentes fréquences [11].

Dans notre région d'étude en disposons de 45 ans d'observation de Pj max de la station de Bou Malek, qui est représenté dans le tableau IV-2.

**Tableaux IV-2 :** La précipitation journalière maximale de la station de Bou Malek (1968-2012).

<b>Années</b>	<b>Pjmax (mm)</b>	<b>Années</b>	<b>Pjmax (mm)</b>	<b>Années</b>	<b>Pjmax (mm)</b>
<b>1968</b>	24,5	<b>1983</b>	81,4	<b>1998</b>	48,7
<b>1969</b>	52,2	<b>1984</b>	83,5	<b>1999</b>	21,7
<b>1970</b>	37,7	<b>1985</b>	27,2	<b>2000</b>	32,5
<b>1971</b>	40	<b>1986</b>	35,6	<b>2001</b>	31,9
<b>1972</b>	11,2	<b>1987</b>	24,1	<b>2002</b>	77
<b>1973</b>	27	<b>1988</b>	30,7	<b>2003</b>	47,8
<b>1974</b>	58,3	<b>1989</b>	18,7	<b>2004</b>	46,6
<b>1975</b>	60,4	<b>1990</b>	22,8	<b>2005</b>	37,3
<b>1976</b>	63,6	<b>1991</b>	25,9	<b>2006</b>	27,2
<b>1977</b>	31,4	<b>1992</b>	19,7	<b>2007</b>	27
<b>1978</b>	40,4	<b>1993</b>	17,7	<b>2008</b>	36,5
<b>1979</b>	55,8	<b>1994</b>	23	<b>2009</b>	35,2
<b>1980</b>	48,2	<b>1995</b>	24,4	<b>2010</b>	66,7
<b>1981</b>	31,6	<b>1996</b>	47,9	<b>2011</b>	64
<b>1982</b>	36	<b>1997</b>	38,7	<b>2012</b>	30,5
					<b><math>\overline{Pjmax}=39,34</math></b>

➤ **Teste de l’homogénéité de la série :**

Pour vérifier l’homogénéité de la série pluviométrique de la station de Bou Malek au niveau de signification de 5%, nous allons utiliser le test de **WILCOXON**.

On commence par diviser la série pluviométrique en deux échantillons de longueurs respectives  $N_1 = 25$  valeurs et  $N_2 = 20$  valeurs.

Après la division de la série on vérifie l’inégalité:

$$W_{\min} < \sum \text{Rang } x < W_{\max}$$

$$W_{\min} = \frac{(N_1 + N_2 + 1)N_1 - 1}{2} - Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{N_1 \times N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12}} \dots\dots\dots (17)$$

$$W_{\min} = 488,69$$

$$W_{\max} = (N_2 + N_2 + 1) \times N_1 - W_{\min} \dots\dots\dots (18)$$

$$W_{\max} = 661,31$$

$$\sum \text{Range } x = 569$$

**C'est-à-dire :**  $488,69 < 569 < 661,31$  ; on conclue que notre série est **Homogène**

Les caractéristiques de la série pluviométrique (période : 1968-2012) sont représentés dans le tableau suivant (Tableaux IV.3) :

**Tableaux IV-3 :** Paramètres statistiques de la série pluviométrique.

Caractéristiques	Formules	Valeurs
Nombre d'années observé	-	45
Pluie Maximum en (mm)	-	83,5
Pluie Minimum en (mm)	-	11,2
La somme des Pjmax en (mm)	$\sum_{i=1}^{n=45} X_i$	1770,2
La moyenne des Pjmax en (mm)	$P_{j\max} = \frac{\sum_{i=1}^{n=45} X_i}{n}$	39,34

L'écart type $\delta$	$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n=45} X_i^2 - n * \bar{X}^2}{n - 1}}$	17,52
Coefficient de variation $C_v$	$C_v = \frac{\delta}{\bar{X}}$	0,4453

**IV.1.2. Pluies journalières maximales fréquentielle :**

$$P_{jmax\%} = \frac{\overline{P_{jmax}}}{\sqrt{(C_v^2 + 1)}} e^{u \sqrt{\ln((C_v^2 + 1))}} \dots\dots\dots (19)$$

Avec :

***P<sub>jmax</sub>%***: Pluie journalière maximal fréquentielle en (mm) ;

**$\overline{P_{jmax}}$**  : Pluie journalière maximal moyenne (mm) ;

**u** : Variable réduite de Gauss ;

**$C_v$**  : Coefficient de variation ;

Les résultats sont représentés dans le tableau (Tableaux IV-4) suivant :

**Tableaux IV-4** : Calcule de  $P_{jmax}$  fréquentielle.

<b>Période de retour (année)</b>	<b>Fréquence de dépassement</b>	<b>Fréquence de non dépassement</b>	<b>Variable réduite de Gauss(u)</b>	<b><math>P_{jmax}</math> (%)</b>
05	02	0,8	0,8428	51,43
10	01	0,9	1,285	62,07
20	0,05	0,95	1,65	72,5
50	0,02	0,98	2,0571	86,20
100	0,01	0,99	2,328	96,73
1000	0,001	0,999	3,1	134,33

**IV.1.3. Pluies de courte durée et l'intensité maximale :**

Les précipitations exceptionnelles ( $P_{tc}$ ) de durée ( $t$ ) inférieure à 24heures (courte durée) sont reliées aux précipitations journalières fréquentielles  $P_{jmax}$  selon la relation :

$$P_{tc} = P_{jmax}\% \left(\frac{T_c}{24}\right)^b \dots\dots\dots (20)$$

Avec :

**$P_{tc}$**  : Pluie de courte durée en (mm) ;

**b** : Exposant climatique égale 0,34 ; [DRE]

**$P_{jmax}\%$** : Pluie maximale journalière pour différentes fréquences en (mm) ;

**$T_c$** : Temps de concentration en (heur) ;

**Tableaux IV-5 : Pluies maximales de durée  $T_c$ .**

Pluies (mm)		Période de retour (ans)					
		5	10	20	50	100	1000
<b><math>P_{jmax}\%</math></b>		51,43	62,07	72,5	86,20	96,73	134,33
<b><math>P_{tc}\%</math></b>	<b>BV Krerba</b>	20,26	24,45	28,56	33,96	38,11	52,92
	<b>SBV Lourarsa</b>	20,31	24,51	28,62	34,03	38,19	53,04
	<b>SBV Tabesbast</b>	20,17	24,34	28,44	33,81	37,94	52,69

$$I = \frac{P_{tc}}{T} \dots\dots\dots (21)$$

Avec :

**$P_{tc}$**  : Pluie de courte durée de fréquence donnée en (mm) ;

**I**: L'intensité maximale de période  $t$  en (heur) ;

**T** : Temps en (h) ;

Les résultats de calcul sont représentés dans le tableau suivant (Tableaux IV-6) :

Tableaux IV-6 : Pluies et intensités de courte durée pour les différentes périodes de retour.

Période de retour	5		10		20		50		100		1000	
	Ptc (mm)	I (mm/h)										
1	17,46	17,46	21,07	21,07	24,61	24,61	29,26	29,26	32,83	32,83	45,59	45,59
2	22,1	11,05	26,67	13,33	31,15	15,57	37,03	18,52	41,56	20,78	57,71	28,86
4	27,97	6,99	33,75	8,44	39,43	9,86	46,87	11,72	52,60	13,15	73,05	18,26
6	32,10	5,35	38,74	6,46	45,25	7,54	53,80	8,97	60,38	10,06	83,84	13,97
8	35,4	4,43	42,72	5,34	49,90	6,24	59,33	7,42	66,58	8,32	92,46	11,56
10	38,19	3,82	46,09	4,61	53,84	5,38	64,01	6,40	71,83	7,18	99,75	9,97
12	40,63	3,39	49,04	4,09	57,28	4,77	68,1	5,68	76,42	6,37	106,13	8,84
14	42,82	3,06	51,68	3,69	60,36	4,31	71,77	5,13	80,53	5,75	111,84	7,99
16	44,81	2,80	54,08	3,38	63,16	3,95	75,1	4,69	84,27	5,27	117,03	7,31
18	46,64	2,59	56,29	3,13	65,74	3,65	78,17	4,34	87,72	4,87	121,81	6,77
20	48,34	2,42	58,34	2,92	68,14	3,41	81,02	4,05	90,92	4,55	126,26	6,31
22	49,93	2,27	60,26	2,74	70,39	3,2	83,69	3,80	93,91	4,27	130,41	5,93
24	51,43	2,14	62,07	2,59	72,5	3,02	86,20	3,59	96,73	4,03	134,33	5,60

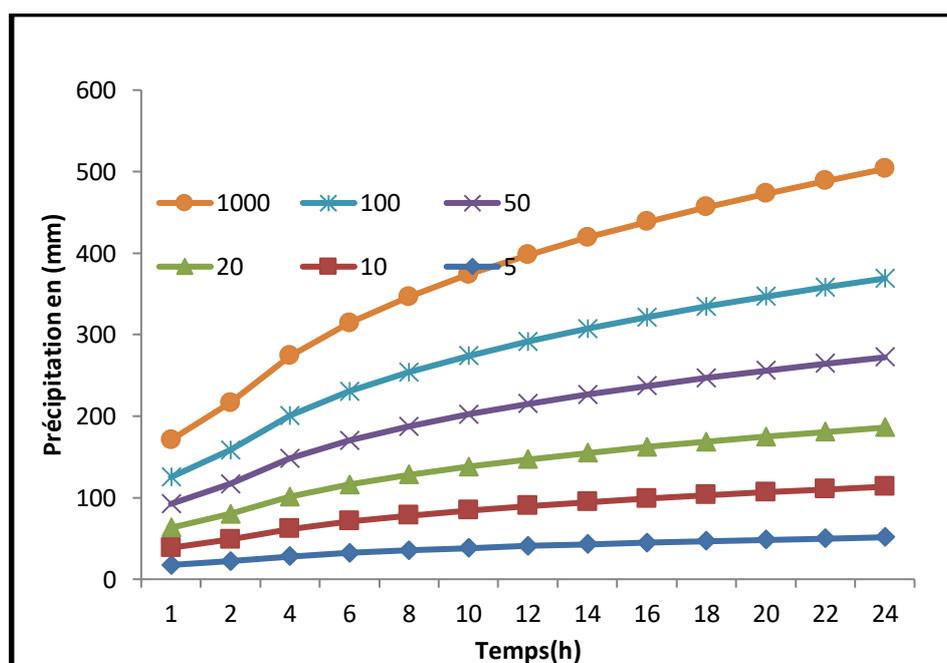


Figure IV-1 : Courbes des pluies de courte durée fréquentielle du bassin versant d'Oued Krerba.

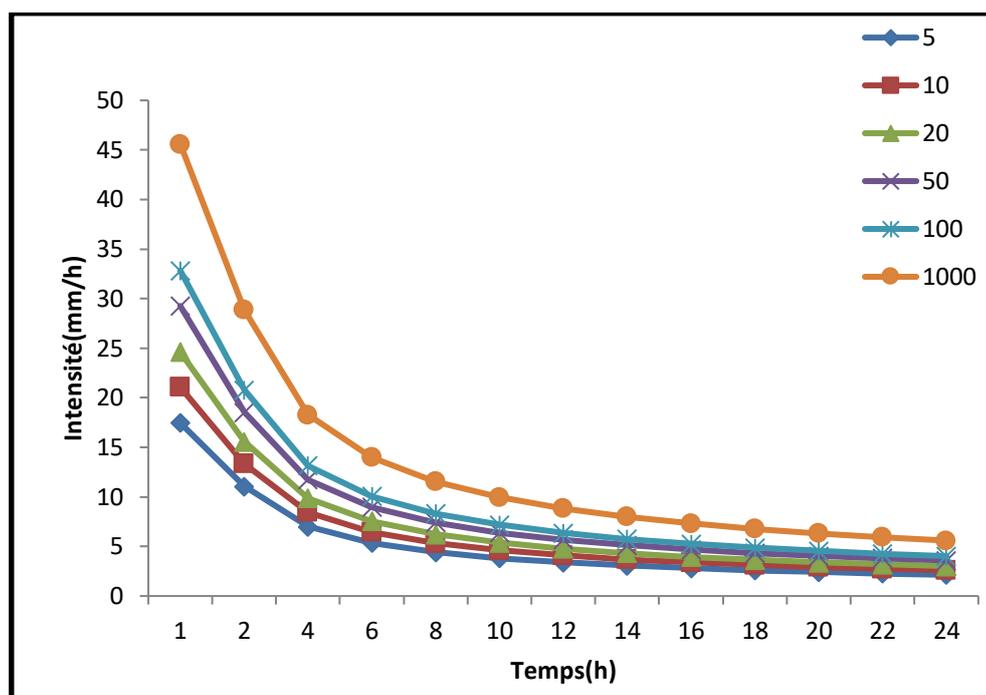


Figure IV-2 : Courbes intensité durée fréquence (IDF) du bassin versant d'Oued krerba.

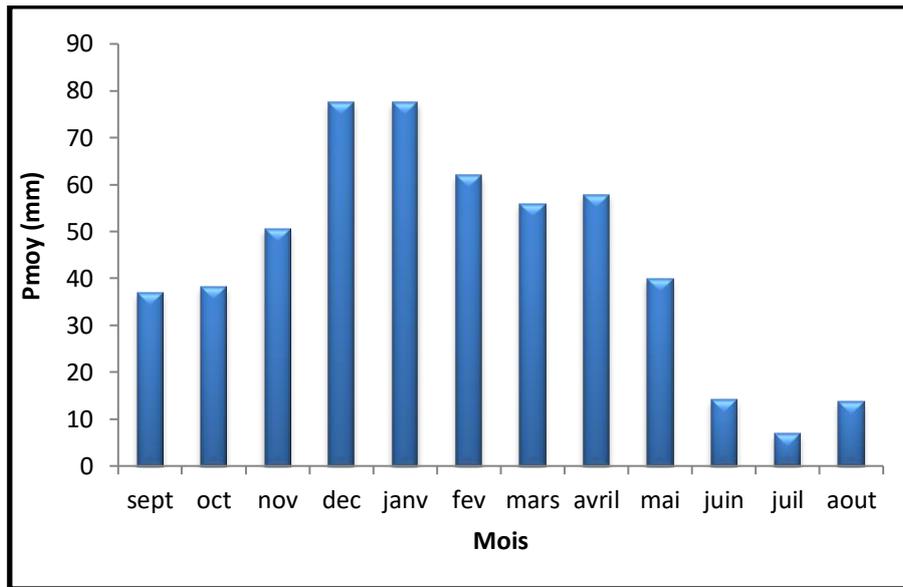
IV.1.4. Pluies moyenne mensuelle interannuelles :

Les précipitations moyennes mensuelles observées pendant le période (1968-2012), pour la station de Bou Malek sont représenté dans le Tableau N° (IV-7).

Tableaux IV-7: Pluies moyenne mensuelle interannuelles de la station de Bou Malek, période (1968-2012).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	$\sum$ Pmoy (mm)
Pmoy (mm)	36,86	38,23	50,51	77,47	77,63	61,85	55,92	57,84	39,93	14,12	6,86	13,71	530,93
(%)	6,94	7.2	9,51	14,59	14,62	11,65	10,53	10,89	7,52	2,66	1,29	2,58	100

Sources( ANRH)



**Figure IV-3 :** Diagramme représentatif des pluies moyennes mensuelles interannuelles de la station de Bou Malek, période (1968-2012).

La précipitation moyenne annuelle est de **530,93mm**, Elle est minimale durant le mois de Juillet avec une valeur de 6,86 mm, et elle est maximale pour les mois de Janvier avec une valeur de 77,63 mm (Tableaux IV-7 et Figure IV-3).

**IV.2. Etude des apports :**

**IV.2.1. Apports liquides :**

**IV.2.1.1. Apport moyen interannuel :**

- **Formule de MEDINGUER :**

$$Amoy = Le * S * 10^{-3} \dots\dots\dots (22)$$

$$Le = 1,024(Pmoy - 0,26)^2 \dots\dots\dots (23)$$

Avec :

**Amoy** : Apport moyen annuel (Hm<sup>3</sup>) ;

**Pmoy** : Pluie moyenne annuelle (m) ;

**Le** : Lane d'eau écoulée (mm) ;

**S** : Superficie du bassin (Km<sup>2</sup>) ;

- **Formule de SAMIE :**

$$\mathbf{Amoy} = \mathbf{Le} * \mathbf{S} * \mathbf{10^{-3}} \dots\dots\dots (24)$$

$$\mathbf{Le} = \mathbf{Pmoy^2(293 - 2,2\sqrt{S})} \dots\dots\dots (25)$$

Avec :

**Amoy** : Apport moyen annuel (Hm<sup>3</sup>) ;

**Pmoy** : Pluie moyenne annuelle (m) ;

**Le** : Lame d'eau écoulée (mm) ;

**S** : Superficie du bassin (Km<sup>2</sup>) ;

- **Formule de DERY :**

$$\mathbf{Amoy} = \mathbf{Le} * \mathbf{S} * \mathbf{10^{-3}} \dots\dots\dots (26)$$

$$\mathbf{Le} = \mathbf{0,915 * \left(\frac{Pmoy}{1000}\right) * 5^{0,842} * 31,536} \dots\dots\dots (27)$$

Avec :

**Amoy** : Apport moyen annuel (Hm<sup>3</sup>) ;

**Pmoy** : Pluie moyenne annuelle (mm) ;

**Le** : Lame d'eau écoulée (mm) ;

- **Formule de SOGREAH :**

$$\mathbf{Amoy} = \mathbf{Le} * \mathbf{S} * \mathbf{10^{-3}} \dots\dots\dots (28)$$

$$\mathbf{Le} = \mathbf{720 \left(\frac{Pmoy - 150}{1000}\right)^{1,85}} \dots\dots\dots (29)$$

Avec :

**Amoy** : Apport moyen annuel (Hm<sup>3</sup>) ;

**Pmoy** : Pluie moyenne annuelle (mm) ;

**Le** : Lamé d'eau écoulée (mm) ;

- **Formule de COUTAGNE :**

$$\mathbf{Amoy} = \mathbf{Le} * \mathbf{S} * \mathbf{10}^{-3} \dots\dots\dots (30)$$

$$\mathbf{Le} = (\mathbf{0,164} - \mathbf{0,00145} * \sqrt{\mathbf{S}}) * \mathbf{Pmoy} \dots\dots\dots (31)$$

Avec :

**Amoy**: Apport moyen annuel (Hm<sup>3</sup>) ;

**Pmoy** : Pluie moyenne annuelle (mm) ;

**Le** : Lamé d'eau écoulée (mm) ;

Tous les résultats sont récapitulés dans les tableaux suivant (Tableaux IV-8 et IV-10) :

**Tableaux IV-8** : Lamé d'eau et l'apport moyen interannuel BV d'Oued Krarba.

	Formules	Résultats	
		Le (mm)	Amoy (Hm <sup>3</sup> )
<b>BV d'Oued Krarba</b>	<b>MEDINGUER</b>	75,16	0,93
	<b>SAMIE</b>	80.41	1
	<b>DERY</b>	59,40	0,74
	<b>SOGREAH</b>	120,75	1,5
	<b>COUTAGNE</b>	84.36	1,05

En prend la valeur de l'apport moyen annuel et la lamé d'eau ruisselée de la formule de SOGREAH car elle est la formule la plus utilisé dans les bassins du Nord Algérien [11].

**Tableaux IV-9 :** Distribution moyenne mensuelle des apports BV d'Oued Krerba.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	$\sum A$
A(%)	6,94	7,2	9,51	14,59	14,62	11,65	10,53	10,89	7,52	2,66	1,29	2,58	100
A(Hm <sup>3</sup> )	0,10	0,11	0,14	0,22	0,22	0,18	0,16	0,16	0,11	0,04	0,02	0,04	1,5

**Tableaux IV-10 :** Lamme d'eau et l'apport moyen interannuel des sous BV.

Formules		Résultats	
		Le (mm)	Amoy (Hm <sup>3</sup> )
SOGREAH	SBV Lourarsa	120,75	0,19
	SBV Tabesbast	120,75	0,30

**Tableaux IV-11:** Distribution moyenne mensuelle des apports des sous BV.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	$\sum A$	
A(%)	6,94	7,2	9,51	14,59	14,62	11,65	10,53	10,89	7,52	2,66	1,29	2,58	100	
SBV Lourarsa	A (Hm <sup>3</sup> )	0,013	0,014	0,018	0,028	0,028	0,022	0,020	0,021	0,014	0,005	0,002	0,005	0,19
SBV Tabesbast	A (Hm <sup>3</sup> )	0,021	0,022	0,029	0,044	0,044	0,035	0,032	0,033	0,023	0,008	0,004	0,008	0,3

**IV.2.1.2. Caractéristiques de l'écoulement :**

**IV.2.1.2.1. Module de l'écoulement :**

$$Me = \frac{Amoy}{T} \dots\dots\dots (32)$$

Avec :

**Me** : Module de l'écoulement (l/s) ;

**Amoy** : Apport moyen annuel (l) ;

**T** : Temps d'une année en (secondes) ;

#### IV.2.1.2.2. Module de l'écoulement relatif ou spécifique :

$$M_0 = \frac{Me}{S} \dots \dots \dots (33)$$

Avec :

**M<sub>0</sub>**: Module de l'écoulement relatif (l/s/km<sup>2</sup>) ;

**Me** : Module de l'écoulement (l/s) ;

**S** : Superficie du bassin (Km<sup>2</sup>) ;

#### IV.2.1.2.4. Coefficient de l'écoulement :

$$C_e = \frac{Le}{P_{moy}} \dots \dots \dots (34)$$

Avec :

**Le** : Lamme d'eau écoulee (mm) ;

**P<sub>moy</sub>**: Pluie moyenne annuelle (mm) ;

#### IV.2.1.2.4. Coefficient de variation :

##### ➤ Formule de SKOLOVSKY :

$$C_v = 0,78 - 0,29 \log(M_0) - 0,0064 \log(S + 1) \dots \dots \dots (35)$$

Avec :

**C<sub>v</sub>** : Coefficient de variation ;

**M<sub>0</sub>**: Module de l'écoulement relatif (l/s/km<sup>2</sup>) ;

**S** : Superficie du bassin (Km<sup>2</sup>) ;

➤ **Formule d'ANTONOV :**

$$C_v = \frac{0,7}{(S + 1000)^{0,097}} \dots\dots\dots (36)$$

Avec :

**C<sub>v</sub>** : Coefficient de variation ;

**S** : Superficie du bassin (Km<sup>2</sup>) ;

➤ **Formule de KRISKY-MENKEL :**

$$C_v = \frac{0,83}{S^{0,06}} M_0^{0,27} \dots\dots\dots (37)$$

**C<sub>v</sub>** : Coefficient de variation ;

**M<sub>0</sub>**: Module de l'écoulement relatif (l/s/km<sup>2</sup>) ;

**S** : Superficie du bassin (Km<sup>2</sup>) ;

Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux (Tableaux IV-12, IV-13, IV-14) suivant :

**Tableaux IV-12** : Les caractéristiques de l'écoulement BV d'Oued Krarba.

Me (l/s)	M <sub>0</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )	C <sub>e</sub>	C <sub>v</sub>	
			Formules	Résultats
47,56	3,83	0,23	<b>SKOLOVSKY</b>	0,60
			<b>ANTONOV</b>	0,36
			<b>KRISKY-ENKEL</b>	1,03

En prend la valeur du coefficient de variation obtenue par la formule de SKOLOVSKY, car cette formule étant destinée pour les régions arides et semis arides [11], donc **C<sub>v</sub> = 0.6**

**Tableaux IV-13 :** Les caractéristiques de l'écoulement sous BV de chaabat Lourarsa.

Me (l/s)	M <sub>0</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )	C <sub>e</sub>	C <sub>v</sub>	
			Formules	Résultats
6,02	3,80	0,23	<b>SKOLOVSKY</b>	0,61

**Tableaux IV-14:** Les caractéristiques de l'écoulement du sous BV de chaabat Tabesbast.

Me (l/s)	M <sub>0</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )	C <sub>e</sub>	C <sub>v</sub>	
			Formules	Résultats
9,51	3,79	0,23	<b>SKOLOVSKY</b>	0,61

**IV.2.1.3. Etude fréquentielle des apports liquides :**

$$A\% = \frac{Amoy}{\sqrt{(C_v^2 + 1)}} e^{u \cdot \sqrt{\ln(C_v^2 + 1)}} \dots \dots \dots (38)$$

Avec :

**A%**: Apport liquide de fréquence donnée ;

**Amoy**: Apport moyen annuel ;

**Cv** : Coefficient de variation ;

**U** : Variable de Gauss ;

Les résultats représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV-15 : Les apports liquides de différentes fréquences.

Période de retour (année)	Variable réduite de Gauss(u)	BV Krerba		SBV Lourarsa		SBV Tabesbast	
		A% (Hm <sup>3</sup> )	Le (mm)	A% (Hm <sup>3</sup> )	Le (mm)	A% (Hm <sup>3</sup> )	Le (mm)
5	0,8428	2,05	164,92	0,26	164,14	0,41	163,61
10	1,285	2,62	210,78	0,33	208,33	0,53	211,49
20	1,65	3,21	258,25	0,41	258,84	0,65	259,38
50	2,0571	4,02	323,41	0,52	328,28	0,8	319,23
100	2,328	4,68	376,51	0,60	378,79	0,95	379,09
1000	3,1	7,18	577,64	0,93	587,12	1,464	584,20
5 Sèches	-0,8428	0,81	65,17	0,10	63,13	0,16	63,85
10 Sèches	-1,285	0,63	50,68	0,08	50,51	0,124	49,48

#### IV.2.2. Apports solides :

L'apport solide moyen est calculé par la formule empirique de **TIXERONT** par ce que c'est la formule la plus utilisée en Algérie pour l'estimation des apports solides [8].

- Formule de **TIXERONT** :

$$A_s = \frac{E_s * S}{\gamma} \dots \dots \dots (39)$$

$$E_s = a * Le^{0.15} \dots \dots \dots (40)$$

Avec :

**A<sub>s</sub>** : Apport solide (m<sup>3</sup>/an) ;

**E<sub>s</sub>** : Taux d'érosion (t/Km<sup>2</sup>/an) ;

**S** : Superficie du bassin (Km<sup>2</sup>) ;

**Le** : Lamme d'eau écoulée (mm) ;

**a** : Coefficient empirique qui varie en fonction de la perméabilité du terrain (Tableau IV-16).

**Tableaux IV-16** : Variation de coefficient en fonction de la perméabilité du terrain.

Variation de perméabilité	a
Elevée	8.5
Moyenne	75
Faible à moyenne	350
Faible	1400
Imperméable	3200

Pour notre cas  $a=350$

$\gamma$ : Poids spécifique,  $\gamma= 1,6 \text{ t/ m}^3$  ;

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau (Tableau IV-17) suivant :

**Tableaux IV-17**: Taux d'érosion et Apports solides.

	$E_s(\text{t/Km}^2/\text{an})$	$A_s(\text{m}^3/\text{an})$
<b>BV d'Oued Krerba</b>	718,37	5580,84
<b>SBV Lourarsa</b>	718,37	711,19
<b>SBV Tabesbast</b>	718,37	1125,15

### IV.3. Etude de crue :

Le débit de crue est la caractéristique hydrologique qui permet le dimensionnement de différents ouvrages hydrotechniques.

Par manque de stations de jaugeage de débits aux niveaux des exutoires des sous bassins d'étude, l'évaluation des débits de pointe probable de la crue de différentes périodes de retour sont effectués à partir des formules empiriques.

**IV.3.1. Débits moyen journalier de différentes fréquences :**

$$Q_{jf}\% = \frac{P_{jmax} (\%) * Cr * S * Ka}{86,4} \dots\dots\dots (41)$$

Avec :

**P<sub>jmax</sub>(%) :** pluie maximale journalière fréquentielle (mm) ;

**Cr:** coefficient de ruissellement instantané de crue en fonction de la hauteur de précipitation journalière maximale pour une fréquence donnée ;

**Ka :** Coefficient d’amortissement de crue valant ka = 0,8 ;

**S :** Superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>) ;

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau (Tableaux IV-18) suivant :

**Tableaux IV-18:** Débit moyens journaliers de différentes fréquences.

Période de retour (année)	P <sub>jmax</sub> (%) (mm)	Cr	Q <sub>jf</sub> % (m <sup>3</sup> /s)		
			BV Krerba	SBV Lourarsa	SBV Tabesbast
05	51,43	0,6	3,55	0,45	0,72
10	62,07	0,64	4,57	0,58	0,92
20	72,5	0,67	5,59	0,71	1,13
50	86,20	0,7	6,94	0,88	1,40
100	96,73	0,71	7,90	1,01	1,59
1000	134,33	0,76	11,75	1,50	2,37

**IV.3.2. Débit maximum de crue :**

- **Formule de MALLET-GAUTHIER :**

$$Q_{maxf}\% = 2K \log(1 + A \times P_{moy}) \times \frac{S}{Lp} \times \sqrt{(1 + 4 \log T - \log S)} \dots\dots\dots (42)$$

Avec :

**K** et **A** : coefficient qui dépend de la topographie du bassin versant, ils varient comme suit:

$2 < K < 3$  et  $20 < A < 30$ , donc on prend **K = 3** et **A = 30** ;

**Pmoy** : Précipitation moyenne interannuelle (m) ;

**S** : Superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>) ;

**T** : Période de retour en années ;

**Lp** : Longueur du talweg principal (Km) ;

- **Formule de POSSENTI :**

$$Q_{\max\%} = \frac{\mu * P_{j\max\%} * S}{Lp} \dots\dots\dots (43)$$

Avec :

**μ** : Coefficient compris entre 700 -800 ; On prend **μ = 750** ;

**Pjmax%**: Pluie maximale journalière correspondante à la période de retour donnée en(m) ;

**S**: Superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>) ;

**Lp**: longueur du talweg principal (Km) ;

- **Formule de GIANDOTTI :**

$$Q_{\max\%} = Q_{jf\%} \left( \frac{P_{tc} * 24}{P_{j\max\%} * T_c} \right) \dots\dots\dots (44)$$

Avec :

**Qjf%**: Débit moyen journalier fréquentiel (m<sup>3</sup>/s) ;

**Pjmax%**: Pluie maximale journalière fréquentiel ;

**Tc** : Temps de concentrations ;

**Ptc** : Pluie de courte durée en (mm) ;

- **Formule FULLER :**

$$Q_{max\%} = Q_{jf\%} \left( 1 + \frac{2,66}{S^{0,3}} \right) \dots\dots\dots (45)$$

Avec :

**Q<sub>jf</sub>%**: Débit moyen journalier fréquentiel (m<sup>3</sup>/s) ;

**S**: Superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>) ;

- **Formule de TURAZZA :**

$$Q_{max\%} = \frac{Cr * Ptc * S}{3,6 * Tc} \dots\dots\dots (46)$$

Avec :

**Ptc** : Pluie de courte durée pour un temps T ;

**S** : Surface du bassin versant en (km<sup>2</sup>) ;

**Tc** : Temps de concentrations ;

**Cr** : Coefficient de ruissèlement (0.6-0.8) ;

- **Formule de SOKOLOVSKY :**

$$Q_{max\%} = \frac{0,28 \times S \times C_r \times Ptc}{T_c} \times f \dots\dots\dots (47)$$

Avec :

**Ptc** : Pluie de courte durée en (mm) ;

**Cr** : Coefficient de ruissèlement ;

**Tc** : Temps de concentrations (h)

**S** : Surface du bassin versant en (km<sup>2</sup>) ;

**f** : Coefficient de la forme de la crue ;

$$f = \frac{12}{4 + 3\phi} \dots\dots\dots (48)$$

$\phi$  : est évalué en fonction de caractéristique bassin versant (Tableaux IV-19) ;

**Tableaux IV-19** : Valeur de  $\phi$  en fonction de caractéristique bassin versant.

Bassin versant	Valeurs de $\phi$
Petit cours d'eau et vallons dans les bassins versants dénudée faiblement perméables.	2-2,5
Petit cours d'eau dans les bassins versants boisées ou perméables, moyen cours d'eau avec terrasses de lits majeurs normales.	3-4
Grands moyen cours d'eau avec des terrasses de débordements étendues.	4-7

Dans notre cas  $\phi=2,5$  -- --  $\rightarrow f = 1,04$  ;

Tous les résultats sont récapitulés dans les tableaux (Tableaux IV-22, IV-23) suivant :

**Tableaux IV-20**: Tableau récapitulatif des débits BV d'Oued Krerba.

Période de retour (ans)		5	10	20	50	100	1000
Débit max (m <sup>3</sup> /s)	<b>MALLET-GAUTHIER</b>	22,58	27,15	31,05	35,56	38,63	47,40
	<b>POSSENTI</b>	71,88	86,75	101,33	120,48	135,2	187,75
	<b>GIANDOTTI</b>	21,65	23,88	34,10	42,33	48,19	71,67
	<b>FULLER</b>	7,98	10,28	12,57	15,61	17,77	26,43
	<b>TURAZZA</b>	27,08	34,86	42,63	52,95	60,27	89,59
	<b>SOKOLOVSKY</b>	28,39	36,55	44,69	55,51	63,18	93,92

D'après les résultats obtenus par les différentes méthodes de calcul de débit de crues, on adopte celle de **SOKOLOVSKY**, vu sa vaste utilisation et fiabilité dans les pays du bassin méditerranéen et qui tient compte des plusieurs paramètres et donne une valeur maximale du débit [1].

Tableaux IV-21: Tableau récapitulatif des débits des sous BV.

Période de retour (ans)		5	10	20	50	100	1000
SOKOLOVSKY	SBV Lourarsa	3,60	4,64	5,67	7,04	8,02	11,91
	SBV Tabesbast	5,77	7,43	9,09	11,29	12,85	19,10

### IV.3.3. Hydrogramme de crue :

L'hydrogramme des crues représente la variation des débits d'un cours d'eau en fonction du temps. Il permet de déterminer les caractéristiques de la crue, la forme, le volume, le temps de montées et le temps de descente.

La forme de l'hydrogramme des crues est déterminée selon la méthode de SOKOLOVSKY, qui assimile l'hydrogramme à deux équations parabolique, l'une traduisant la montée de la crue qui s'écrit :

- La montée de la crue :

$$Q_m(t) = Q_{max} \% \left( \frac{t}{t_m} \right)^2 \dots\dots\dots (49)$$

- La décrue :

$$Q_d(t) = Q_{max} \% \left( \frac{t_b - t}{t_d} \right)^3 \dots\dots\dots (50)$$

Avec :

**Q<sub>max</sub>%**: Débit maximum de crue (de pointe) (m<sup>3</sup>/s) ;

**t<sub>m</sub>**: Temps de montée de la crue (h) ;

$$t_m = Tc$$

**t<sub>d</sub>**: Temps de la décrue (h) ;

$$t_d = \gamma \times t_m$$

**t<sub>b</sub>** : Temps de base (h) ;

$$t_b = t_d + t_m$$

$\gamma$ : dépend de la capacité de régulation du bassin,  $\gamma = 2.5$  ;

**Tableaux IV-22** : Caractéristiques de la crue.

	$t_m$	$t_d$	$t_b$
<b>BV d'Oued Krerba</b>	1.55	3.875	5.425
<b>Sous BV de chaabat Lourarsa</b>	1.56	3.9	5.46
<b>Sous BV de chaabat Tabesbast</b>	1.53	3.825	5.355

Les valeurs des débits de crue des différentes périodes de retour du bassin versant et des sous bassins versant sont représentées dans les tableaux (Tableaux IV-30, IV-31, IV-32) suivant :

**Tableaux IV-23** : Débits de crues pour différentes fréquences BV d'Oued Krerba.

<b>T (heure)</b>	<b>Période de retour (ans)</b>					
	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>
<b>0</b>	0	0	0	0	0	0
<b>0,155</b>	0,2839	0,3655	0,4469	0,5551	0,6318	0,9392
<b>0,31</b>	1,1356	1,462	1,7876	2,2204	2,5272	3,7568
<b>0,465</b>	2,5551	3,2895	4,0221	4,9959	5,6862	8,4528
<b>0,62</b>	4,5424	5,848	7,1504	8,8816	10,1088	15,0272
<b>0,775</b>	7,0975	9,1375	11,1725	13,8775	15,795	23,48
<b>0,93</b>	10,2204	13,158	16,0884	19,9836	22,7448	33,8112
<b>1,085</b>	13,9111	17,9095	21,8981	27,1999	30,9582	46,0208
<b>1,24</b>	18,1696	23,392	28,6016	35,5264	40,4352	60,1088
<b>1,395</b>	22,9959	29,6055	36,1989	44,9631	51,1758	76,0752
<b>1,55</b>	28,39	36,55	44,69	55,51	63,18	93,92
<b>1,705</b>	25,118	32,337	39,539	49,112	55,898	83,094

<b>1,86</b>	22,107	28,461	34,800	43,225	49,198	73,134
<b>2,015</b>	19,347	24,908	30,455	37,829	43,055	64,004
<b>2,17</b>	16,827	21,663	26,488	32,901	37,447	55,667
<b>2,325</b>	14,536	18,714	22,881	28,421	32,348	48,087
<b>2,48</b>	12,463	16,045	19,618	24,368	27,735	41,229
<b>2,635</b>	10,597	13,642	16,680	20,719	23,582	35,055
<b>2,79</b>	8,927	11,492	14,052	17,454	19,866	29,531
<b>2,945</b>	7,442	9,581	11,715	14,552	16,562	24,621
<b>3,1</b>	6,132	7,895	9,653	11,990	13,647	20,287
<b>3,255</b>	4,986	6,419	7,848	9,748	11,095	16,494
<b>3,41</b>	3,992	5,139	6,284	7,805	8,884	13,206
<b>3,565</b>	3,140	4,042	4,942	6,139	6,987	10,387
<b>3,72</b>	2,418	3,113	3,807	4,729	5,382	8,000
<b>3,875</b>	1,817	2,339	2,860	3,553	4,044	6,011
<b>4,03</b>	1,325	1,705	2,085	2,590	2,948	4,382
<b>4,185</b>	0,930	1,198	1,464	1,819	2,070	3,078
<b>4,34</b>	0,623	0,802	0,981	1,219	1,387	2,062
<b>4,495</b>	0,392	0,505	0,618	0,767	0,873	1,298
<b>4,65</b>	0,227	0,292	0,358	0,444	0,505	0,751
<b>4,805</b>	0,116	0,150	0,183	0,227	0,259	0,385
<b>4,96</b>	0,049	0,063	0,077	0,096	0,109	0,162
<b>5,115</b>	0,015	0,019	0,023	0,028	0,032	0,048
<b>5,27</b>	0,002	0,002	0,003	0,004	0,004	0,006
<b>5,425</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tableaux IV-24 : Débits de crues pour différentes fréquences du sous BV de chaabat Lourarsa.

heur	Période de retour (ans)					
	5	10	20	50	100	1000
0	0	0	0	0	0	0
0,156	0,036	0,0464	0,0567	0,0704	0,0802	0,1192
0,312	0,144	0,1856	0,2268	0,2816	0,3208	0,4768
0,468	0,324	0,4176	0,5103	0,6336	0,7218	1,0728
0,624	0,576	0,7424	0,9072	1,1264	1,2832	1,9072
0,78	0,9	1,16	1,4175	1,76	2,005	2,98
0,936	1,296	1,6704	2,0412	2,5344	2,8872	4,2912
1,092	1,764	2,2736	2,7783	3,4496	3,9298	5,8408
1,248	2,304	2,9696	3,6288	4,5056	5,1328	7,6288
1,404	2,916	3,7584	4,5927	5,7024	6,4962	9,6552
1,56	3,6	4,64	5,67	7,04	8,02	11,92
1,716	3,19	4,11	5,02	6,23	7,10	10,55
1,872	2,80	3,61	4,42	5,48	6,25	9,28
2,028	2,45	3,16	3,86	4,80	5,47	8,12
2,184	2,13	2,75	3,36	4,17	4,75	7,07
2,34	1,84	2,38	2,90	3,60	4,11	6,10
2,496	1,58	2,04	2,49	3,09	3,52	5,23
2,652	1,34	1,73	2,12	2,63	2,99	4,45
2,808	1,13	1,46	1,78	2,21	2,52	3,75
2,964	0,94	1,22	1,49	1,85	2,10	3,12
3,12	0,78	1,00	1,22	1,52	1,73	2,57
3,276	0,63	0,81	1,00	1,24	1,41	2,09
3,432	0,51	0,65	0,80	0,99	1,13	1,68

<b>3,588</b>	0,40	0,51	0,63	0,78	0,89	1,32
<b>3,744</b>	0,31	0,40	0,48	0,60	0,68	1,02
<b>3,9</b>	0,23	0,30	0,36	0,45	0,51	0,76
<b>4,056</b>	0,17	0,22	0,26	0,33	0,37	0,56
<b>4,212</b>	0,12	0,15	0,19	0,23	0,26	0,39
<b>4,368</b>	0,08	0,10	0,12	0,15	0,18	0,26
<b>4,524</b>	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11	0,16
<b>4,68</b>	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,10
<b>4,836</b>	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05
<b>4,992</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
<b>5,148</b>	0,0018	0,0024	0,0029	0,0036	0,0041	0,01
<b>5,304</b>	0,0002	0,0003	0,0004	0,0005	0,0005	0,001
<b>5,46</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**Tableaux IV-25** : Débits de crues pour différentes fréquences du sous BV de chaabat  
Tabesbast.

heur	Période de retour (ans)					
	5	10	20	50	100	1000
0	0	0	0	0	0	0
0,153	0,0577	0,0743	0,0909	0,1129	0,1285	0,191
0,306	0,2308	0,2972	0,3636	0,4516	0,514	0,764
0,459	0,5193	0,6687	0,8181	1,0161	1,1565	1,719
0,612	0,9232	1,1888	1,4544	1,8064	2,056	3,056
0,765	1,4425	1,8575	2,2725	2,8225	3,2125	4,775
0,918	2,0772	2,6748	3,2724	4,0644	4,626	6,876
1,071	2,8273	3,6407	4,4541	5,5321	6,2965	9,359

1,224	3,6928	4,7552	5,8176	7,2256	8,224	12,224
1,377	4,6737	6,0183	7,3629	9,1449	10,4085	15,471
1,53	5,77	7,43	9,09	11,29	12,85	19,1
1,683	5,10	6,57	8,04	9,99	11,37	16,90
1,836	4,49	5,79	7,08	8,79	10,01	14,87
1,989	3,93	5,06	6,19	7,69	8,76	13,02
2,142	3,42	4,40	5,39	6,69	7,62	11,32
2,295	2,95	3,80	4,65	5,78	6,58	9,78
2,448	2,53	3,26	3,99	4,96	5,64	8,38
2,601	2,15	2,77	3,39	4,21	4,80	7,13
2,754	1,81	2,34	2,86	3,55	4,04	6,01
2,907	1,51	1,95	2,38	2,96	3,37	5,01
3,06	1,25	1,60	1,96	2,44	2,78	4,13
3,213	1,01	1,30	1,60	1,98	2,26	3,35
3,366	0,81	1,04	1,28	1,59	1,81	2,69
3,519	0,64	0,82	1,01	1,25	1,42	2,11
3,672	0,49	0,63	0,77	0,96	1,09	1,63
3,825	0,37	0,48	0,58	0,72	0,82	1,22
3,978	0,27	0,35	0,42	0,53	0,60	0,89
4,131	0,19	0,24	0,30	0,37	0,42	0,63
4,284	0,13	0,16	0,20	0,25	0,28	0,42
4,437	0,08	0,10	0,13	0,16	0,18	0,26
4,59	0,05	0,06	0,07	0,09	0,10	0,15
4,743	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,08
4,896	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
5,049	0,0030	0,0038	0,0047	0,01	0,01	0,01

5,202	0,0004	0,0005	0,0006	0,001	0,001	0,001
5,355	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

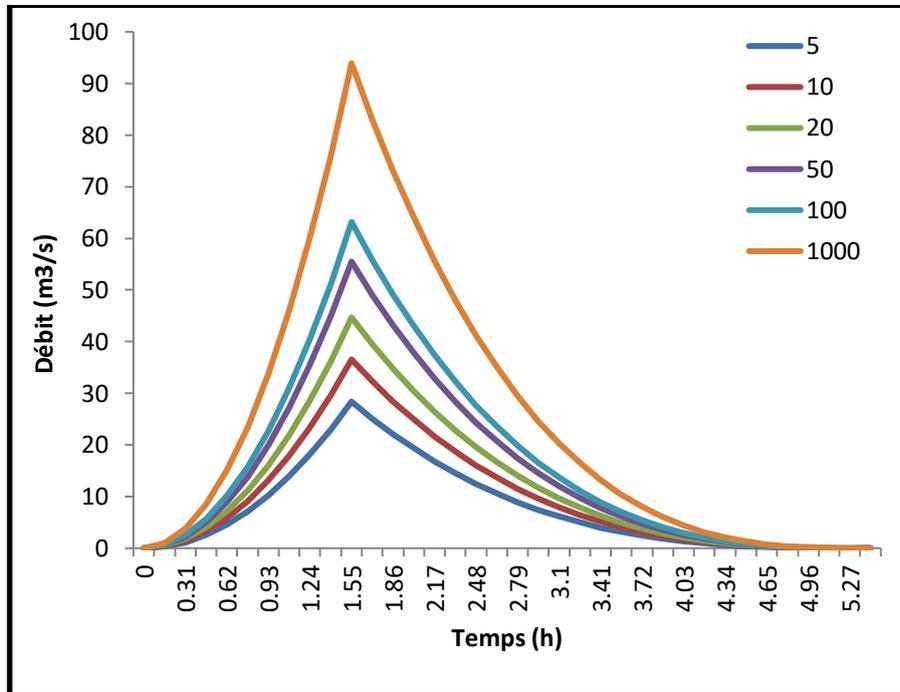


Figure IV-4: Hydrogramme des crues du BV d'Oued Krerba.

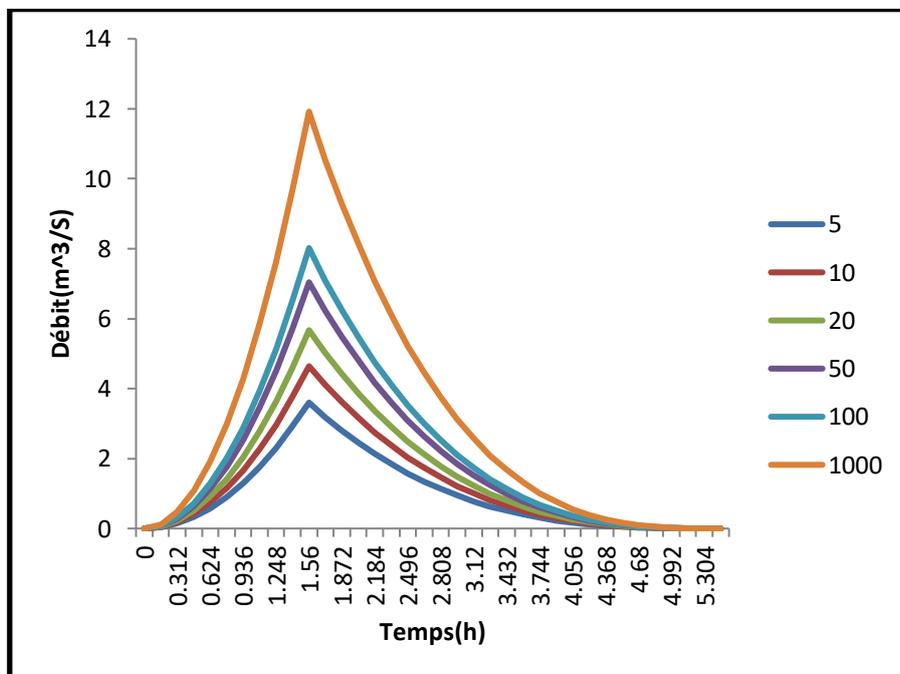


Figure IV-5 : Hydrogramme des crues du sous BV de chaabat Lourarsa.

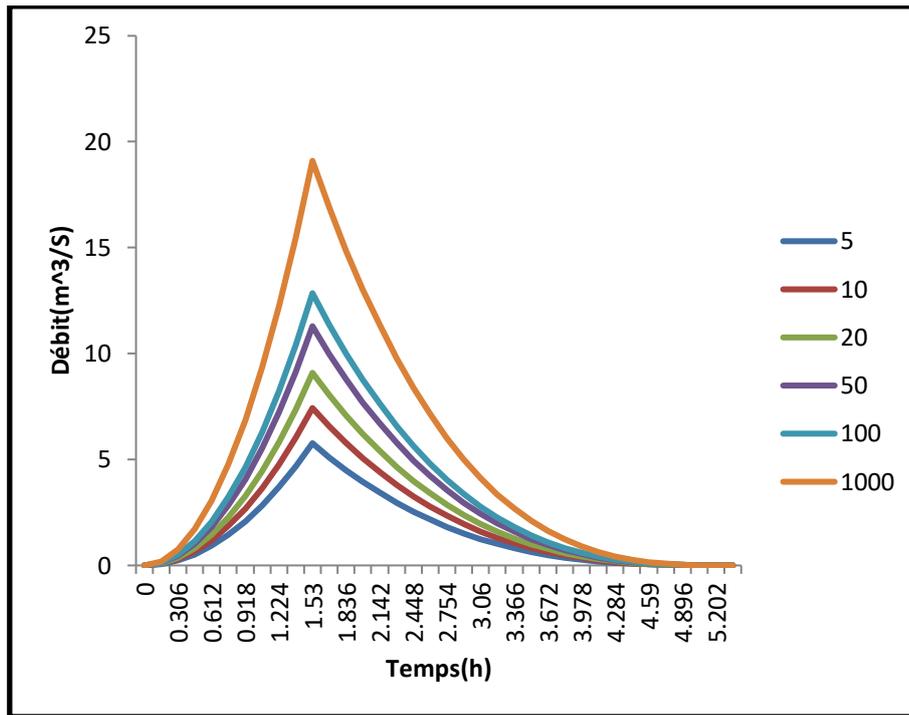


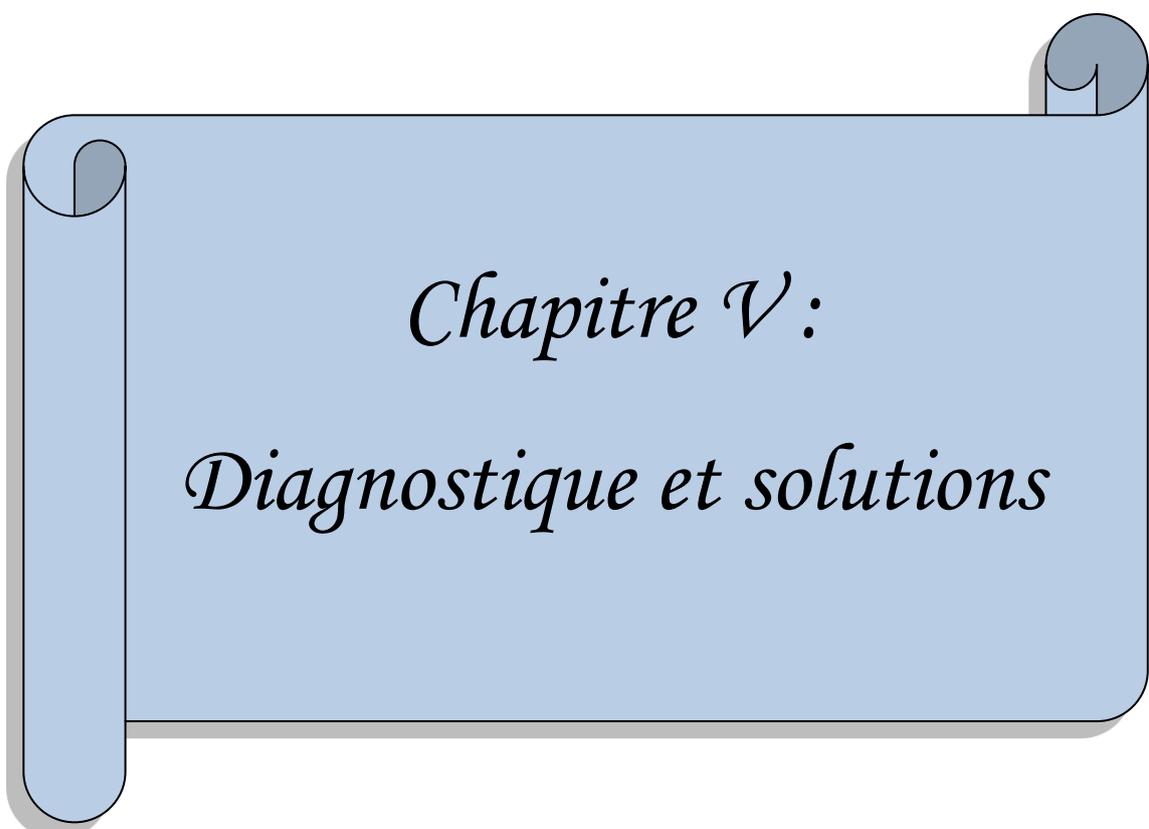
Figure IV-6 : Hydrogramme des crues du sous BV de chaabat Tabesbast.

### Conclusion :

Les différents résultats obtenus pour le bassin versant d'Oued Krerba et les deux sous bassin (chaabat Lourarsa et chaabat Tabesbast) sont montrés respectivement:

- Les apports moyennes annuels est estimé à **1.5 hm<sup>3</sup>**, **0,19 hm<sup>3</sup>** et **0,3 hm<sup>3</sup>**, et une lame d'eau écoulée égale à **120.75 mm /an**.
- L apports solides est estimé à **5580.84 m<sup>3</sup>/an**, **711.19 m<sup>3</sup>/an**, et **1125 .15 m<sup>3</sup>/an**.
- La crues des projets est centennale, elle est de **63.18 m<sup>3</sup>/s**, **8.02 m<sup>3</sup>/s**, et **12.85 m<sup>3</sup>/s**.

On utilise par la suite le débit centennale des deux Chaabats de Tabesbast et de Lourarsa pour dimensionner les ouvrages de protection de la ville d'Aïn Mellouk contre les inondations.



*Chapitre V :*  
*Diagnostic et solutions*

**Introduction :**

Les moyens de protection contre les inondations sont très nombreux, mais l'implantation de tel ou tel type d'ouvrage n'est pas toujours possible, et l'efficacité des solutions envisageables est le plus souvent limitée. Chaque opération est un cas particulier qu'il faut traiter en fonction des conditions locales. [12]

**V.1. Identification des points névralgiques de la ville d'Aïn Mellouk :**

Le risque d'inondation est dû principalement au:

- Relief fort de la région ;
- Sous dimensionnement des ouvrages existant réseau pluviale ;
- Urbanisation dans la trajectoire de la chaaba Lourarsa ;
- Ainsi qu'une pluviométrie mensuelle de la région ;

Les points névralgiques de sous bassin versant causant des dégâts lors des crues sur la ville d'Aïn Mellouk.

**V.2. Identification des points noirs :**

On a identifié un certain nombre de sites particuliers qui représentent des points noirs soumis aux problèmes d'inondations par ailleurs, certains points (Figure V-1) sensibles ont été reportés :

- Point 1 : le point de départ de Chaabt Lourarsa ;
- Point 2 : dégâts sur la zone urbaine Nord Est drainé par chaaba Louraresa ;
- Point 3 : Zone Ouest de la ville d'Aïn Mellouk traversée par Chabbat Tabesbaset ;

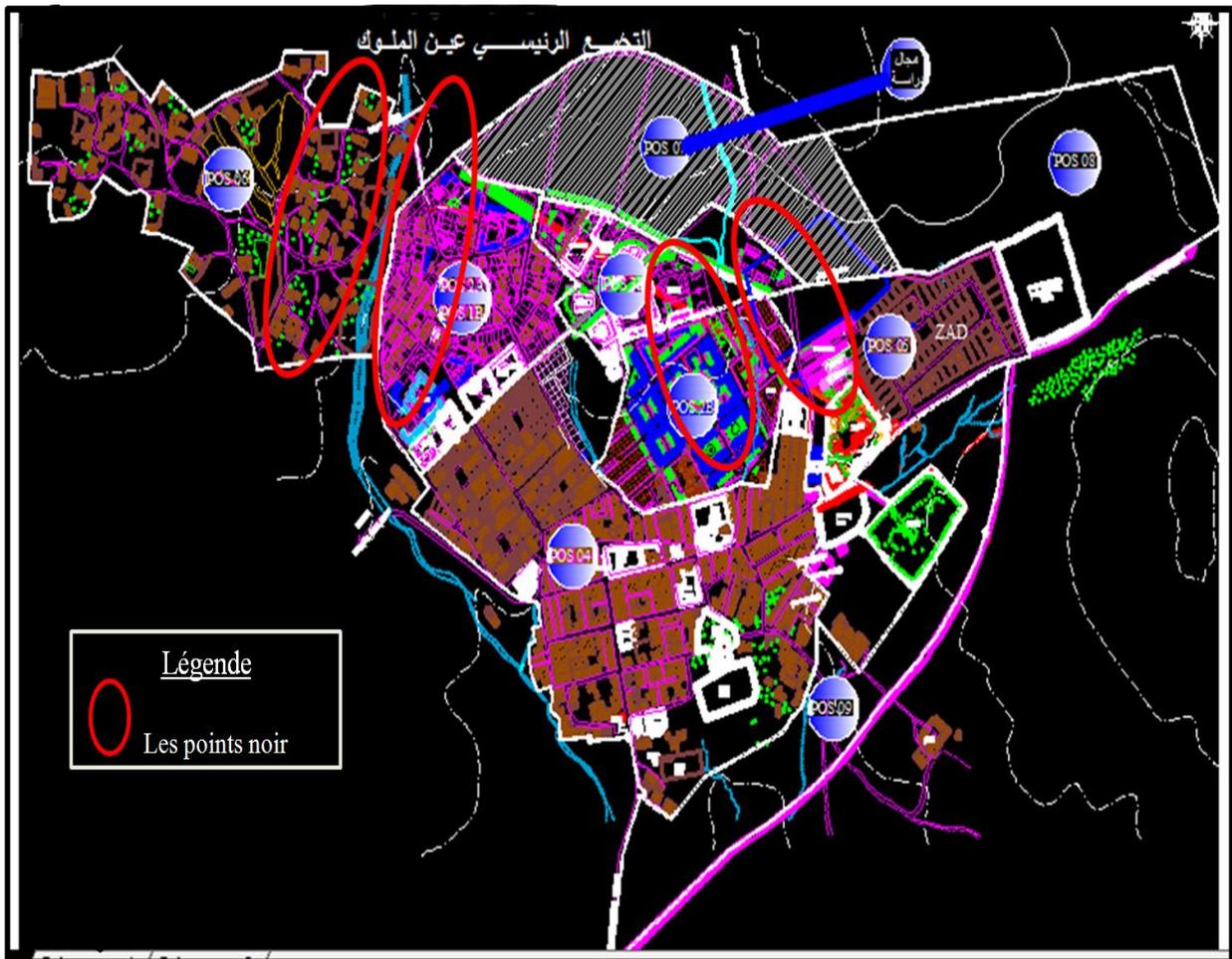


Figure V-1 : Identification des points noirs.

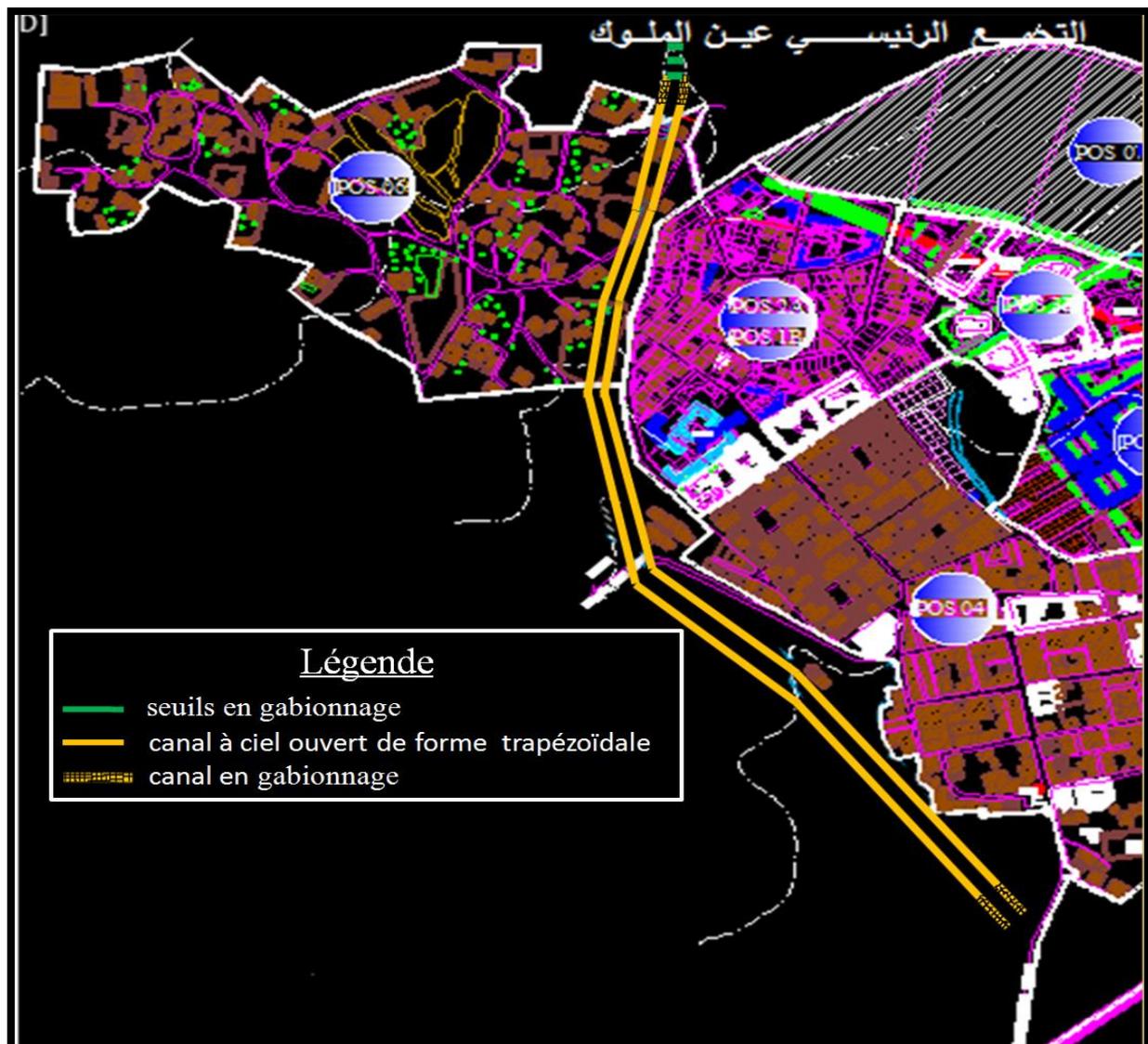
### V.3. Proposition d'aménagement :

Afin de venir à bout du problème d'inondation qui frappe le centre-ville d'Aïn Mellouk à chaque évènement de crue, nous proposons :

#### 1- Pour chaabat Tabesbast:

- Réaliser des seuils en gabionnage a l'amont de la chaaba pour augmenter sa pente et lutter contre le transport solide a cette endroit ;
- Un canal à ciel ouvert de forme trapézoïdale en béton armé le long des zones urbaines (Figure V-2), ce choix de forme du canal est dû aux avantages de stabilité et de fiabilité qu'assure ce type de chenal. A l'entrée et à la sortie de ce dernier (le premier et le dernier 10 m) en le réalise en gabionnage pour diminué la vitesse d'écoulement en profitent de la rugosité élevée du gabionnage et aussi de limité

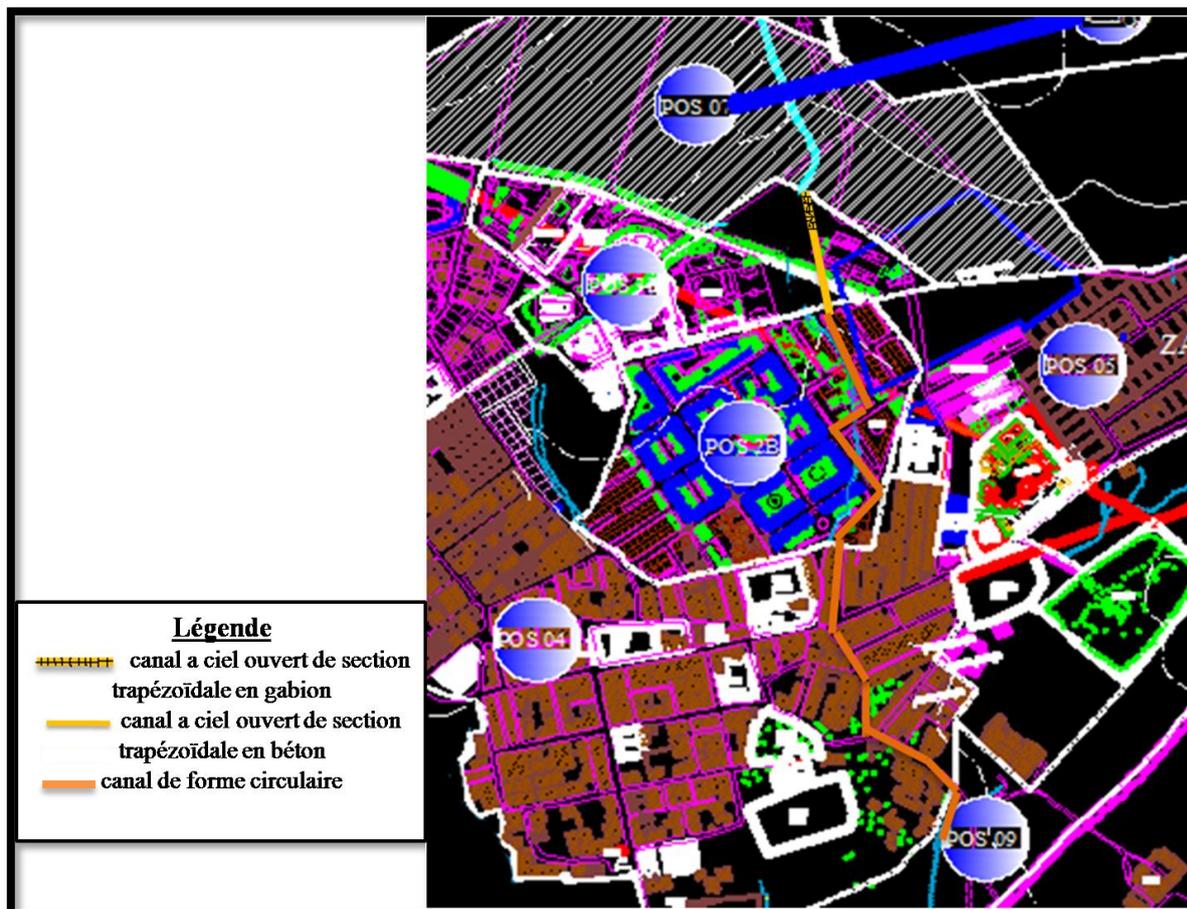
le phénomène d'incision du lit du cours d'eau soit à l'amont ou bien à l'aval, tandis que le reste du canal est en béton armé avec une longueur totale de 1590 m.



**Figure V-2 :** Figure schématique des ouvrages proposés Pour chaabat Tabesbast.

## 2- Pour chaabat Lourarsa :

- La partie située avant les complexes d'habitation, nous suggérons d'aménager la chaaba avec un canal de forme trapézoïdale d'une longueur de 200 m pour les 10 premiers mètres en propose de le réaliser en gabion et le reste en béton armé drainé tous les eaux pluviales (Figure VI-3), puis en les collecter dans un autre canal de forme circulaire ce dernier est enterré tous en traversant les cités urbanisées jusqu'à le débouché dans une chaabat située à l'aval de la ville (hors zones urbaine) d'une longueur 840 m.



**Figure V-3 :** Figure schématique des ouvrages proposés pour chaaba Lourarsa.

Pour le dimensionnement des canaux, nous aurons besoin du débit de crue maximal, fonction de la période de retour, qui est le paramètre clé vue que le canal résultant doit véhiculer ce débit sans aucun risque d'inondation. Nous avons opté pour un débit centennal estimé à **8,02 m<sup>3</sup>/s** pour chaabat Lourarsa et **12,85 m<sup>3</sup>/s** pour chaabat Tabesbast.

**Remarque :**

- Nous suggérons de planter des arbres au-dessus des deux côtés de chaabat pour éviter l'érosion du sol et ajouter une touche esthétique au site.
- En ce qui concerne le canal enterrées, nous suggérons de placer un grillage à l'entrée du canal afin de réduire le risque de colmatage du canal et de faciliter le processus de nettoyage.
- Malheureusement, et par manque des données suffisantes, on ne pouvait pas faire le dimensionnement des canaux.

## V.4. Généralités sur les ouvrages de protection contre les inondations

### proposées :

#### V.4.1. Gabion :

##### V.4.1.1. Définition :

Le gabion est une cage ayant une forme d'un parallélépipède rectangulaire, en grillage galvanisé que l'on remplit de cailloux [13], le plus souvent constitué de solides fils de fer tressés et rempli de pierres non-gélives (qui ne se fendent pas sous l'action du gel), utilisé dans les travaux publics et les bâtiments pour respectivement construire des murs de soutènement, des berges artificielles non étanches ou décorer une façade nue ou des aménagements urbains.

D'un coût modique si l'on dispose de pierres solides sur place, et d'une bonne tenue, ils sont relativement faciles à mettre en œuvre et aisément modulables [n].

Les gabions peuvent être utilisés pour plusieurs types d'ouvrages où ils combinent les fonctions de protection contre l'érosion et de soutènement. Les gabions et les matelas de gabions sont adaptés aux ouvrages hydrauliques et doivent être conçus pour résister aux actions hydrauliques (vitesse de l'écoulement et hauteur des vagues notamment). En règle générale ils sont utilisables pour des vitesses du courant allant jusqu'à 6 m/s et des hauteur de vagues jusqu'à 1.5 m. lorsque les gabions risquent d'être exposés à des conditions très abrasives (graviers ou galets chargés par un écoulement rapide ) la surface supérieure des gabions doit être protégée par un revêtement de béton ou de bitume [o].

##### V. 4. 1. 2. Avantage :

Les principaux avantages du gabion :

- Les gabions coutent peu surtout si les pierres sont disponibles ;
- Ils permettent de réduire la vitesse des courants grâce à leurs perméabilités ;
- Parfaite intégration à l'environnement ;
- La rigidité de chaque gabion, ainsi que le mode de solidarisation des gabions mis en place, confèrent à l'ensemble un caractère monolithique [13];

**V.4.1.3. Caractéristiques du gabion :****V.4.1.3.1. Homogénéité :**

Par consolidation naturelle en milieu aquatique, le gabion devient un monolithe ; avec ces dimensions, un monolithe est un défi aux courants les plus violents.

**V.4.1.3.2. Déformabilité :**

Une caractéristique essentielle du gabion est sa déformabilité. Ce caractère de souplesse autorise son utilisation en terrain affouillable. Ce matériau non rigide épouse les formes du terrain naturel et le suit dans des affaissements ou tassements provoqués par des affouillements, sans compromettre la stabilité de l'ouvrage.

**V.4.1.3.3. Perméabilité :**

Le gabion est essentiellement perméable. Ceci n'est pas un inconvénient à condition de le savoir, le gabion n'intervient pas comme un dispositif d'étanchéité mais de protection. Encore que son utilisation soit souhaitée comme matériau filtrant ce qui diminue les risques de renard dans une digue, par exemple.

**V.4. 1.3.4. Simplicité des ouvrages :**

Les ouvrages en gabions sont toujours d'une conception simple. Les dimensions de ce matériau imposent cependant un surdimensionnement des ouvrages, et des formes géométriques simples.

**V.4.1.3.5. Pérennité des ouvrages :**

Elle est surtout fonction de la qualité des treillis et du soin apporté à la mise en place des enrochements dans les gabions.

**V.4.2. Canal à ciel ouvert :****V.4.2.1. Définition :**

Un canal à ciel ouvert est un système de transport dans lequel la pression de la surface d'eau équivaut la pression atmosphérique. Il peut être naturel ou artificiel, conçu par l'homme, de diverses formes. [8]

#### V.4.2.2. Avantages d'un canal trapézoïdal :

Un canal trapézoïdal présente de multiples avantages dont on cite :

- Assurance d'une propreté relative faute de ne pas être utilisé comme décharge ;
- Facilité de nettoyage en cas d'obstruction ;
- Simple à réaliser et économique.

#### V.4.2.3. Type de canal :

Il existe deux types de canaux

##### V.4.2.3.1. Canal naturel :

Ce sont les cours d'eau qui existent naturellement sur (ou sous) terre tels que les ruisselets, torrents, rivières, fleuves et estuaires. Les propriétés géométriques (Figure V- 4) et hydrauliques des canaux naturels sont généralement assez irrégulières. L'application de la théorie hydraulique ne donne que des résultats approximatifs obtenus à partir d'hypothèses qui s'imposent.

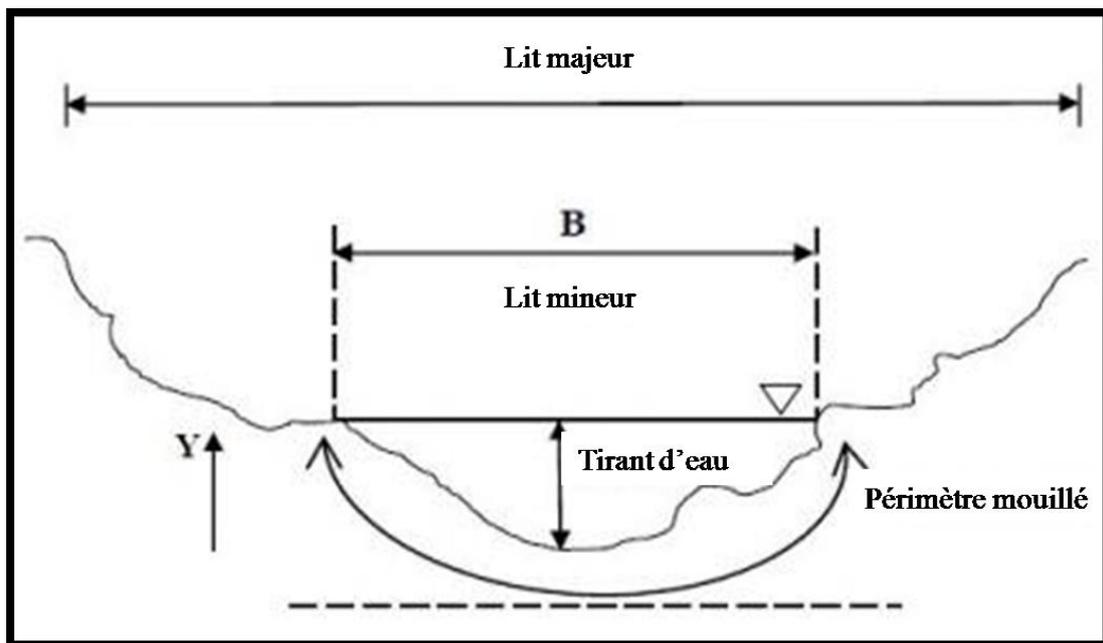


Figure V-4 : Géométrie d'un canal naturel. [8]

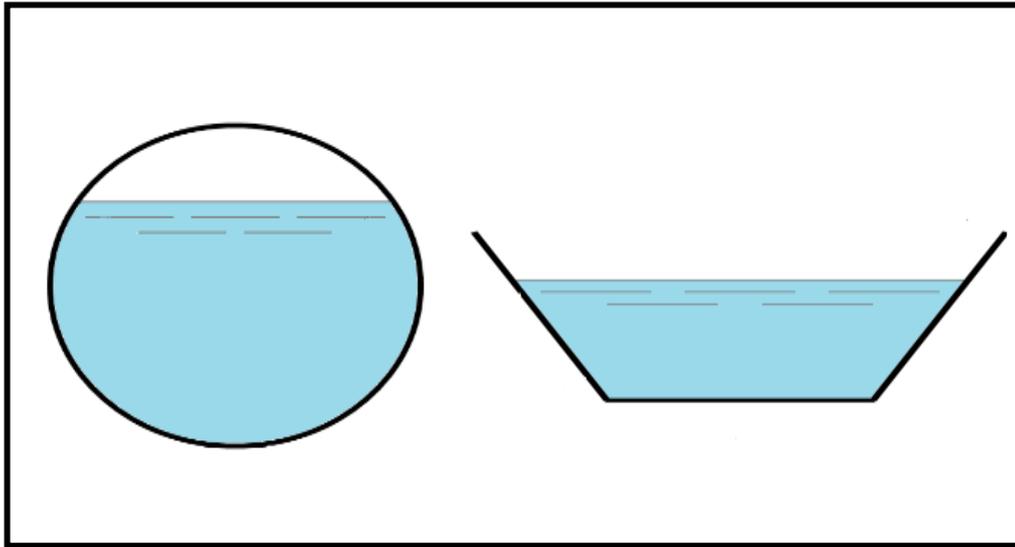
##### V.4.2.3.2. Canal artificiel:

Ce sont des cours d'eau réalisés par l'homme sur (ou sous) terre tel que les canaux découverts construits au ras du sol: canaux de navigation, d'adduction et d'évacuation, d'irrigation et de

drainage, ou les canaux couverts dans lesquels les liquides ne remplissent pas toute la section : tunnels hydrauliques, aqueducs, drains, égouts.

Les propriétés hydrauliques des canaux artificiels (Figure V-5) sont généralement assez régulières.

L'application de la théorie hydraulique donne souvent des résultats réalistes.



**Figure V-5 :** Types de canaux artificiels. [8]

#### V.4.2.4. Géométrie des canaux :

La section transversale d'un canal est une section plane normale à la direction de l'écoulement.

Les paramètres géométriques d'une section sont :

- $S_m$  : Surface mouillée, la portion de section occupée par l'eau ;
- $P_m$  : Périmètre mouillé formé par la longueur entourant la surface mouillée sans inclure la surface libre, donc la longueur du fond et les parois en contact avec l'eau ;
- $R_h$  : Le rayon hydraulique donné par le quotient de la surface mouillée et du périmètre mouillé, il est donné par la formule suivante :  $R_h = \frac{S_m}{P_m}$
- $B$  : Largeur en miroir (largeur du canal à sa surface libre) ;
- $D_h$  : Profondeur hydraulique du canal définie par :  $D_h = \frac{S}{B}$
- $h$  : Hauteur d'eau considérée comme la profondeur ;

- **i** : Pente longitudinale du fond du canal ;
- **j** : Pente piézométrique ou pente de la surface libre ;

La valeur de la pente du fond dépend essentiellement de la topographie et de la constitution du terrain. Elle est généralement faible et peut être exprimée par :

$$i = \tan \alpha \approx \sin \alpha$$

Le lit du canal peut être d'une composition immobile (béton, roche) ou d'une composition mobile (granulat).

#### V.4.3. Ecoulement dans les canaux :

Les écoulements dans les canaux naturels ou artificiels sont des écoulements à surface libre comportent une surface en contact avec l'air, soumis à la pression atmosphérique et générés par la pente du fond des canaux. Il existe plusieurs types d'écoulement et divers régimes.

##### V.4.3.1. Types d'écoulement :

La classification des écoulements (Figure V-6) se fait selon la variation de la profondeur  $h$  ou  $D_h$  par rapport au temps et à l'espace.

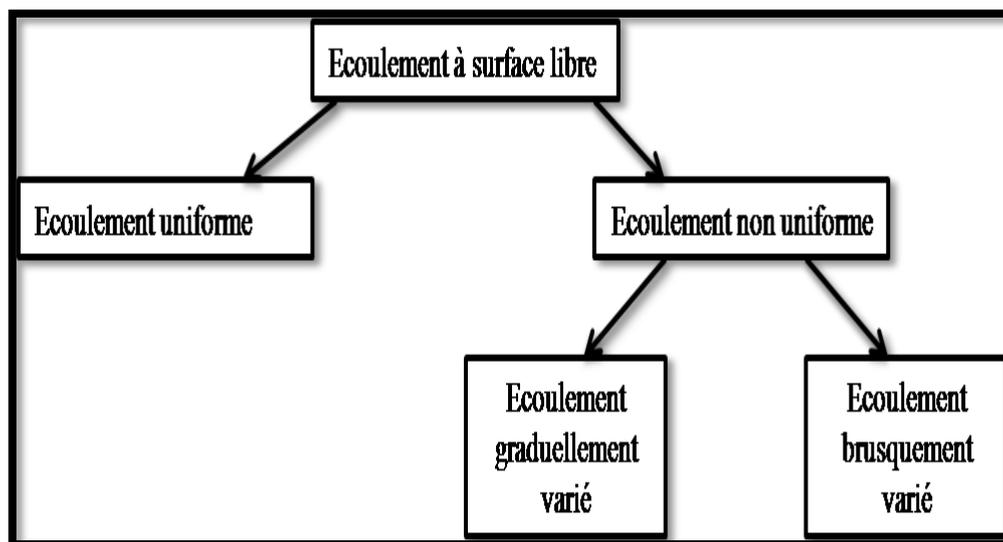


Figure V-6 : Les types d'écoulement

**V.4.3.1.1. Ecoulement uniforme :**

L'écoulement considéré comme uniforme permanent si la géométrie, la pente (la pente de la surface libre, la pente du radier, la pente hydraulique), la nature des parois, le tirant d'eau, la vitesse moyenne, le débit de pompage reste constante inchangées le long de l'écoulement. C'est-à-dire :

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dh}{dt} = \frac{dQ}{dt} = 0$$

$$\frac{dv}{dx} = \frac{di}{dx} = \frac{dh}{dx} = \frac{ds}{dx} = 0$$

**V.4.3.1.2. Ecoulement non uniforme :**

L'écoulement considéré comme non uniforme non permanent si la géométrie, la pente (la pente de la surface libre, la pente du radier, la pente hydraulique), la nature des parois, le tirant d'eau, la vitesse moyenne, le débit de pompage varient le long de l'écoulement. C'est-à-dire :

$$\frac{dv}{dt} \neq \frac{dh}{dt} \neq \frac{dQ}{dt} \neq 0$$

$$\frac{dv}{dx} \neq \frac{di}{dx} \neq \frac{dh}{dx} \neq \frac{ds}{dx} \neq 0$$

**V.4.3.1.3. Ecoulement non uniforme graduellement varié :**

Un écoulement est dit graduellement varié si la variation de la hauteur  $h$  dans la direction de l'écoulement est très faible, c'est-à-dire :

$$\frac{\Delta h}{\Delta x} < 1$$

**V.4.3.1.4. Ecoulement non uniforme rapidement varié :**

Un écoulement est dit rapidement varié si la variation de la hauteur dans la direction de l'écoulement est importante et brusque. Cela se manifeste en général au voisinage d'une singularité telle qu'un déversoir, un rétrécissement, un ressaut hydraulique ou une chute brusque.

**V.4.3.2. Régime d'écoulement :**

La détermination du régime d'écoulement se fait par le calcul d'un nombre adimensionnel nommé nombre de Froude, et écrite sous la forme suivante :

$$Fr = \sqrt{\frac{Q^2 \times B}{g \times S^3}} \dots \dots \dots (51)$$

Avec :

**B** : Largeur en miroir ;

**g** : force de gravité (m/s<sup>2</sup>) ;

Lorsque :

**Fr = 1** : Le régime est critique ;

**Fr < 1** : Le régime est fluvial ;

**Fr > 1** : Le régime est torrentiel ;

#### **V.4.4. Dimensionnement des canaux :**

Pour un écoulement permanent uniforme on utilise la formule de CHEZY comme formule principale de calcul.

La vitesse moyenne du courant est donnée par :

$$V = C \times \sqrt{R_h \times i} \dots \dots \dots (52)$$

Comme  $Q = V \times S$ , en remplaçant **V** par sa formule on obtient :

$$Q = S \times C \sqrt{R_h \times i} \dots \dots \dots (53)$$

Avec :

**C** : Coefficient de CHEZY (m<sup>0.5</sup>/s) ;

**S** : Section mouillée en m<sup>2</sup> ;

**R<sub>h</sub>** : Rayon hydraulique en m ;

**i** : Pente de fond du canal en m/m ;

**V.4.4.1. Détermination du coefficient de CHEZY**

Plusieurs lois ont été établies issues des expériences munies par différents auteurs dont on cite:

- **Formule de PAVLOVSKI :**

$$C = \frac{1}{n} \times R^{\frac{1}{y}} \dots \dots \dots (54)$$

Avec :

**n** : La rugosité du canal ;

**y** : Exposant déterminé soit par la relation complète suivante :

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R_h}(\sqrt{n} - 0,10) \dots \dots \dots (55)$$

Soit par les égalités simplifiées suivantes :

$$y = 1.5\sqrt{n} \text{ Pour } R_h < 1 \text{ m ;}$$

$$y = 1.3\sqrt{n} \text{ Pour } R_h > 1 \text{ m ;}$$

- **Formule d'AGROSKINE :**

$$C = \frac{1}{n} \times 17,72 \times \log R_h (56)$$

Avec :

**n** : La rugosité du canal ;

**R<sub>h</sub>** : Rayon hydraulique en m ;

- **Formule de MANNING-STRICKLER :**

$$C = \frac{1}{n} \times R^{\frac{1}{6}} \dots \dots \dots (57)$$

La formule de MANNING-STRICKLER permet de transformer la formule de CHEZY pour obtenir :

$$V = K_s \times R_h^{\frac{2}{3}} \times i^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (58)$$

Avec :

$R_h$  : Rayon hydraulique en m ;

$i$  : Pente de fond du canal en m/m ;

$K_s$ : Coefficient de rugosité de STRICKLER, dépend de la nature du matériau du canal :

$K_s = 25$  pour un lit naturel ;

$K_s = 40$  pour le cas d'encrochement ou gabionnage ;

$K_s = 70$  pour le cas du béton ;

$K_s = 100$  pour le cas du PVC ou PEHD ;

#### V.4.4.2. Calcul des paramètres géométriques :

##### V.4.4.2.1. Choix de la section du débit maximal :

Pour un canal trapézoïdal les paramètres géométriques sont représentés dans le tableau (Tableau V-1) suivant :

**Tableau V-1:** Paramètres géométriques d'un canal trapézoïdal

Paramètres	Symboles	Unité	Expressions
La largeur inférieure du canal	$b$	m	$2h(\sqrt{1 + m^2} - m)$
La largeur supérieure du canal	$B$	m	$b + 2mh$
La surface mouillée	$S_m$	m <sup>2</sup>	$h(b + mh)$
Le périmètre mouillé	$P_m$	m	$b + 2h\sqrt{1 + m^2}$
Le rayon hydraulique	$R_h$	m	$\frac{h(b + mh)}{b + 2h\sqrt{1 + m^2}}$
Le fruit des talus, selon le terrain	$m$		$\frac{1}{\tan \alpha}$

**V.4.4.2.2. Calcul de la profondeur normale :**

La profondeur normale,  $h_n$  est la profondeur d'eau en écoulement uniforme dans un canal de pente,  $i$  donné, parcouru par un débit,  $Q$ .

On calcul la profondeur normale d'un canal de forme donnée avec la formule de débit suivante:

$$Q = V \times S = \frac{1}{n} \times R_h^{2/3} \times i^{1/2} \times S \dots \dots \dots (59)$$

On transforme cette relation de façon à ce que la profondeur normale soit la seule donnée inconnue.

$$\frac{Q}{\sqrt{i}} = C \times S \times \sqrt{R_h}$$

$$\frac{Q}{\sqrt{i}} = K \times R_h^{1/6} \times S \times \sqrt{R_h}$$

$$\frac{Q}{K\sqrt{i}} = S \times R_h^{2/3} = S(h_n) \times R_h(h_n)^{2/3} \dots \dots \dots (60)$$

En utilisant la méthode des itérations on établit un tableau dans lequel on fixe (b), on calcule le rapport  $\frac{Q}{K\sqrt{i}}$  puis on donne des valeurs à  $h_n$  jusqu'à l'obtention d'un résultat proche ou égale au rapport déjà calculé.

**V.4.4.2.3 Calcul de la profondeur et la pente critique :**

- **Energie spécifique :**

On définit l'énergie spécifique  $E$  par l'énergie par unité de poids relativement au fond du canal ouvert,  $E_s =$  profondeur + énergie cinétique équivalente, c'est-à-dire :

$$E_s = h + \frac{V^2}{2g}$$

$$E_s = h + \frac{Q^2}{2gS^2} \dots \dots \dots (61)$$

Pour un écoulement uniforme, l'énergie spécifique est conservée d'une section à l'autre. Dans le cas d'un écoulement non-uniforme, l'énergie spécifique peut croître ou décroître le long du canal.

- **Profondeur critique :**

On peut utiliser la méthode approchée proposée par Agroskine.

Tout d'abord, on trouve les valeurs auxiliaires :

$$K = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}} \quad \text{et} \quad \sigma_c = \frac{mK}{b}$$

Ensuite, on détermine  $h_c$  comme :

$$h_c = K \left( 1 - \frac{\sigma_c}{3} + 0,105\sigma_c^2 \right) \dots\dots\dots (62)$$

- **La pente critique :**

La pente critique pour un débit donné est celle pour laquelle ce débit s'écoule en régime critique et uniforme, elle est donnée par :

$$Q = S_c \times C_c \times \sqrt{R_c \times i_c}$$

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{S^3}{B} \Rightarrow \frac{S_c^2 \times C_c^2 \times R_c \times i_c}{g} = \frac{S_c^3}{B_c}$$

Donc :

$$i_c = \frac{g \times S_c}{B_c \times C_c^2 \times R_c} \dots\dots\dots (63)$$

Si  $i > i_c \Rightarrow h_n < h_c$

Si  $i < i_c \Rightarrow h_n > h_c$

#### V.4.4.3. Calcul de la ligne d'eau :

##### V.4.4.3.1. Equation de la courbe de remous :

$$\frac{dE_s}{dx} = \frac{dE_s}{dh} \times \frac{dh}{dx} = \frac{d}{dh} \left( h + \frac{Q^2}{2gS^2} \right) \times \frac{dh}{dx}$$

$$= \frac{d}{dh} \left( \frac{Q^2}{2gS^2} \right) = \frac{Q^2}{2g} \times \frac{d}{dh} \left( \frac{1}{S^2} \right)$$

$$= \frac{Q^2}{2g} \times \left( \frac{-2S}{S^4} \frac{dS}{dh} \right) = \frac{Q^2}{2g} \times \left( \frac{-2}{S^3} \times \frac{dS}{dh} \right) = - \frac{Q^2 \times B}{gS^3}$$

Donc :

$$\frac{dE_s}{dx} = \left( 1 - \frac{Q^2 \times B}{gS^3} \right) \frac{dh}{dx} = i - j$$

$$\Rightarrow \frac{dh}{dx} = \frac{i - j}{1 - \frac{Q^2 \times B}{g \times S^3}}$$

$$\frac{dh}{dx} = \frac{i - j}{1 - Fr^2} \dots \dots \dots (64)$$

Avec :

**h** : le tirant d'eau en m ;

**i** : La pente du canal en m/m;

**j** : La pente de la surface libre en m/m;

**Q** : Le débit en m<sup>3</sup>/s ;

**B** : La largeur au miroir en m.

**V.4.4.3.2. Forme de la courbe de remous :**

On a :

$$\frac{dh}{dx} = \frac{i - j}{1 - Fr^2} \dots \dots \dots (65)$$

Il a été, précédemment, cité que lorsque :

$$i < i_c \Rightarrow h_n > h_c$$

$$i > i_c \Rightarrow h_n < h_c$$

Le tableau (Tableau V-2) suivant présente les différents types de canaux en fonction de la pente :

**Tableau V-2 :** Type de canaux en fonction de la pente

$i > 0$	$i < i_c$	Canaux à pente faible
	$i > i_c$	Canaux à pente forte
	$i = i_c$	Canaux à pente critique
$i = 0$		Canaux à pente nulle
$i < 0$		Canaux à contre-pente

Pour différentes valeurs de pentes de fond et pour un débit constant, il existe cinq types de courbes de remous, à savoir :

- Courbes de remous type M ;
- Courbes de remous type S ;
- Courbes de remous type H ;
- Courbes de remous type A ;
- Courbes de remous type C ;

Les conditions de classification des courbes de remous sont représenté dans le tableau (Tableau V-3) suivant :

**Tableau V-3:** Condition de classification des courbes de remous. [8]

Conditions		$i - j$	Signe de numérateur	$1 - Fr^2$	Signe de D'énomérateur	Signe de $\frac{dh}{dx}$	Type de courbe
$j > 0$ $j < i_c$ $h_n > h_c$	$h > h_n > h_c$	$< 1$	$> 0$	$< 1$	$> 0$	$> 0$	M1
	$h_n > h > h_c$	$> 1$	$< 0$	$< 1$	$> 0$	$< 0$	M2
	$h_n > h_c > h$	$> 1$	$< 0$	$> 1$	$< 0$	$> 0$	M3
$j > 0$ $j > i_c$ $h_n < h_c$	$h > h_c > h_n$	$< 1$	$> 0$	$< 1$	$> 0$	$> 0$	S1
	$h_c > h > h_n$	$< 1$	$> 0$	$> 1$	$< 0$	$< 0$	S2
	$h_c > h_n > h$	$> 1$	$< 0$	$> 1$	$< 0$	$> 0$	S3

$j > 0$ $j = i_c$ $h_n = h_c$	$h > h_c = h_n$	<1	>0	<1	<0	>0	C1
	$h < h_c = h_n$	>1	<0	>1	<0	>0	C3
$j = 0$ $j = 0$ $h_n = \infty$	$h > h_c$	-	<0	<1	>0	<0	H2
	$h < h_c$	-	<0	>1	<0	>0	H3
$J < 0$ $J < 0$ $h_n < 0$	$h > h_c$	-	<0	<1	>0	<0	A2
	$h_c > h$	-	<0	>1	<0	>0	A3

#### V.4.4.3.3. Calcul de la surface d'eau :

Pour procéder aux calculs et à la construction des formes de la surface d'eau, il faut en premier lieu intégrer l'équation de la courbe de remous, pour cela il existe trois méthodes, à savoir :

- La méthode par approximations successives ;
- La méthode par intégration directe ;
- La méthode par intégration graphique.

#### V.4.4.4. Calcul des paramètres de courbure du canal :

Selon la topographie de l'oued naturel, celui-ci présente des courbures aux plusieurs point, le canal dimensionné tient compte de ces courbures chose qui provoque un changement de direction de l'écoulement.

Le débit, la vitesse moyenne ainsi que la surface restent constant à travers la courbe cependant la force centrifuge qui s'exerce sur la courbe provoque une surélévation  $\Delta h$  sur le bord extérieur. [8]

Pour un canal trapézoïdal,  $\Delta h$  est donné par l'expression suivante :

$$\Delta h = \frac{V_m^2 \times B}{R \times g} \dots \dots \dots (66)$$

Avec :

**B** : Largeur au miroir (m) ;

$V_m$ : Vitesse moyenne (m/s) ;

$g$  : Force de gravité (m/s<sup>2</sup>) ;

$R$  : Rayon de courbure (m) ;

La hauteur d'eau au niveau du coude,  $h_r$ , est donnée par l'expression suivante :

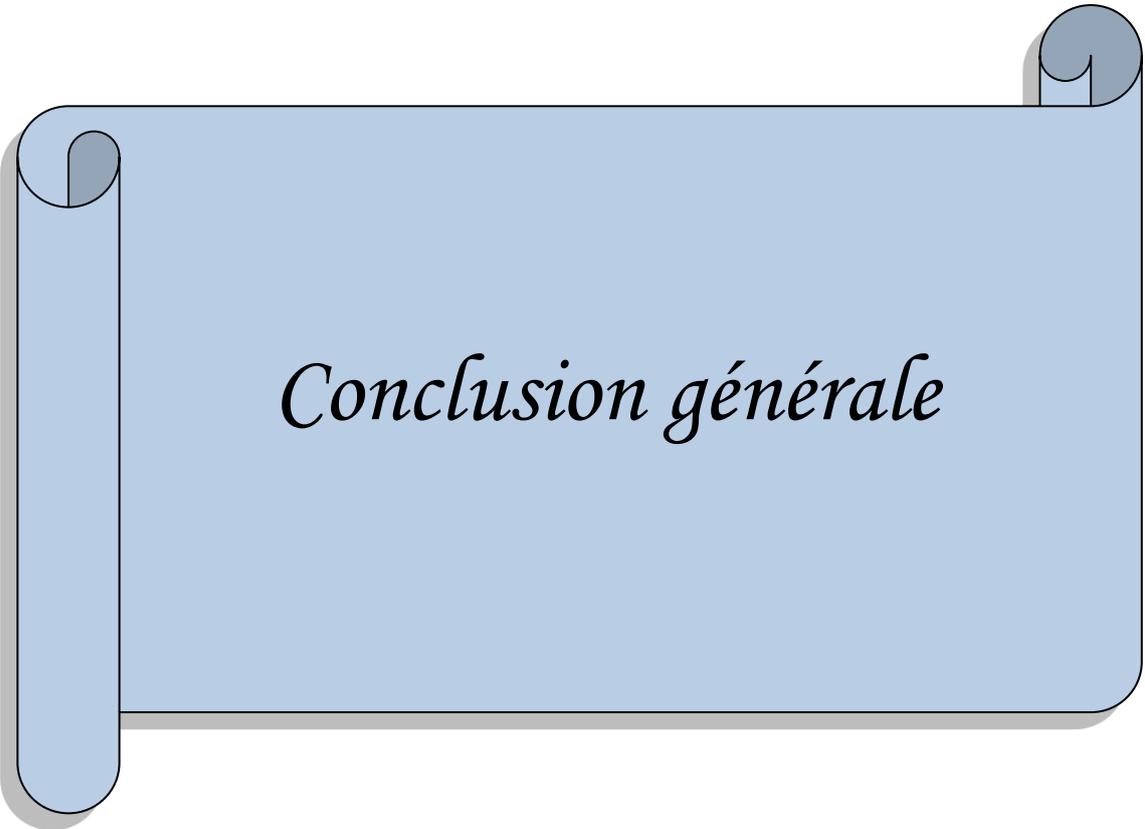
$$h_r = h + \frac{\Delta h}{2} \dots \dots \dots (67)$$

### Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons proposé des solutions pour la protection de centre-ville de d'Aïn Mellouk contre les inondations.

Nous suggérons les solutions suivantes :

- Seuils en gabionnage à l'amont de la chaaba, et un canal à ciel ouvert de forme trapézoïdale en béton armé le long des zones urbaines. A l'entrée et à la sortie de ce dernier en le réalise en gabionnage.
- Canal trapézoïdal à ciel ouvert dans la partie qui situé avant les complexes d'habitation, les 10 premiers mètres en propose de le réaliser en gabion et le reste en béton armé, et un autre canal de forme circulaire dans la partie qui traversant les cités urbanisées jusqu'à le débouché dans une chaabat située à l'aval de la ville.



*Conclusion générale*

## **Conclusion Générale**

Notre travail nous a permis de définir le phénomène d'inondation et d'expliquer la notion du risque, on a aussi décrit d'une manière générale les causes et les principaux types d'inondation... etc. Ainsi nous avons donné un bref aperçu sur les inondations en Algérie. En fin on a cité les différentes solutions directes et indirectes pour la protection contre les inondations.

La protection de notre site d'étude contre les crues et les inondations est une nécessité indispensable afin de réduire les dégâts humains, matériels et économiques.

La ville d'Aïn Mellouk est un exemple typique, cette ville est enclavée entre deux principaux Chaabats, de Lourarsa au Nord-Est et celle de Tabesbast au Nord-Ouest, puis les deux chaabats forment l'oued de Krerba.

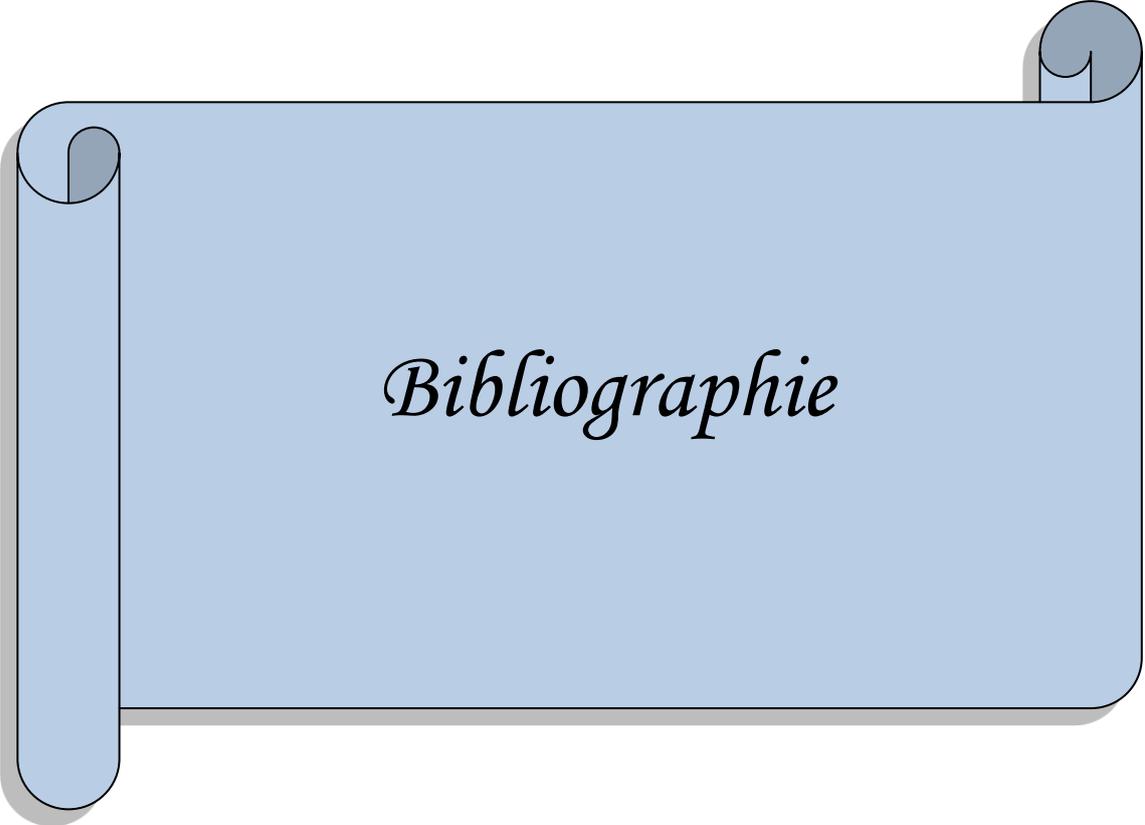
D'après l'étude morphométrique, le bassin versant de la ville d'Aïn Mellouk présente une forme allongée, reliefs modérés et des pentes globales fortes, ainsi des temps de concentration et de ruissellement moyens ce qui favorise l'infiltration des eaux de pluie pour ce la, la protection de notre site d'étude contre les crues et les inondations est une nécessité indispensable afin de réduire les dégâts humains, matériels et économiques.

Dans ce mémoire nous avons déterminé le débit pluvial centennal de bassin versant d'Oued Krerba et les deux sous bassins (chaabat Lourarsa et chaabat Tabesbast), et ils sont respectivement de 63.18 m<sup>3</sup>/s, 8.02 m<sup>3</sup>/s, et 12.85 m<sup>3</sup>/s, ces sont des débits ne pas négligés, donc nous proposons :

Pour chaabat Lourarsa, dans la partie située avant les complexes d'habitation, nous suggérons de réaliser un canal de section trapézoïdale dans la zone non urbanisée, en propose de le réaliser en gabion dans les 10 premiers mètres et le reste en béton armé jusqu'à l'entrée des cités urbaines à cet endroit et au milieu des complexes d'habitation, qui est considérée comme un point noir dans cette région, nous suggérons d'aménager par un canal enterré de forme circulaire qui conduit le débit de cette chaaba à l'extérieur des cités urbaines. A l'entrée de ce canal circulaire en place un dégrillage pour empêcher le transport solide de gros diamètres d'entrée dans cette dernière.

En ce qui concerne chaaba Tabesbast, en l'aménage par un canal à ciel ouvert de forme trapézoïdale le long du siège urbain, à l'amont de cette dernière qui présente une pente forte, on propose de réaliser des seuils en gabion pour minimiser le transport solide.

Ce travail de Master, nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine de l'hydraulique et plus particulièrement dans le domaine de lutte contre les inondations, dans le domaine de la géologie et de l'hydrologie, ainsi que dans le domaine de lutte contre les crues dans les zones urbaines.



*Bibliographie*

## **Bibliographie**

- [1] Bensafi souhila Et Bouzidi Asmaa. Protection de la ville de Béni Saf contre les inondations. Mémoire de Master. Centre Universitaire BELHADJ Bouchaib - Ain-Temouchent. 2019.
- [2] Djebali Khalifa. Contribution à l'étude de l'aléa "inondations": Genèse et prédiction Cas de la vallée d'El-Abadia (w.Ain Defla). Mémoire de Master. Ecole Nationale Supérieure D'hydraulique -Arbaoui Abdellah-. 2015.
- [3] Benazzouz mohamed tahar. Les caractéristiques des inondations et leurs conséquences sur l'aménagement du territoire à partir de cas algériens. Iniversité mentouri constantine.
- [4] Ministère de l'écologie et du développement durable, dossier d'information, risque naturels majeurs, France, Aout 2004.
- [5] Hafiane Ikram et Benzaid Ismahane. Lutte contre les inondations de la commune de Bouhachanna. Mémoire de Master. Université 8 Mai 1945 de Guelma. Juillet 2019.
- [6] Michel lang. Les inondations remarquables en France, inventaire 2011 pour la directive inondation. Éditions Quæ, 2014. 978-2-7592-2260-5
- [7] Hallil Abdelkader. La commune de Medrissa face au risque d'inondation Appréciation et perspectives de solutions. Mémoire master Académique. Université mohamed boudiaf – M'sila. 2017.
- [8] Chabane Rabah Labbaoui Thanina. etude de protection contre les inondations de la ville d'el bayadh (oued deffa). Mémoire de Master. Université Abderrahmane MIRA de Bejaia. 2016.
- [9] Belmahboul Yasser et Benkedidah Adil. Étude d'alimentation en eau potable de la région d'ain mellouk (w.mila). Mémoire de Master. Université Abderrahmane MIRA de Bejaia. 2016
- [10] Chebli Nora. Ressources et développement local de la commune d'Ain Melouk, Wilaya de Mila. Mémoire de magister en Aménagement du territoire. Universite mentouri. 2011.
- [11] Mesmoudi Ala Eddine et Zeghmar Amer. Etude comparative de l'évacuateur de crue de la retenue collinaire d'oued Mellah en deux variantes. Mémoire de Master. Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf – Mila. 2017.
- [12] Saidi Abderrahmane. Actes des journées technique / Risque naturels : inondation, prévision, protection. 15 et 16 décembre 2004 à Batna.

[13] ROUABAH Wafa. Les criteres environnementaux des aménagements hydraulique

Cas d'étude oued chebba ville d'elmir w.bba. Mémoire de Master. Ecole nationale supérieure d'hydraulique -arbaoui abdellah. 2015

## **Webographie**

[a] <https://googleweblight.com/i?u=https://www.cieau.com/connaitre-leau/connaitre-leau/leau-cest-quoi/&grqid=PnTFrvsq&hl=fr-DZ>

[b] <https://googleweblight.com/i?u=https://fr.euronews.com/2018/02/27/catastrophes-naturelles-les-inondations-sont-la-plus-grande-menace-&hl=fr-DZ>

[c] <http://www.risquesnaturels.re/risques/les-risques-majeurs/inondation>

[d] <http://www.nord.gouv.fr/Politiques-publiques/Prevention-des-risques-naturels-technologiques-et-miniers/Typologie-des-risques-dans-le-Nord/Le-debordement-de-cours-d-eau>

[e] <https://www.eaufrance.fr/les-inondations-et-les-submersions-marines>

[f] <https://t0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTBy3gQuH1qAuatjh3Sjbl-3-F-U0x2dkOVNgakItGZTy98xvu7sLizxfQ&s=0>

[g] <https://image.jimcdn.com/app/cms/image/transf/dimension=270x1024:format=jpg/path/sad38b0da414a0498/image/i65b2f8e225ebbcd7/version/1404133133/image.jpg>

[h] <https://www.chiefscientist.qld.gov.au/publications/understanding-floods/flood-consequences>

[i] [https://lh3.googleusercontent.com/proxy/\\_DPdCvjdurTdVs9RVr5YKvteaowdTdSQUeQ4t0b40HiiThfFy28fLSYrZ0GoCFF1OL](https://lh3.googleusercontent.com/proxy/_DPdCvjdurTdVs9RVr5YKvteaowdTdSQUeQ4t0b40HiiThfFy28fLSYrZ0GoCFF1OL)

[uI1pVnPSYpdqYHnSRv6SFdikDYGvN3LbzYNsXQ\\_t5A9D7yl4\\_2eXJNSn8M-1ayof8VDq3Iujgbn2ubyHToEYzVCDZoRu0p7g](https://lh3.googleusercontent.com/proxy/_uI1pVnPSYpdqYHnSRv6SFdikDYGvN3LbzYNsXQ_t5A9D7yl4_2eXJNSn8M-1ayof8VDq3Iujgbn2ubyHToEYzVCDZoRu0p7g)

[j] <https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcT9yg692TxDma14gnMIcteYLFIzX8CMUxLnjNaXSJ5tqEGrOI7z&usqp=CAU>

[k] <https://www.lacompagniedesforestiers.com/wp-content/uploads/2018/10/seuil-de-calage-bois-Grasse.jpg>

[l] [https://lh3.googleusercontent.com/proxy/LLkdv6J2E3yatTLStJfnc43PIIow1OVyB\\_1zve9QzZpueCOdsJEqMpTb17y8N8xFSgXnbBuAQYY6xZSfw89nvYepR73KAmZCIDt\\_87X9u2p--8JYEJXWrMSDTIzjW](https://lh3.googleusercontent.com/proxy/LLkdv6J2E3yatTLStJfnc43PIIow1OVyB_1zve9QzZpueCOdsJEqMpTb17y8N8xFSgXnbBuAQYY6xZSfw89nvYepR73KAmZCIDt_87X9u2p--8JYEJXWrMSDTIzjW)

[m] <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/chapitre2.html>

[n] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Gabion>

[o] <https://www.kennisbank-waterbouw.nl/DesignCodes/rockmanual/Chapitre8.pdf>