

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed khider –Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie civil et d'Hydraulique  
Référence : ...../2019



جامعة محمد خيضر بسكرة  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
قسم الهندسة المدنية و الري  
المرجع ...../2019

## Mémoire de Master

Filière : Hydraulique

Spécialité : Ouvrages Hydraulique

Thème

# Etude de protection contre les inondations de la ville de Doucen (Oued Tamda)

Nom et Prénom de l'étudiant :  
ELFETNI KHAOULA

Encadreur : Djedri Tewfik  
Co-Encadreur : Laiadi Adil

Promotion Juillet 2019

## Résumé

La problématique des risques naturels en général et des inondations en particulier est un sujet d'actualité qui marque une section mémorable dans le monde et spécifiquement en Algérie, notamment au regard des dernières années grandes crues catastrophiques. En effet, la gestion de ce risque devient de plus en plus une nécessité qui doit inclure tous les acteurs et tous les moyens disponibles possibles.

Cette étude a pour objectif plus précis de déterminer les ouvrages d'aménagements à mettre en place sur le bassin versant de l'oued Tamda, pour la protection de la ville de Doucen contre les inondations. Notre étude s'est composée de plusieurs parties essentielles Une étude hydrologique qui a permis la détermination du débit de crue probable, et Une étude hydraulique pour le calcul des dimensions du les ouvrages d'aménagements.

## Abstract

The problems of the natural risks in general and the floods in particular are a subject of topicality which marks a memorable section in the world and specifically in Algeria, in particular in comparison with the last years great catastrophic risings. Indeed, the management of this risk becomes more and more one requires which of which to include all the actors and all the means available possible.

This study has as a more precise objective to determine the rain works and installations to set up on the basin slopes of the river Temda, for the protection of the town of Doucen against the floods. Our study consisted of several essential: parts hydrological study which allowed the determination of the probable flood flow, and hydraulic study for the calculation of the dimensions of the works of installations.

## ملخص

يعد مشكل الأخطار الطبيعية بشكل عام والفيضانات بشكل خاص موضوعاً هاماً في العالم وخاصتاً في الجزائر، وفي ضوء الفيضانات الكارثية الأخيرة، أصبحت إدارة هذا الخطر ضرورة أكثر فأكثر والتي يجب أن تشمل جميع الجهات الفاعلة وجميع الوسائل المتاحة الممكنة.

وتهدف هذه الدراسة تحديد هياكل الحماية التي سيتم تنفيذها على مستجمعات المياه في وادي تمدا ، لحماية مدينة دوسن من الفيضانات . تألفت دراستنا من عدة أجزاء أساسية: دراسة هيدرولوجية سمحت بتحديد التدفق المحتمل للفيضان، ودراسة هيدروليكية لحساب أبعاد أعمال المنشآت.

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail aux êtres qui sont les plus chères dans ma  
vie.*

*A ma très chère mère, cette fontaine d'amour et de  
Tendresse, pour ces conseils et son soutien indéfectible.*

*A mon très cher père qui m'a énormément aidé dans ma vie avec sa  
sagesse et ses conseils.*

*A mes sœurs et mes frères*

*A toute la grande famille.*

*A mes très chers amis qui m'ont marquées de souvenirs  
Que je n'oublierai jamais.*

*Merci pour votre soutien et votre encouragement.*

## *Remersiment*

*Avant de commencer la présentation de ce travail, nous profitons de l'occasion à remercier avant tout ALLAH tout puissant, de nous 'avoir guidé Tout au long de nos vie, dans toutes les années d'étude, Et de nous 'avoir donné la croyance, la patience, Et le courage pour terminer ce travail. Nous remercions aussi toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin.*

*Ce travail a été réalisé sous la direction de Dr. Djedri Tewfik pour son aide et ces orientations précieuses. Nous tenons également à remercier les membres du jury, Dr .Laiadi Adil et Dr. Loughraichi Yazid pour l'honneur qu'ils nous ont accordé en acceptant de juger notre travail.*

*À l'université MOHAMED KHIDER BISKRA.*

*Nous remercions aussi l'ensemble des enseignants du département de hydraulique, qui ont contribué à notre formation.*

## Sommaire

Introduction Générale.....	01
<b>Primaires Chapitre</b>	
<b>Généralités sur les Inondations</b>	
I.1 Introduction .....	03
I.2 Définition.....	03
I.2.1 Inondation.....	03
I.2.2 Crue.....	03
I.2.3 Paramètres fondamentaux du cours d'eau.....	04
I.3 Type d'inondations.....	06
I.3.1 Les inondations par crues torrentielles.....	06
I.3.2 Les inondations par débordement direct (débordement des plaines).....	07
I.3.3 Les inondations par accumulation d'eau ruisselée.....	07
I.3.4 Les inondations par rupture d'un ouvrage artificiel hydraulique.....	07
I.3.5 Les inondations par submersion marine.....	07
I.4. Connaissance du risque inondation.....	07
I.4.1. Risques majeurs – inondations .....	08
I.4.2. Connaissance de l'aléa « inondation ».....	08
I.5. Causes de formation des crues et des inondations.....	10
I.6. Les inondations en Algérie.....	12
I.7. Procédés de protection des agglomérations contre les inondations .....	15
I.7.1. Recalibrage du cours d'eau.....	15
I.7.2 Digue de protection contre les inondations.....	16
I.7.3 Recalibrage des systèmes d'évacuation de l'eau.....	18
I.7.4 Barrage écrêteur.....	18
I.7.4 .1 Principes de fonctionnement.....	18.
I.7.4 Ouvrages de stockage en dérivation.....	20
I.7.5 Les épis.....	21
I.7.5 Banquette.....	21
I.8 Conclusion.....	22
<b>Deuxième chapitre</b>	
<b>Présentation du site</b>	
II.1 Introduction.....	24
II.2 Situation Géographique.....	24
I.3 Données naturelles du site .....	25
I.3.1 Situation géologique.....	25
II.3.2 Relief et Pente.....	26
II.3.3 Végétation.....	26
II.4 Situation climatologique.....	27
II.4.1 Température de l'air.....	27
II.4.2 Evaporation de l'eau.....	28
II.4.3 Régime des vents.....	28
II.4.4 Précipitations.....	29
II.5 Historique des Inondations de la Ville de Doucen.....	31
II.6 Diagnostic de l'état actuel, et localisation des zones exposées aux inondations....	32
I.7 Conclusion.....	33

### **Troisième chapitre** **Etude hydrologique**

III.1. Introduction.....	34
III.2. Informations digitales et modèles numériques.....	34
III.2.1. Généralité sur les MNT et MNA.....	34
III.2.3. Présentation du logiciel ArcGIS «Geographic Information System».....	34
III.3. Le bassin versant et son complexe.....	37
III.3.1 Définition d'un bassin versant.....	37
III.3.1.1 La surface.....	38
III.3.1.3 Le périmètre.....	38
III.3.1.4 Indice de compacité de Gravelius.....	38
III.3.1.5 Rectangle équivalent.....	38
III.3.2 Relief.....	39
III.3.2.1 Répartitions et courbe hypsométrique.....	40
III.3.2.2 Caractéristiques des altitudes.....	41
III.3.2.3 Les indice de pente.....	42
III.3.2.3.1 Pente moyenne de bassins versant Im.....	42
III.3.2.3.2. Indice de pente globale Ig.....	42
III.3.2.3.3. Dénivelée spécifique Ds.....	43
III.3.3. Caractéristiques hydrographiques du bassin versant.....	44
III.3.3.1. La densité de drainage.....	44
III.3.3.2. La pente moyenne du cours d'eau principale.....	45
III.3.3.3. Le temps de concentration.....	45
III.3.3.4. Vitesse moyenne de ruissellement.....	47
III.4. Analyse des données pluviométriques.....	48
III.4.1 Précipitation maximales journalières.....	48
III.4.2. Choix de la loi d'ajustement.....	50
III.4.2.1. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL.....	50
III.4.2.2. Ajustement de la série pluviométrique par la loi Log Normal ou loi de Galton.....	53
III.4.3 Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes Fréquences.....	55
III.4.3.1 Intensités maximales à différentes Fréquences.....	55
III.5 Evaluation des apports.....	58
III.5.1 Apports liquides.....	58
III.5.2 Apports solides.....	59
III.6. Etude des crues.....	59
III.6.1 Application sur les bassins versants.....	60
III.6.1.1 Formule de Turazza.....	60
III.6.1.2. Formule de Giandotti.....	60
III.6.1.3 Formule de Sokolovski.....	61
III.7 Hydro-gramme de crue.....	62
III.8 Conclusion.....	64

### **Chapitre IV** **Etude hydraulique**

IV.1 Introduction.....	65
IV.2 Proposition d'aménagement hydraulique pour la protection de la ville de Doucen contre les inondations.....	66
IV.3 Dimensionnement des ouvrages de protection.....	66
IV.3.1 Axe de la digue de déversoir.....	66

IV.3.2 Présentation de la digue de déversoir.....	67
IV.3.2.1 Type de déversoir.....	67
IV.3.2.2 Caractéristiques principales de la digue de déversoir.....	67
IV.3.2.3 Etude de variante.....	68
IV.3.3 Canal d'amenée.....	74
IV.3.3.1 Gabion.....	75
IV.3.4 Bassin de dissipation d'énergie.....	75
IV.3.4.1 Le ressaut hydraulique.....	76
IV.3.4.2 Dimensionnement du bassin de dissipation d'énergie.....	76
IV.3.5. Canal de restitution.....	77
IV.3 Conclusion.....	79
Conclusion générale.....	80
References Bibliographiques.....	82

**Liste des figures**

**Primaire Chapitre**  
**Généralités sur les Inondations**

---

Figure I.01 : Lit mineur d'un cours d'eau (Ledoux, 2006).	04
Figure I.02 : Lit moyen d'un cours d'eau (Ledoux, 2006).	04
Figure I.03 : Lit majeur d'un cours d'eau (Ledoux, 2006)	05
Figure I.04 : Embâcle sur un torrent, inondation par crue torrentielle	06
Figure I.05 : Les risques d'inondation (Ledoux, 2006).	09
Figure I.06 : Inondation du 10/11/2001 à Bab El-Oued (Alger).	14
Figure I.07 : Inondations en Algérie (Alger, 11/2001)	15
Figure I.08 : Inondations en Ghardaïa (10/2008).	15
Figure I.09 : Recalibrage d'un cours d'eau (Hachemi ,2015).	16
Figure I.10 : Positionnement de la digue par rapport aux cours d'eau (Serre, 2005)	17
Figure I.11 : Schéma de digue (Serre ,2005)	17
Figure I.12 : Fonctionnement d'un barrage écrêteur de crue (Serre, 2005)	18
Figure I.13 : Schéma de fonctionnement d'un barrage ecrêteur de crue (Benmia, 2012)	19
Figure I.14 Fonctionnement d'ouvrage de stockage en dérivation	20
Figure I.15 Canal de dérivation au Sud de la ville de Sidi Bel Abbés	20
Figure I.16 Implantation des épis. (Abdeddaim, 2008)	21
Figure I.17 Technique de banquettes (Benmia, 2012).	22
Figure I.17 Technique de banquettes (Benmia, 2012).	22

**Deuxième chapitre**  
**Présentation du site**

---

Figure II.01 : Plan de situation de la commune de Doucen	24
Figure II.02 : Communes limitrophes de la ville d'El Bayadh	24
Figure II.03 : Carte d'esquisse géologique de la wilaya de Biskra	25
Figure II.04 : Plan de relief de la Zone d'étude	26
Figure II.05 direction différentes des vents	29
Figur.II.06 : Carte pluviométrique de l'Algérie du nord 1/500 000	30
Figure II.07 Précipitations moyennes mensuelles (mm) de Doucen	30
Figure II.08 Accumulation des eaux dans une palmeraie à Doucen	31

Figure II.09 Accumulation des eaux dans le centre-ville et au marché de Doucen. (Cliché APC Doucen-2009)	31
Figure II.10 : Dégâts causés par les inondations du 11-12/09/2009 dans la région de Doucen. (Cliché APC Doucen-2009)	32
Figure II.11 : Vue aérienne de point de ramification d'Oued Tamda	33
Figure II.12 : Débordement des eaux d'oued	33

---

***Troisième chapitre***  
***Etude hydrologique***

---

Figure III.01: Photo du logiciel ArcGIS pour le MNA (Modèle Numérique d'Altitude) de la zone étude.	35
Figure III.02 : Photo du logiciel ArcGIS pour le Réseau hydrographique de la zone étude	36
Figure III.03 : Photo du logiciel ArcGIS pour délimitation du le Bassin Versant de la zone étude	36
Figure III.04 : Bassin versant de la zone d'étude	37
Figure III.05 : Courbes de niveau du bassin versant (relief)	39
Figure III.06 : Courbe hypsométrique de bassin versant	41
Figure III.07 : Représentation des observations sur papier normale	49
Figure III.08 : Histogramme des observations	50
Figure III.09 : Ajustement à la loi de GUMBEL	52
Figure III.10 : Ajustement à la loi de GALTON	54
Figure III.11 : Courbe Pluies de courte durée fréquentiel	57
Figure III.12 : Courbe Intensité-Durée-Fréquence	57
Figure III.13 : Hydrogramme de crue	64

---

***Chapitre IV***  
***Etude hydraulique***

---

Figure IV.01 : Présente Ouvrage de protection contre les crues	65
Figure IV.02 : Coupe transversal du déversoir standard (Creager)	68
Figure IV.03 : La capacité d'évacuation de déversoir Creager	69
Figure IV.04 : Déversoir en labyrinthe (barrage Texas, USA)	70
Figure IV.05 : Représentation des paramètres du déversoir en labyrinthe (Ben Saïd et al. , 2011)	71
Figure IV.06 : La capacité d'évacuation de déversoir en labyrinthe pour chaque charge au site de l'oued Tamda	73

Figure IV.07 : Comparaison entre le déversoir Creager et labyrinthe	74
Figure IV.08 : Exemple d'un Gabionnage	75
Figure IV.09 : Ressaut hydraulique	76
Figure IV.10 : Ressaut ondulé	76
Figure IV.11 : schéma générale de protection de la ville de Doucen Oued Tamda	78

## Liste des tableaux

---

### *Primaire Chapitre* *Généralités sur les Inondations*

---

Tableau I.1 : Illustre le nombre de construction, par ville, construites sur les zones inondables.	13
Tableau I.2 : Banquette en fonction de pente et type de culture (Benmia, 2012)	22

---

### *Deuxième chapitre* *Présentation du site*

---

Tableau.II. 1 : Répartitions des terrains de Doucen	27
Tableau II.2 : les valeurs des températures moyennes et extrémales dans la région concernée	28
Tableau II.3 : la répartition mensuelle de l'évaporation d'eau	28
Tableau II.4 : La Fréquence moyenne interannuelle des vents des directions différentes	29
Tableau II.5 : Les vitesses maximales du vent de différentes probabilités	29
Tableau II.6 : données recueillies au niveau de station Doucen	29

---

### *Troisième chapitre* *Etude hydrologique*

---

Tableau III.1 : paramètres morpho-métriques du Bassin versant	38
Tableau III.2: surfaces partielles du bassin versant par tranche d'altitude	40
Tableau III.3: Caractéristiques des altitudes	42
Tableau III.4 : Indice de pente global	43
Tableau III.5: classifications O.R.S.T.O.M. (Bénina 2004)	43
Tableau III.6: classifications O.R.S.T.O.M(Bénina 2004)	44
Tableau III.7 : Pente moyenne du cours d'eau principal	45
Tableau III.9 : Caractéristiques du bassin versant	47
Tableau III.10 : Station pluviométrique de DOUCEN (coordonnées Lambert) (ANRH)	48
Tableau III.11 : Séries des Pluies Maximales Journalières (1971-2011) à la station de DOUCEN (ANRH)	48
Tableau III.12 : Caractéristique de la série de donnée avec N = 39 ans	49
Tableau III .13 : Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL	52
Tableau III .14: Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON	53
Tableau III.15 : Pluies maximales journalières fréquentielles	55
Tableau III.15 : Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes fréquences	56
Tableau III.16 : Apports moyens interannuels	58
Tableau III.17 : Récapitulatif des apports liquides et solides du bassin versant	59
Tableau III.18 : valeur de coefficient de ruissellement C	60
Tableau III.19: Pluies de courte durée et intensité pour bassin	61

Tableau III.20 : Les débits de crues de sou bassins par les différentes formules	61
Tableau III.21 : Débits de crues pour différentes périodes de retour	63

---

***Chapitre IV***  
***Etude hydraulique***

---

Tableau IV .1 : Les débits maximaux fréquents au site de l'oued Tamda sont	66
Tableau IV . 2 : calcul le débit en fonction de la charge sur le déversoir Greager	69
Tableau IV . 3 : Coûts déversoir	70
Tableau IV. 4 : Caractéristique géométrique de labyrinthe	72
Tableau IV .5: calcul le débit en fonction de la charge sur le déversoir Greager	72
Tableau IV.6 Coûts du déversoir	73

# **Introduction**

## **Générale**

## ***Introduction Générale***

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

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

Plusieurs régions du pays menacées par ces catastrophes hydrologiques dont les effets sont souvent intensifiées par une urbanisation anarchique impliquant une occupation des terres inondées et même les rives des oueds.

Les systèmes d'évacuation des eaux de crue doivent être intégrés dans un aménagement global qui prendra en considérations la protection de l'ensemble du tissu urbain. Cette protection s'articule autour d'ouvrages capables de prendre en charge les eaux de crue et les évacuer.

A cet effet ; Notre présente étude a pour objet la protection de la ville de Doucen contre les inondations pouvant provenir des crues drainées par l'oued Tamda.

Aussi, notre étude s'articulera en quatre parties principales :

**Le premier chapitre :** Présent une synthèse de la gestion de risque d'inondations en distinguant les différentes composantes du risque et en citant plusieurs techniques de réduction du risque des inondations.

**Le deuxième chapitre :** Consiste à la présentation de la zone d'étude et nous informe sur sa localisation, le climat dominant, la géologie du terrain ainsi que la situation actuelle de l'Oued.

**Le troisième chapitre :** L'étude hydrologique du bassin versant, source essentielle des eaux alimentant l'Oued, nous renseigne sur les différentes caractéristiques de celui-ci et de celles du réseau hydrographique. L'ajustement des séries pluviométriques permettra la déduction de la loi statistique la plus adéquate afin de nous éclairer sur les pluies probables pour diverses périodes de retour et les débits qui leur correspondent. L'établissement du diagramme de crue

nous permettra aussi d'extraire le débit de crue maximal qui sera le débit de projet selon lequel le dimensionnement de la protection sera fondé.

**Le quatrième chapitre :** Concerne sur la proposition d'aménagement d'Oued Tamda et le calcul hydraulique du dimensionnement d'ouvrage d'aménagement qui a été proposé (évacuateurs de crues) Dans le but de calmer l'écoulement de crues et/ou la dérivation de crues d'Oued Tamda vers Oued Doucen.

# Chapitre I

## Généralités sur les Inondations

## **I.1 Introduction**

Les zones inondables sont soumises à différents types d'inondation, dont les caractéristiques influencent le déroulement des crises et l'ampleur des impacts humains et économiques. Le risque n'est pas le même sur les différents territoires exposés puisque ni l'aléa ni la vulnérabilité sont les mêmes ; les crues surviennent de manière plutôt lente sur les bassins plats alors qu'elles se produisent de manière extrêmement rapide et brutale sur les bassins pentus. Aussi les inondations ne provoquaient pas de catastrophes susceptibles de marquer les esprits si les zones inondables n'étaient pas ou peu occupées par l'homme. (Ledoux, 2006).

## **I.2 Définition**

### **I.2.1 Inondation :**

L'inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau. Le risque d'inondation est la conséquence de deux composantes : l'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement et l'homme qui s'installe dans l'espace alluvial pour y implanter toutes sortes de construction, d'équipements et d'activités. Au sens large les inondations comprennent les débordements d'un cours d'eau, les remontées de nappes, les ruissellements résultant de fortes pluies d'orages, les inondations par rupture d'ouvrages de protection (brèche dans les digues), les inondations estuariennes résultant de la conjonction de fortes marées, de situations dépressionnaires et de la crue des fleuves

### **I.2.2 Crue**

La crue correspond à l'augmentation de la quantité d'eau qui s'écoule dans la rivière et peut concerner l'ensemble du lit majeur de la rivière. De nombreux géographes et hydrologues ont adopté le critère qu'une rivière est en crue lorsque son débit est trois à cinq fois supérieur à son débit moyen. De façon plus pratique, on admet qu'une rivière est en crue lorsqu'elle déborde des limites de son lit mineur. Il s'agit d'un phénomène naturel périodique qui n'est exceptionnel que lorsque les débits deviennent considérables par rapport à son module ; on parle alors de crue critique, laquelle peut engendrer une inondation sur les zones riveraines.

Une crue se caractérise par son hydro gramme graphique qui représente les variations de débit en fonction du temps. Plus précisément, c'est la partie montante de Cette hydro gramme qui est appelé « crue », la partie descendante étant « la décrue ». Une crue se définit par différents critères : sa genèse, sa durée, sa fréquence, son débit de pointe et son volume (Salomon, 1997).

### I.2.3 Paramètres fondamentaux du cours d'eau :

#### a) Lits du cours d'eau :

Le lit d'une rivière étant façonné par les eaux qu'il transporte on conçoit que ses dimensions soient fortement liées aux régimes hydrologiques.

- **Lit mineur** : qui est constitué par le lit ordinaire du cours d'eau, pour le débit d'étiage ou pour les crues fréquentes (crues annuelles comprise entre un an a deux ans) (Merabet 2006).



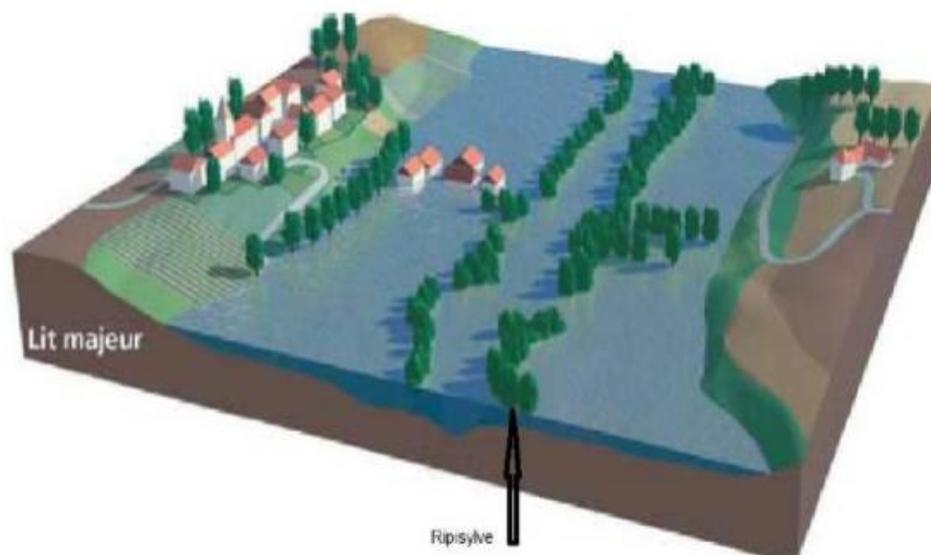
**Figure I.01** : Lit mineur d'un cours d'eau (Ledoux, 2006).

-**Lit moyen** : Il correspond à l'espace fluvial ordinairement occupé par la **ripisylve**.



**Figure I.02** : Lit moyen d'un cours d'eau (Ledoux, 2006).

**-Lit majeur** : comprend les zones basses situées de part et d'autre du lit mineur, sur une distance qui va de quelques mètres à plusieurs kilomètres. Sa limite est celle des crues exceptionnelles dont la période de retour est de l'ordre de cent ans.



*Figure I.03 : Lit majeur d'un cours d'eau (Ledoux, 2006)*

**b) Rive – berge :**

La berge est le talus incliné qui sépare le lit mineur et le lit majeur. Tandis que la rive est le milieu géographique qui sépare les milieux aquatique et terrestre. Elle démarre au sommet de la berge et constitue une partie plate plus ou moins étendue qui reste sous l'influence du milieu aquatique (Merabet, 2006).

**c) Ripisylve :**

C'est la formation végétale naturelle située sur la rive. Elle peut être une véritable forêt alluviale s'étendant sur plusieurs dizaines ou centaines de mètres de part et d'autre du lit mineur. Le rôle de la Ripisylve sur les crues peut être important ; lorsqu'elle occupe une part significative du lit majeur, elle augmente notablement la rugosité du lit, d'où deux conséquences de nature hydraulique :

- Une diminution des vitesses dans le lit majeur, et donc une réduction des effets érosifs du courant.
- Un écrêtement des crues pour l'aval (Merabet,2006).

**d) Alluvions et substratum :**

Les alluvions sont les grains fins ou grossiers alternativement déposés ou repris par le courant. Elles recouvrent le substratum qui est une couche formée d'une roche dure ou plus ou moins tendre (schistes, grès, marnes...) (Benmia, 2012).

**I.3 Type d'inondations**

Il existe au moins cinq types d'inondations :

***I.3.1 Les inondations par crues torrentielles***

Les crues torrentielles sont des phénomènes brusques et violents issues d'épisodes pluvieux d'une importante intensité. Le ruissellement de ces eaux charrie une grande quantité de matériaux solides (sédiments, bois morts,... etc.) qui font, en quelque sections, colmater le lit du cours d'eau et former des obstacles appelés embâcles (Figure I.04). En cédant, ces embâcles libèrent brutalement l'eau qu'ils ont retenue. En conséquence à cela des dégâts très importants sont engendrés.

On parle de crues torrentielles, lorsque le temps de concentration d'un bassin est inférieur à 12h. Elles touchent, généralement, les bassins de montagnes et les régions méditerranéennes mais aussi de petits bassins au relief accentué et à forte capacité de ruissellement peuvent être concernés.



**Figure I.04 :** Embâcle sur un torrent, inondation par crue torrentielle

### **I.3.2 Les inondations par débordement directe (débordement des plaines)**

Les inondations de plaine résultent d'épisodes pluviaux de longue durée et d'intensité modérée. Le sol recevant ces pluies est caractérisé par une faible capacité de ruissellement (lent à déclencher). Par accumulation d'eau, dépassant sa capacité, le cours d'eau déborde, l'écoulement sort du lit mineur pour occuper les terres avoisinantes.

### **I.3.3 Les inondations par accumulation d'eau ruisselée**

Ce type d'inondation est provoqué suite à des pluies exceptionnelles ou d'orages violents s'abattant sur un sol de capacité d'infiltration et de drainage insuffisantes. Cette insuffisance est due essentiellement à deux facteurs :

- Soit, l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité du sol,
- Ou bien, le ruissellement se fait sur un sol déjà saturé par une nappe.

### **I.3.4 Les inondations par rupture d'un ouvrage artificiel hydraulique**

L'inondation causée par la destruction d'un ouvrage est un phénomène brutale et extrêmement dangereux. En effet, cette rupture provoque la libération d'une énorme quantité d'eau munie d'une force dévastatrice gigantesque détruisant tout sur son passage. Les statistiques des dégâts matériels et humains engendrés sont inestimables. La rupture d'un ouvrage est très difficile à prévoir par conséquent la prévention de la calamité est encore plus difficile.

### **I.3.5 Les inondations par submersion marine**

Une submersion marine est une inondation temporaire des régions côtières par des eaux salées provenant de la mer avoisinante. Elle est due à des événements météorologiques ou océanographiques de dimensions inhabituelles, tels que : marée haute de vives eaux exceptionnelle, phénomène de la surcote et l'élévation du niveau de la mer suite à une fonte importante des glaciers.

## **I.4. Connaissance du risque inondation :**

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

La réaction face à ce risque d'inondation a consisté pendant plusieurs décennies à lutter contre les crues qui signifiait d'abord que l'on cherchait à agir sur le phénomène naturel la crue – et

uniquement sur lui, c'est -à-dire sur une seule composante du risque « l'aléa » et non sur les enjeux ou leur vulnérabilité. (Ledoux, 2006)

#### **I.4.1. Risques majeurs – inondations :**

Les types de risques auxquels chacun de nous peut être exposé sont regroupés en cinq familles :

- **Risques naturels** : avalanche, feu de forêt, inondation, mouvement de terrain, cyclone, tempête, séisme et éruption volcanique ;
- **Risques technologiques** : d'origine anthropique, ils regroupent les risques industriels, nucléaire, biologique, rupture de barrage...
- **Risques de transports collectifs (personnes, matières dangereuses)** : sont des risques technologiques, on en fait un cas particulier car les enjeux varient en fonction de l'endroit où se développe l'accident ;
- **Risques de la vie quotidienne (accidents domestiques, accidents de la route...)** .
- **Risques liés aux conflits** (Merabet, 2006).

L'un des meilleurs moyens de prévention contre les risques d'inondation est d'éviter d'urbaniser les zones exposées à ce risque. Le PERI (Les plans d'exposition aux risques des inondations) est parmi les anciens documents définissant les zones inconstructibles et des zones constructibles sous réserves de respecter certaines prescriptions (Bravard, 1991).

#### **I.4.2. Connaissance de l'aléa « inondation » :**

##### **a) Alea :**

L'aléa semble le terme le plus adéquat pour définir le phénomène physique, naturel et non maîtrisable, d'occurrence et d'intensité donnée (définition du ministère de l'environnement et de développement durable français). Cette définition révèle le caractère hasardeux du risque et le faire différencier de sa définition linguistique qui le présente comme un risque et non pas un de ses composantes. Dans notre cas où le risque est l'inondation l'aléa n'est que le phénomène naturel de crue non maîtrisable d'occurrence et d'intensité aléatoires, cette prévision est probabiliste et la détermination de l'intensité et la fréquence de crue est basé sur le traitement stochastique de l'historique des événements où la longueur de la série observée joue un rôle principal sur la validité des prévisions. Néanmoins la notion de période de retour

est purement statistique et elle ne correspond qu'à l'appréciation de l'intensité du phénomène en comparaison à d'autres (Chachoua, 2010).

**b) Vulnérabilité :**

La vulnérabilité est une notion composite. Elle prend en compte divers paramètres géographique et socioéconomique. Plusieurs définitions existent dans la littérature, parmi lesquelles on choisit deux définitions officielles. La définition de MEDD (le Ministère de l'Ecologie et de Développement Durable français) « la vulnérabilité est le niveau des conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les enjeux », et celle de NOAA (National Océanique and Atmosphérique Administration) « la susceptibilité des ressources à être affectées par des aléas ». Les enjeux sont les éléments à risque (personne, biens, activités, patrimoine...) attribuent à la vulnérabilité une dimension complexe quantitative et qualitative. La notion de vulnérabilité peut être résumée en quatre points :

- ❖ La perception sociale de l'aléa ;
- ❖ L'aléa et ses conséquences prévisibles sur les enjeux ;
- ❖ Les dispositions prises pour limiter l'effet de l'aléa ;
- ❖ Les enjeux.

Cette complexité de concepts d'aléa et de la vulnérabilité figure I.05 montre que la considération de risque sommairement comme un produit de deux facteurs est limitative et pour mettre en œuvre une politique de gestion précise et scientifique, on doit décomposer ces deux facteurs en plusieurs éléments afin de déterminer ceux susceptibles d'être maîtrisés pour minimiser le risque (Chachoua, 2010).



**Figure I.05 :** Les risques d'inondation (Ledoux, 2006).

## **I.5. Causes de formation des crues et des inondations :**

### ***a) Influence du climat :***

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

- Leur répartition spatiale.
- Leur répartition temporelle.

Ces différents aspects des précipitations sont plus ou moins modifiés selon un effet Combiné des autres paramètres physiques (altitude et exposition) et climatiques (la Température, l'évaporation, l'évapotranspiration, les vents et l'humidité) ; des facteurs qui influent sur l'écoulement et le régime hydrologique du bassin (Bouanani, 2004).

### ***b) Les crues provoquées par les chevelus hydrographiques :***

La crue correspond à l'augmentation de la quantité d'eau qui s'écoule dans la rivière (Débit) et peut concerner l'ensemble du lit majeur de la rivière. Elle dépend essentiellement de l'abondance et de l'intensité de la pluie : son évolution obéit principalement à la puissance et l'intensité de l'averse. Sa vitesse est largement influencée par le couvert végétal, la lithologie, par des paramètres morpho métriques du bassin (indice de compacité, densité de drainage, rapports des confluences et des Longueurs etc....), par la pente des thalwegs et la forme du lit (Bouanani, 2004).

Le processus de la genèse de crue est le résultat de plusieurs processus concomitants. Il peut être le résultat de l'écoulement superficiel ou souterrain ou les deux ensembles Les crues sont de trois types :

- Les crues d'averses : Ce sont les crues les plus connus et plus répandues.
- Les crues de fonte de neige : Caractéristiques aux régimes climatiques
- Les crues d'embâcles : Généralement dues aux blocs de glaces ou troncs d'arbres qui s'accumulent formant des petits barrages et provoquant des Inondations à l'amont. La débâcle est l'effet de la rupture de ces petits Barrages résultant des inondations à l'aval (Benmia, 2012).

**c) Le processus de formation des crues :**

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

- L'eau mobilisable : constituée de l'eau reçue par le bassin versant.
- Le ruissellement : qui correspond à la part de l'eau qui n'a pu s'infiltrer dans le sol. Il dépend de la nature du sol, de sa pente, de son occupation de surface et de l'intensité de l'épisode pluvieux.
- Le temps de concentration : qui est défini par la durée nécessaire pour Qu'une goutte d'eau partant du point le plus éloigné de l'exutoire du bassin versant parvienne jusqu'à celui-ci.
- La propagation de l'onde de crue : qui est fonction de la structure du lit et de la vallée alluviale, notamment de la pente et des caractéristiques du champ d'inondation (Asnoui, 2014).

**d) La période de retour de crues :**

- On associe souvent à la notion de crue la notion de période de retour (crue décennale, centennale, millénaire, etc.) : plus cette période est grande, plus les débits et l'intensité sont importants. Selon ce paramètre, on distingue :
- Les crues fréquentes : dont la période de retour est comprise entre un et deux ans.
- Les crues moyennes : dont la période de retour est comprise entre dix et vingt ans.
- Les crues exceptionnelles : dont la période de retour est de l'ordre de cent ans.
- La crue maximale vraisemblable : qui occupe l'intégralité du lit majeur. (Yahiaoui, 2012).

**e) Paramètres influençant les inondations :**

Un grand nombre de facteurs autres que celles dictés précédemment intervient, souvent de façon aggravante, dans les dégâts occasionnés par les inondations. Parmi ces derniers, on peut rappeler l'influence des facteurs naturels et anthropiques (Ledoux et al, 2006).

**f) Influence des facteurs naturels :**

Surface et forme du bassin versant : ainsi pour une même surface, l'allure de L'hydro gramme de crue résultant d'une pluie donnée est très différente suivant la forme du bassin versant ; un bassin très allongé ne réagit pas comme un bassin de forme ramassée ce qui a amené l'utilisation d'un indice pour évaluer le « coefficient de compacité ». En principe plus cet indice

est faible, plus la concentration des eaux apportées par les affluents est rapide et plus les crues risquent d'être brutales et bien différenciées (Defrance, 2009).

Configuration du relief des lits des cours d'eau : La pente exerce une influence directe sur la rapidité de l'écoulement et donc sur la puissance de la crue. Si le profil en long du cours d'eau est assimilable à une suite de segments plus ou moins pentus, il exerce une action visible sur la crue. Le profil en travers est aussi important ; pour un même débit de crue, un cours d'eau encaissé verra sa hauteur d'eau monter beaucoup plus vite qu'un cours d'eau à profil plus évasé. En contrepartie, ce dernier a de plus grands risques de débordements.

Densité des cours d'eaux et perméabilité du bassin versant : ainsi la densité des cours d'eau est fonction de la nature des terrains, le réseau est d'autant plus développé et complexe que le terrain est moins perméable. On comprend aisément que plus l'imperméabilité est forte, plus les eaux météoriques sont disponibles pour le ruissellement de surface. De ce point de vue, à priori les cours d'eau drainant les régions imperméables ont une plus forte probabilité à développer des crues dangereuses (Barroca, 2006).

Facteurs biogéographiques : la végétation joue un rôle climatique complexe, elle agit sur le ruissellement, retient une part des pluies, évapore l'eau, etc. L'on sait depuis longtemps qu'une couverture végétale dense réduit et ralentit considérablement l'écoulement. D'abord la forêt intercepte la pluie et la neige, cette dernière pouvant mettre très longtemps à fondre sous couvert. Ensuite elle accroît fortement l'évapotranspiration ; pour la zone tempérée celle-ci atteint ou dépasse fréquemment 500 à 700 mm/an. On comprend facilement que cela limite le ruissellement direct et l'alimentation des cours d'eau. Bien souvent une végétation vigoureuse aux arbres dotés de racines nombreuses et bien enchevêtrées, constitue une excellente protection naturelle, quasi totale, contre l'érosion torrentielle. Inversement la destruction du couvert végétal constitue un facteur aggravant la puissance des crues. (Ledoux, 2006).

#### **I.6. Les inondations en Algérie :**

Au cours de la décennie écoulée, nous avons pu avoir les données de quelques inondations parmi lesquelles :

- ❖ Le 20 octobre 1993 (ouest algérien) : 22 décès et 14 blessés à QUEDRHIOU (à chlef).
- ❖ Mois d'octobre 1994, des inondations ont été signalées dans plusieurs régions du pays, bilan 60 décès et des dizaines de disparus au cours de dix jours d'inondations.
- ❖ Le 22 octobre 2000 : des inondations à l'ouest algérien, plus de 24 décès.

- ❖ Les 10 et 11 novembre 2001 : à BAB EL OUED (Alger), les pluies diluviennes ont fait 733 victimes, 30 000 personnes sans-abris et d'importants dégâts matériels.
- ❖ Le 1er octobre 2008 : des pluies diluviennes s'étaient abattues sur la région de Ghardaïa, faisant dangereusement monter les cours d'eau. Au moins 33 personnes sont mortes, quatre-vingt-quatre personnes ont été blessées et près de 600 maisons détruites dans des inondations très importantes.
- ❖ Le 09 octobre 2008 : dans la wilaya D'AÏN DEFLA, les intempéries ont causé six décès et huit autres blessées parmi la population, suite à une inondation qui a surpris la région.
- ❖ La nuit du 12 octobre 2008 a été fortement pluvieuse, de 20h45mn à 23h35 mn, de pluie ont été enregistrée, surtout dans les localités de KHEMIS MILIANA et Sidi Lakhdar où la force de l'averse a fait que le revêtement bitumeux de la chaussée en certains endroits a été endommagé, de même que des habitations noyées par des eaux chargées de terre argileuse et de gravier. Des torrents de boue provenant des collines surplombant la ville de KHEMIS MILIANA ont envahi la majorité des quartiers. Même la voie ferrée n'a pas été épargnée par ces inondations.
- ❖ Durant ce mois d'Octobre 2008, d'autres crues et inondations sont signalées à Batna (450 km au sud-est d'Alger) où deux personnes ont été emportées par les eaux d'oueds en crue. A Bechar, région habituellement désertique et aride, situé à plus de 1.000 km au sud-ouest d'Alger, au moins huit personnes sont mortes noyées dans des inondations qui l'ont frappé mercredi et jeudi 15 et 16 octobre 2008.
- ❖ Le soir du 01 octobre 2011 a été fortement pluvieuse de P=60 mm à la ville d'EL BAYADH, de 17h à 18h30 mn, Au moins 11 personnes sont mortes, et près de 170 maisons détruites, et deux ponts dans des inondations très importantes (Boudjerda et al, 2005).

**Tableau I.1** : Illustre le nombre de construction, par ville, construites sur les zones inondables.

Wilaya	Nombre de construction
Chlef	2248
Laghouat	3083
O. El bouaghi	1999
Batna	16261
Bejaïa	500
Biskra	763
Bouira	1438
Tamanrasset	1159
Tébessa	17236
Tlemcen	375

Tiaret	13
Alger	14545 quartiers Merdja et Baraki
Djelfa	784
Jijel	470 (zone à risque très élevés)
Sétif	1261
Saida	976-09 cités
Skikda	4009
S.B. Abbas	576-04 cités en centre-ville
Annaba	30 cités et quartiers
Guelma	360
Constantine	620
Médéa	3075
Mostaganem	1633
M'sila	1185
Oran	06 cités
Boumerdés	561
El teref	2370
Tissemsilt	1340
El oued	766
Souk Ahras	La plupart des communes
Tipaza	2710
Mila	1663
Ain defla	7772
Naama	4924



**Figure I.06 :** Inondation du 10/11/2001 à Bab El-Oued (Alger).



*Figure I.07 : Inondations en Algérie (Alger, 11/2001)*



*Figure I.08 : Inondations en Ghardaïa (10/2008).*

### **I.7. Procédés de protection des agglomérations contre les inondations :**

L'objectif d'une stratégie de réduction de l'aléa est de réduire des eaux sur les zones comportant de forts enjeux humains et économiques à l'échelle du bassin versant.

#### **I.7.1. Recalibrage du cours d'eau :**

Le principe du recalibrage consiste à augmenter la débitante du lit mineur en augmentant la section d'écoulement par élargissement du lit, approfondissement ou les deux. Le recalibrage des cours d'eau est probablement l'un des types d'intervention les plus fréquemment réalisés. Ce type de travaux hydrauliques a été mis en œuvre très anciennement dans les zones urbaines et périurbaines, souvent accompagné d'endigements étroits, pour réduire la fréquence des inondations. 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, notamment celles exploitées en maïs, céréale très peu résistante à la

submersion. En concertation avec les acteurs du monde agricole qui proposaient un « débit de projet » (égal à Q5ans, Q10ans ou Q50ans), l'ingénieur hydraulicien calculait le profil type à donner au cours d'eau pour garantir ce projet de débit sans débordement. Notons que le recalibrage d'un cours d'eau a souvent été couplé à d'autres interventions telles que :

- 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) (Hachemi ,2015)

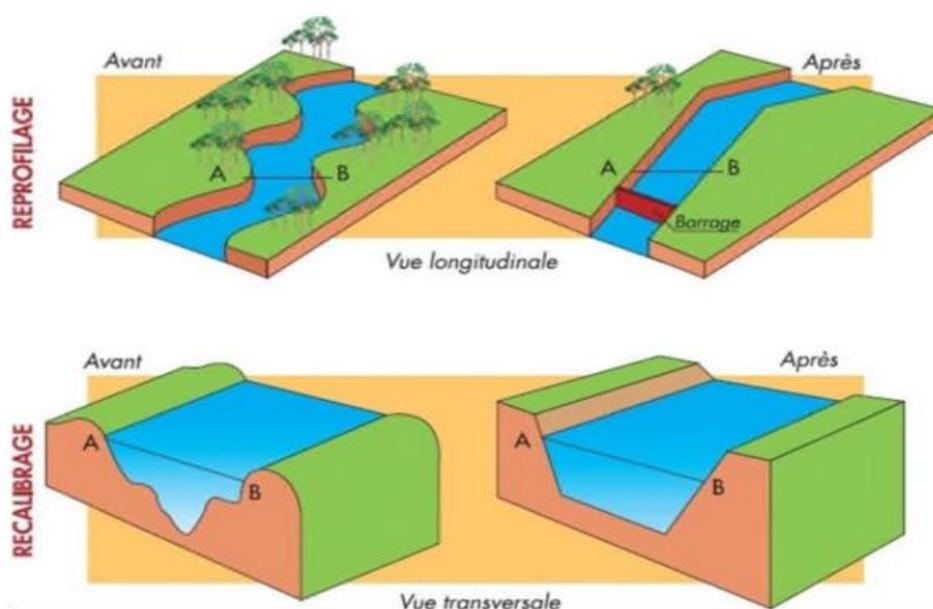


Figure I.09 : Recalibrage d'un cours d'eau (Hachemi ,2015).

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

### I.7.2 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. On trouve ces digues essentiellement le long des cours d'eau, parfois positionnées directement

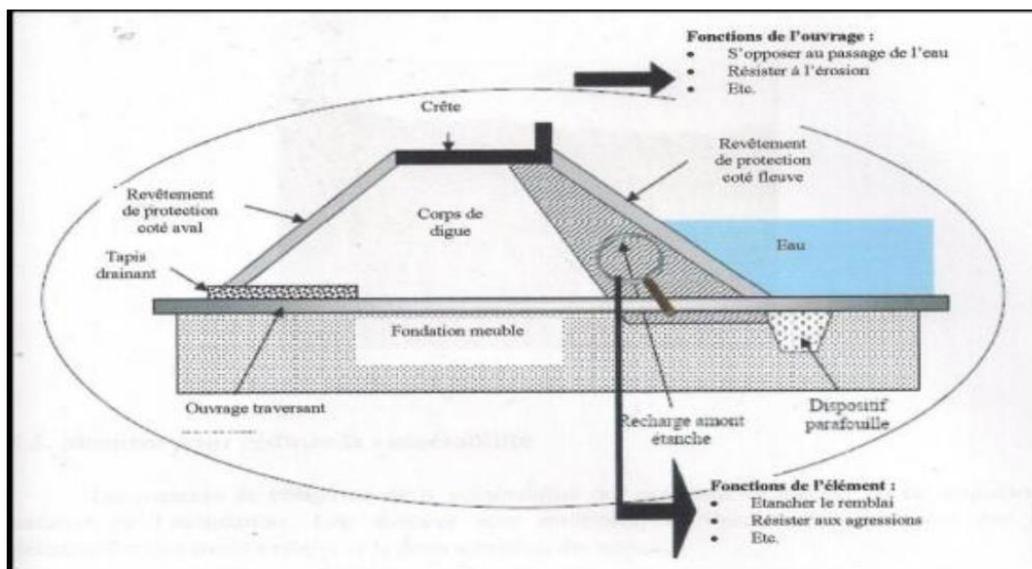
en contact avec la berge, ou éloignées de plusieurs mètres, ou plus (quelques centaines de mètres), de celle-ci (Figure. I.10) (Serre, 2005).

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.



**Figure I.10 :** Positionnement de la digue par rapport aux cours d'eau (Serre, 2005)

Les digues sont des ouvrages dont au moins une partie est construite au-dessus du niveau du terrain naturel destinés à contenir le flux d'eau dans les périodes de crue de protéger les zones inondable (Serre, 2005).



**Figure I.11 :** Schéma de digue (Serre, 2005)

Le fonctionnement hydraulique d'une vallée endiguée peut être décrit comme suit :

- A la montée de crue, la rivière déborde de son lit ;

- La digue limite les crues relativement fortes mais elle surélève la ligne d'eau là où la présence des digues conduit à rétrécir sensiblement la largeur de lit naturel ;
- Dans le cas des fortes crues, le rôle des digues est limité et la vallée sera complètement inondée.

### I.7.3 Recalibrage des systèmes d'évacuation de l'eau :

Cette opération consiste à modifier les capacités d'écoulement des systèmes d'évacuation des eaux pluviales pour éviter que leur engorgement ne provoque des inondations dues aux précipitations sur une zone urbanisée. Il peut également s'agir de modifier un défaut des systèmes d'évacuation qui n'empêche pas l'eau du cours en crue de refouler. L'effet est essentiellement local (Grelot, 2004).

### I.7.4 Barrage écrêteur :

Le barrage écrêteur a pour but l'écrêtement des crues, et parfois, a vocation multiple, son principe de fonctionnement est de stocker temporairement un certain volume dans le lit du cours d'eau de façon à diminuer le débit de crue en aval selon le schéma (Serre, 2005)



*Figure I.12 : Fonctionnement d'un barrage écrêteur de crue (Serre, 2005)*

#### I.7.4 .1 Principes de fonctionnement

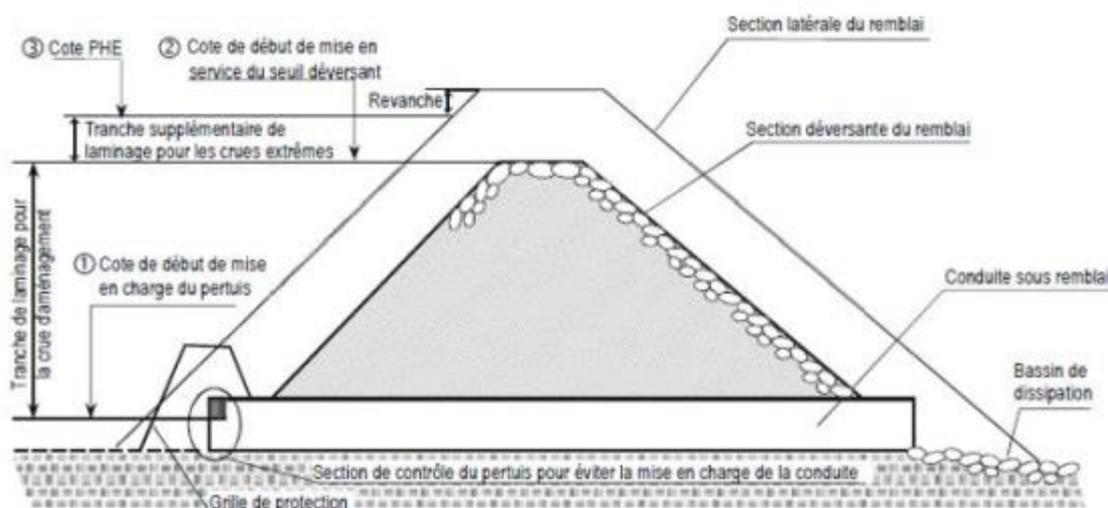
Les barrages écrêteurs sont implantés en travers du thalweg et ont pour objet de stocker temporairement un certain volume dans le lit du cours d'eau, de façon à diminuer le débit de pointe de la crue en aval.

Le principe général de fonctionnement, dans le cas d'un barrage écrêteurs sans vannes, est le suivant :

-Un pertuis de fond correctement dimensionné et protégé de l'obstruction par les flottants, permet de limiter le débit en aval, à une valeur compatible avec les enjeux à protéger contre l'inondation ; l'ouvrage est donc transparent pour les débits courants et pour les crues fréquentes.

-Lorsque la capacité du pertuis est saturée, la retenue se remplit progressivement, ce qui permet de stocker temporairement une partie du volume de la crue ; le débit en aval augmente peu en fonction de la montée du niveau dans le réservoir (écoulement en charge) ; en fin de crue, le volume temporairement stocké dans la retenue se vide naturellement par le pertuis ; l'ouvrage écrête fortement les crues moyennes à rares.

-En cas de très forte crue, lorsque la retenue est pleine, le déversoir de sécurité entre en fonction pour évacuer la différence entre le débit entrant dans la retenue et le débit transitant dans le pertuis (avec un effet complémentaire de laminage dans la tranche supérieure de la retenue) ; l'ouvrage perd de son efficacité pour les crues rares à exceptionnelles (Benmia, 2012).

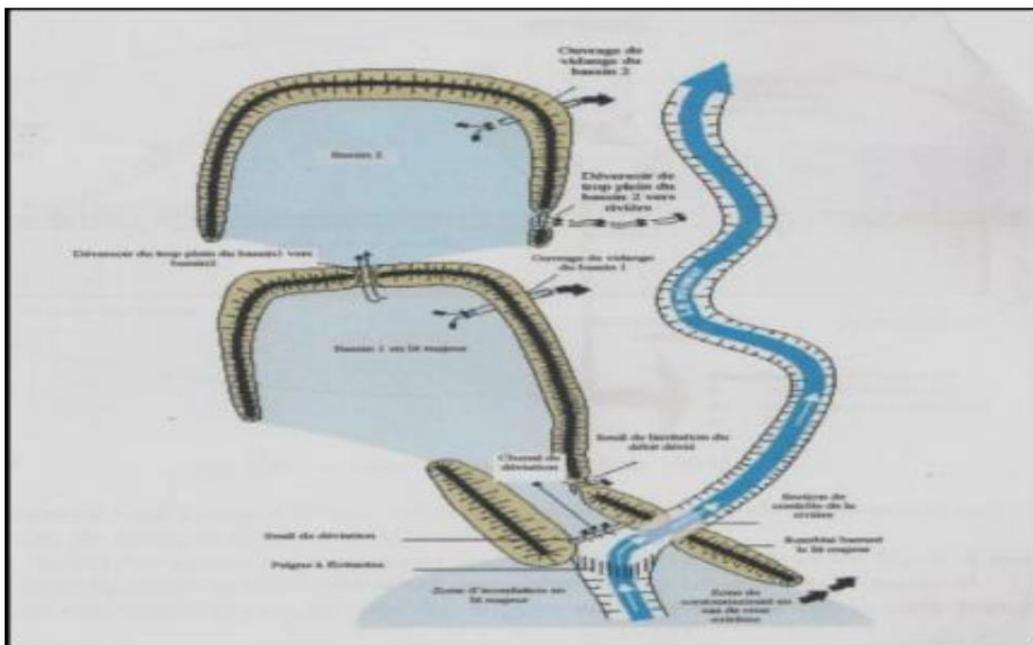


**Figure I.13 :** Schéma de fonctionnement d'un barrage écrêteur de crue (Benmia, 2012)

Par un pertuis de fond dimensionné de façon qu'il permet l'écoulement ordinaire et de crues fréquentes et limiter le débit en aval selon les enjeux à protéger contre l'inondation. En cas de crue qui dépasse la capacité de pertuis, le barrage se remplit progressivement et se vide lentement par le pertuis en fin de crue. En cas où la crue est très forte et le volume d'eau dépasse la capacité de stockage du barrage, le débit excédent s'évacue par le déversoir de sécurité (MEDD, 2004).

### I.7.4 Ouvrages de stockage en dérivation.

Contrairement au fonctionnement naturel des champs d'expansion, ce type d'ouvrage est alimenté par dérivation de cours d'eau par un ouvrage de prise et un chenal d'amené. Les bassins de stockage sont creusés dans le terrain naturel ou par construction de digues. Selon la topographie, ils peuvent être aménagés en plusieurs bassins en cascade qui se remplissent successivement de l'amont vers l'aval par déversement. Le schéma de fonctionnement de ces ouvrages est montré dans la (figure. I.14) suivante :



**Figure I.14** Fonctionnement d'ouvrage de stockage en dérivation



**Figure I.15** Canal de dérivation au Sud de la ville de Sidi Bel Abbés

### I.7.5 Les épis :

Un épi en rivière est un ouvrage transversal au courant, enraciné dans la berge, ne barrant qu'une partie du lit et au moins partiellement submersible. Les épis sont utilisés pour protéger les berges ou pour faciliter la navigation. Dans le domaine maritime, des épis peuvent être utilisés pour protéger des plages (Gérard, 2012).

L'espacement entre les épis dépend de la largeur de la rivière, de leur longueur et de leur nature. Théoriquement, pour qu'un système d'épis soit efficace, il faut que l'écart entre deux épis successifs soit de l'ordre d'une fois et demie (1,5) leur longueur moyenne (Abdeddaim, 2008)

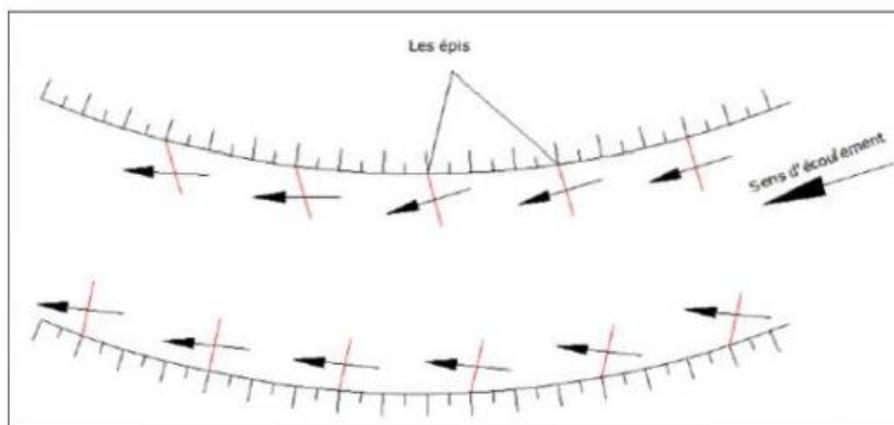


Figure I.16 Implantation des épis. (Abdeddaim, 2008)

### I.7.5 Banquette :

La technique des banquettes est de double objectif, la lutte contre l'érosion et la réduction de ruissellement en favorisant l'infiltration due à la diminution de pente. Leurs effets sont considérables dans la défense et la restauration de sol (Benmia, 2012).

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 du fossé.
- L'impluvium à l'amont du fossé ; zone cultivée 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 lors des grosses averses.

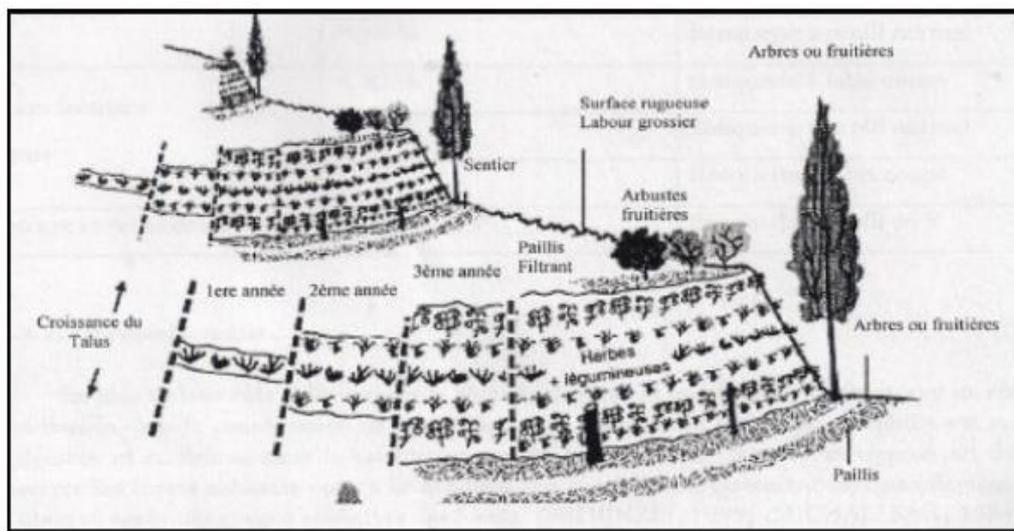


Figure I.17 Technique de banquettes (Benmia, 2012).

Tableau I.2 : Banquette en fonction de pente et type de culture (Benmia, 2012)

Culture	Pente du terrain	Type de banquette
Céréales	2 à 3%	Labours horizontaux
	3 à 6%	Culture a bandes
	3 à 5%	Banquette à triple courbure
	5 à 12%	Banquette à double courbure
	12 à 18%	Banquette à simple courbure
	18 à 30%	Banquette à talus coupé en V
	30 à 50%	Banquette à profil en V
Céréales et arbres fruitiers sur bourrelet	< 18%	Banquette à simple courbure
	< 30%	Banquette à talus coupé
	< 50%	Banquette à profil normal
Arbres fruitières vignes	< 30%	Banquette à talus coupé
	< 50%	Banquette à profil normal
	< 30%	Banquette à talus coupé
Pâturage et reboisement	< 80%	Banquette à profil en V

## I.8 CONCLUSION

L'inondation est un risque prévisible dans son intensité, mais il est difficile de connaître le moment où elle se manifestera. Les paramètres concourant à la formation des crues sont nombreux, cependant l'un d'eux est déterminant : la pluie. La prévision des inondations consiste donc principalement en une observation continue des précipitations. Enfin,

l'inondation est considérée comme un événement climatique extrême. Souvent qualifiée de risque naturel, elle est lourde de conséquences (pertes humaines, sociales, économiques et environnementales) tant pour les pays développés que pour les nations en développement bien que tous ne soient pas affectés de la même manière. La capacité à gérer l'impact de l'inondation varie également d'un pays, d'une région, d'une communauté et d'un groupe de population à l'autre.

Le problème de protection contre les inondations ne possède pas de solution unique, car ce sont les conditions locales qui commandent. On peut dire qu'il y a autant de problèmes différents à résoudre que de zones inondables. De plus, la réalisation de telle ou telle protection nécessite la réunion d'un certain nombre de conditions qui la plupart du temps limite les possibilités et les résultats. Il faut donc rechercher toujours le type de protection le mieux adapté à la zone à protéger en prenant les marges de sécurité suffisantes, car les méthodes d'études ne sont pas toujours précises.

Dans le domaine de la protection contre les inondations, il ne faut pas attacher également une valeur formelle aux études économiques qu'elles n'ont pas. Les résultats auxquels elles conduisent doivent être beaucoup plus considérés comme étant des estimations grossières, mais qui permettent de juger si les opérations envisagées ne sont pas déraisonnables sur le plan économique et surtout de comparer les solutions entre elles.

# **Chapitre II**

## **Présentation du site**

## II.1 Introduction

Avant tout projet de protection contre les inondations, l'étude du site est nécessaire pour connaître les caractéristiques physiques du lieu et les facteurs influençant sur la conception du projet. Cette étude consiste à analyser les caractéristiques physiques de la commune (relief, climat, ...).

## II.2 Situation Géographique

L'étude de ce projet permettra la protection de la ville de Doucen-Biskra (Oued Tamda) contre les eaux de crues et d'assurer la sécurité des biens et des personnes. Le centre de Doucen est situé à 21 Km au nord de Ouled Djallal et à 16 Km au sud de la route nationale N° 46 qui mène de Bou Saada à Biskra, limité au nord est par les centre de Tolga, Foughala, Lichana, Ourlal, Oumache et Biskra le chef-lieu de wilaya

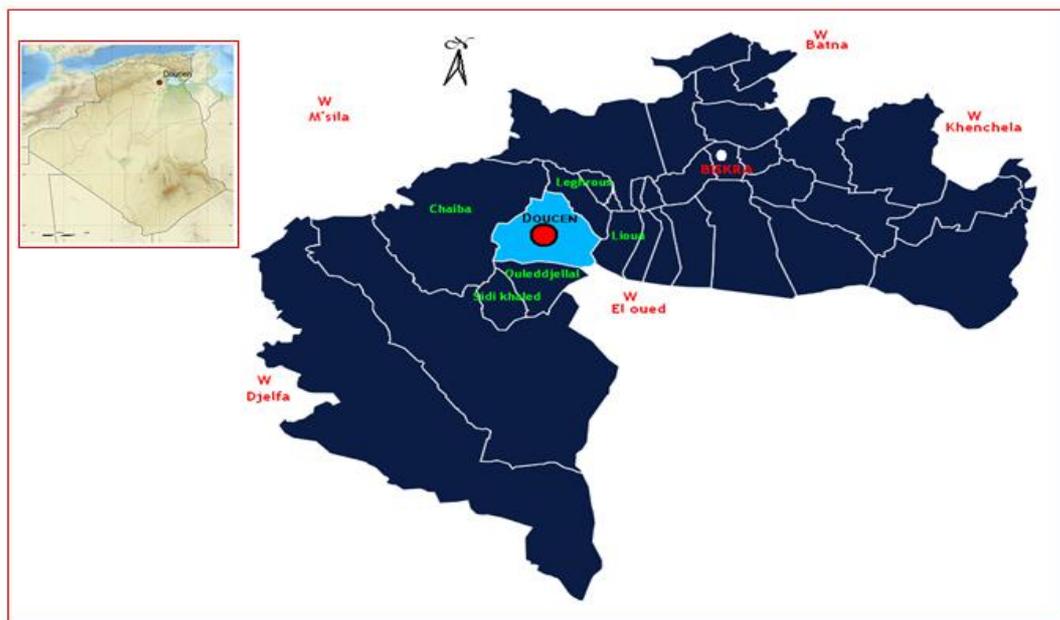


Figure II.01 : Plan de situation de la commune de Doucen

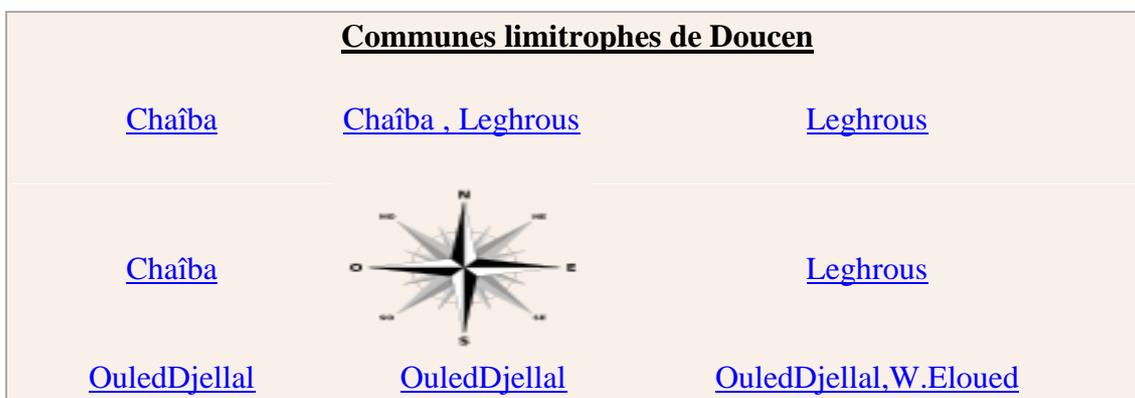


Figure II.02 : Communes limitrophes de la ville d'El Bayadh

**I.3 Données naturelles du site :**

**I.3.1 Situation géologique :**

La connaissance de la géologie du site nous permettra de prendre des dispositions nécessaires lors de la réalisation des travaux, par exemple le choix de type d’ouvrage qui à utiliser pour la protection de Oued et le choix du des engins à utiliser et type de matériaux.

A travers le territoire de commune de Doucen n’affleurent que des formations sédimentaire allant du quaternaire au crétacé, les formations du quaternaire sont composé d’éboulis sur les pentes et une croute calcaireux-gypseuse ou deb-deb.

Il faut souligner que les calcaires de cette région sont souvent Karstifiés ce qui facilité l’infiltration et la circulation des eaux souterraine du point de vue tectonique, la région est situé dans une zone considéré sismiquement comme stable et peu affectée par des failles importantes.

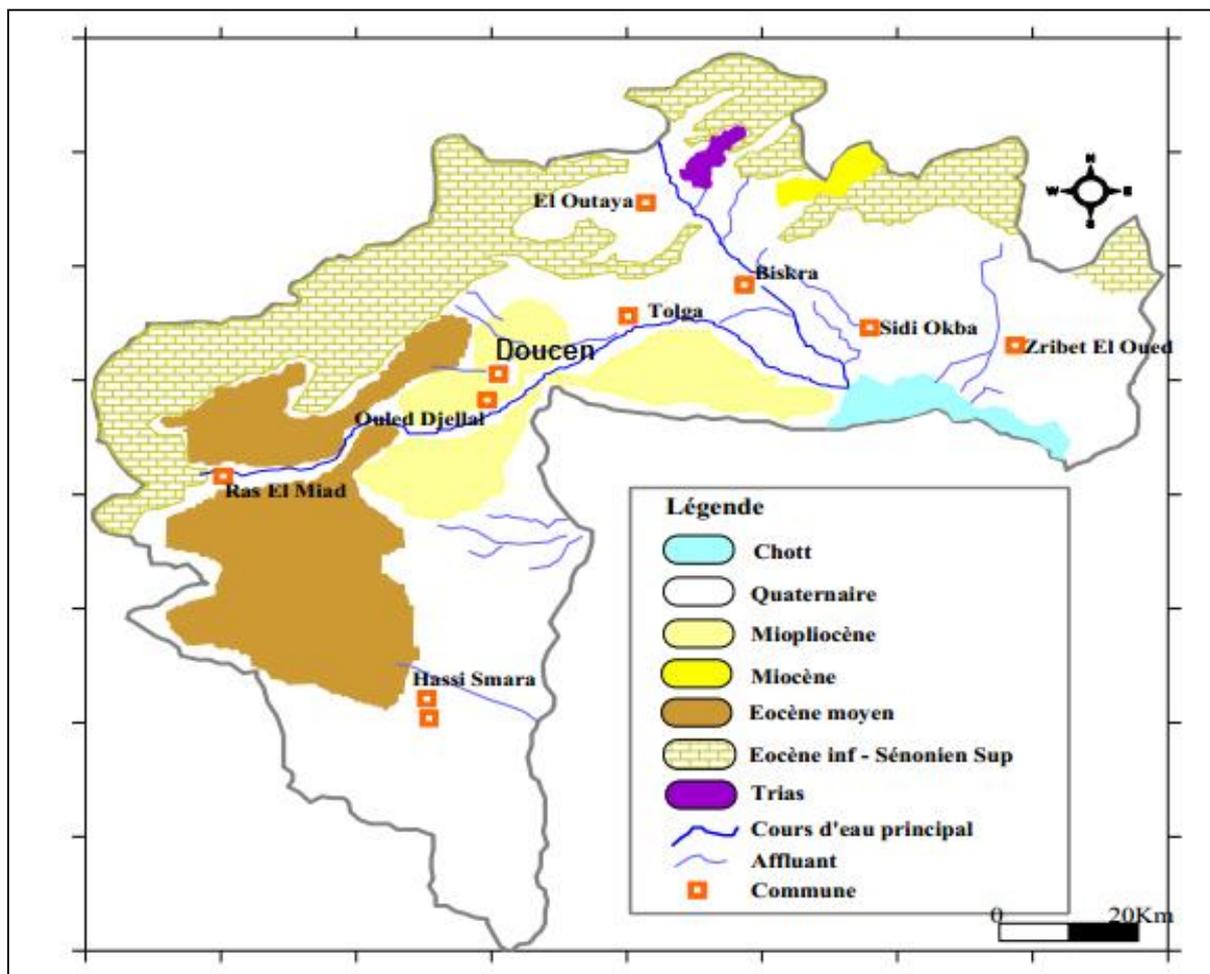


Figure II.03 : Carte d’esquisse géologique de la wilaya de Biskra

### II.3.2 Relief et Pente :

Doucen est située au piémont sud de la chaîne montagneuse d’Atlas saharien, qui limite le nord de la commune par une zone montagneuse avec relief parfois assez accidenté et d’accès difficile et une zone légèrement inclinée de son relief, faisant d’elle une cuvette au sud.

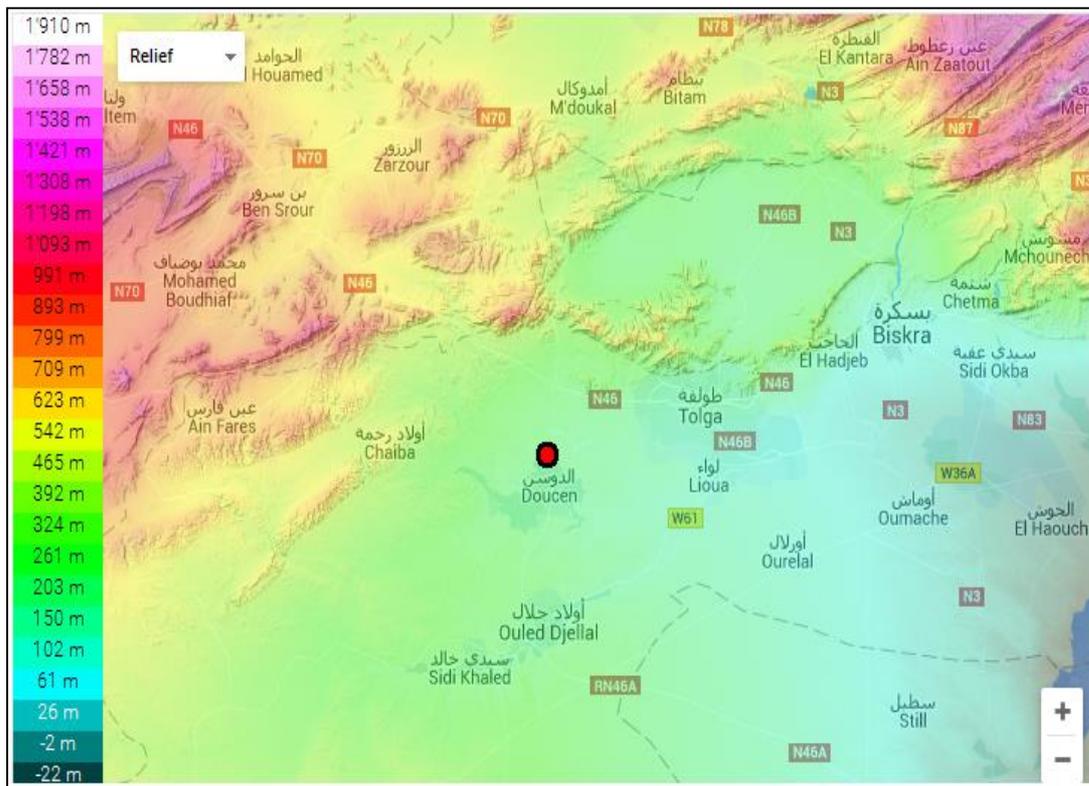


Figure II.04 : Plan de relief de la Zone d’étude

### II.3.3 Végétation :

Doucen, du sud Située à 80 km à l’ouest du chef-lieu de wilaya, la commune de Doucen tire son nom du berbère qui veut dire le bas-côté, d’où, en effet, la position légèrement inclinée de son relief, faisant d’elle une cuvette riche en vergers et produits maraîchers. Elle a le statut de commune depuis l’époque coloniale (1958). Avec ses 629,4 km<sup>2</sup>, Doucen possède plus de 70% de terres fertiles, ce qui lui confère la réputation d’être la Mitidja du Sud. Les fruits et légumes bio jouissent d’un label qui a dépassé les frontières de la wilaya, en atteste la noria des camions venant des régions du nord du pays, même si ces dernières années sont marquées par une légère régression de la production agricole.

- 49 000 palmiers dattiers.
- 130 000 plants
- 80 000 petits palmiers.
- 18 000 arbres fruitiers

**Tableau.II. 1 : Répartitions des terrains de Doucen**

Terrains	Totale superficie (ha)	Totale superficie agricole (ha)	Superficie irriguée (ha)	Parcours (ha)	Superficie non culturale (ha)	Superficie utilisée l'agricole (ha)	Forêt (ha)
Doucen	62.160	7.512	6.718	38.585	240	46.339	00

(Source : DSA, 2009)

**II.4 Situation climatologique :**

Les conditions climatiques de la région d'étude sont prédéterminées par la situation géographique de cette zone .notamment ce qu'elle se trouve à la limite des monts sur l'atlas de sud et du Sahara, Par la nature de circulation de l'air et par le relief environnant.

Les conditions climatiques se forment sous l'influence des masses continentales de l'air du Sahara ou le climat est sec et chaud et des masses de l'air provenant de la Méditerranée ou le climat est plus tempéré et plus humide.

Les caractéristiques des facteurs climatiques principaux sont données sur la base des observations faites sur le réseau des stations météorologiques qui se trouvent dans la région étudiée ou à proximité de celle-ci, et qui possèdent de données les plus représentatives.

La description plus détaillée des caractéristiques météorologiques est ci-dessous.

**II.4.1 Température de l'air :**

Le climat de la région étudiée est caractérisé par l'été sec et chaud et l'hiver relativement doux. La température moyenne annuelle de l'air varie de 21°C à 22°C, l'été est très chaud, la température moyenne varie de 29°C à 33°C, les valeurs maximales absolues varient de 46°C à 50°C, celles minimales de 16°C à 21°C. L'hiver est relativement doux. Les températures moyennes mensuelles varient de 11°C à 14°C. Les valeurs absolues maximales sont de 24°C à 28°C , Les valeurs absolues minimales sont de l'ordre de 1°C à 2°C, le mois le plus froid est le janvier ,sa température moyenne varie dans les limites 10°C à 11°C les mois les plus chauds sont juillet et aout , avec les températures moyennes de 32°C à 33°C , les valeurs des températures moyennes et extrémales dans la région concernée par l'étude sont données dans le tableau 3.1 (d'après les donnée de la station météorologique de Biskra ). La valeur moyenne mensuelle de l'humidité relative de l'air varie de 64% à 58% pendant la saison froide et de 50% à 51% pendant la saison chaude de l'année. Donc le climat dans la région étudiée est relativement sec pendant Oct.-Mai et très sec pendant la période du Juin-Sep.

**Tableau II.2** : les valeurs des températures moyennes et extrémales dans la région concernée :

Poste	T (C°)	Mois												années
		sep	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	juin	jui	out	
Biskra	moyenne	26,1	20,5	15,1	09,1	07,1	08,2	16,3	22,5	26,5	28,2	32,2	32,3	20,3
	max absolue	43,5	38,4	29,5	26,5	24,0	28,0	31,3	38,0	40,0	46,0	47,5	49,2	49,2
	min absolue	12,0	8,2	2,0	-1,0	-1,0	0,2	1,0	5,5	8,4	16,4	20,2	19,2	-1,0

#### II.4.2 Evaporation de l'eau :

Pour l'estimation de la valeur de l'évaporation d'eau nous avons utilisé les données du poste de jaugeage Foum elgherza qui se trouve dans la région où les conditions sont pareilles à celles de la zone étudiée.

La valeur moyenne interannuelle de l'évaporation d'eau est admise égale à 2603 mm. le coefficient de variation est admis d'après les données des observations réelles égal à  $C_v = 0.17$ , le coefficient d'asymétrie est  $C_s = 2 C_v$ .

La répartition mensuelle de l'évaporation d'eau est indiquée dans le tableau II.3.

**Tableau II.3** : la répartition mensuelle de l'évaporation d'eau.

Evaporation	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	juin	jui	out	Année
mm	285	175	126	103	97	105	159	203	265	343	380	362	2603
%	11.0	6.7	4.8	4.0	3.7	4.0	6.1	7.8	10.2	13.2	14.6	13.9	100

#### II.4.3 Régime des vents :

La caractéristique du régime des vents est donnée d'après renseignements obtenus à la station météorologique de Biskra où les données des observations sont les plus complètes. Les vents prédominants sur le territoire étudié sont des vents des directions sud-ouest et ouest. La fréquence moyenne interannuelle des vents direction différentes est donnée dans le tableau II.4 :

**Tableau II.4 :** La Fréquence moyenne interannuelle des vents des directions différentes.

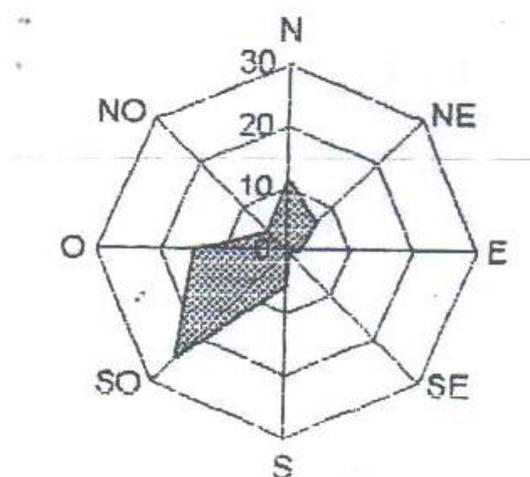
Direction	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Calme
Fréquence %	11,4	6,5	2,0	0,5	5,6	24,7	14,8	4,4	30,1

La vitesse maximale moyenne du vent est 29 m/s, pendant les rafales la vitesse peut atteindre 58m/s.

Les vitesses maximales du vent de différentes probabilités évaluées sur la base du traitement statistique des données des observations sont récapitulées dans le tableau II.5

**Tableau II.5 :** Les vitesses maximales du vent de différentes probabilités.

Probabilité %	50	20	10	4	2
Vitesse du vent m/s	27	37	44	52	58

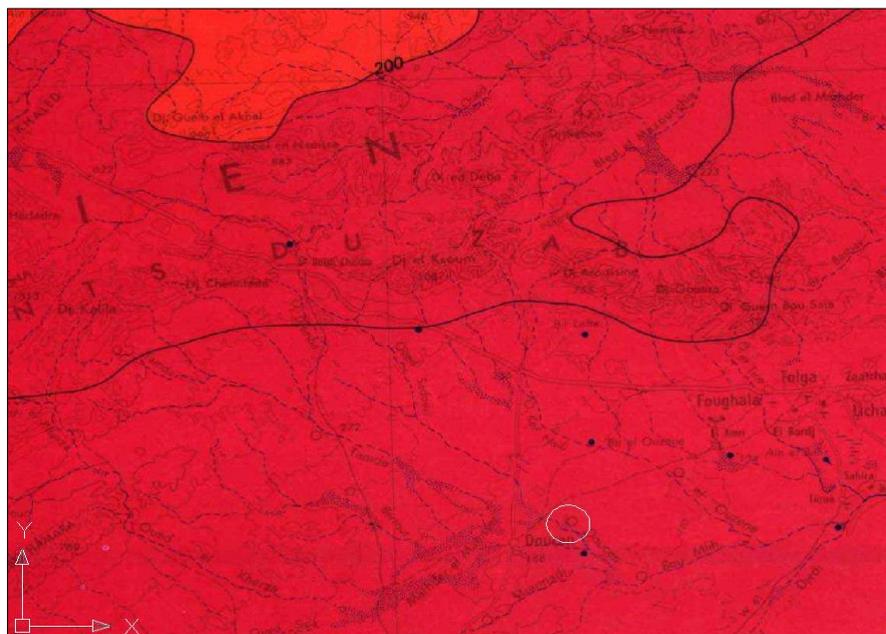
**Figure II.05** direction différentes des ventes

#### II.4.4 Précipitations :

Nous avons utilisé les données recueillies au niveau de station Doucen, elle est fonctionnelle et sont situées au niveau de la zone d'étude.

**Tableau II.6 :** données recueillies au niveau de station Doucen

Station	Code	X	Y	Alt. (m)	Période d'observation.
Doucen	061002	5°06'15"	34°35'57"	180	1974-2012



Figur.II.06 : Carte pluviométrique de l'Algérie du nord 1/500 000

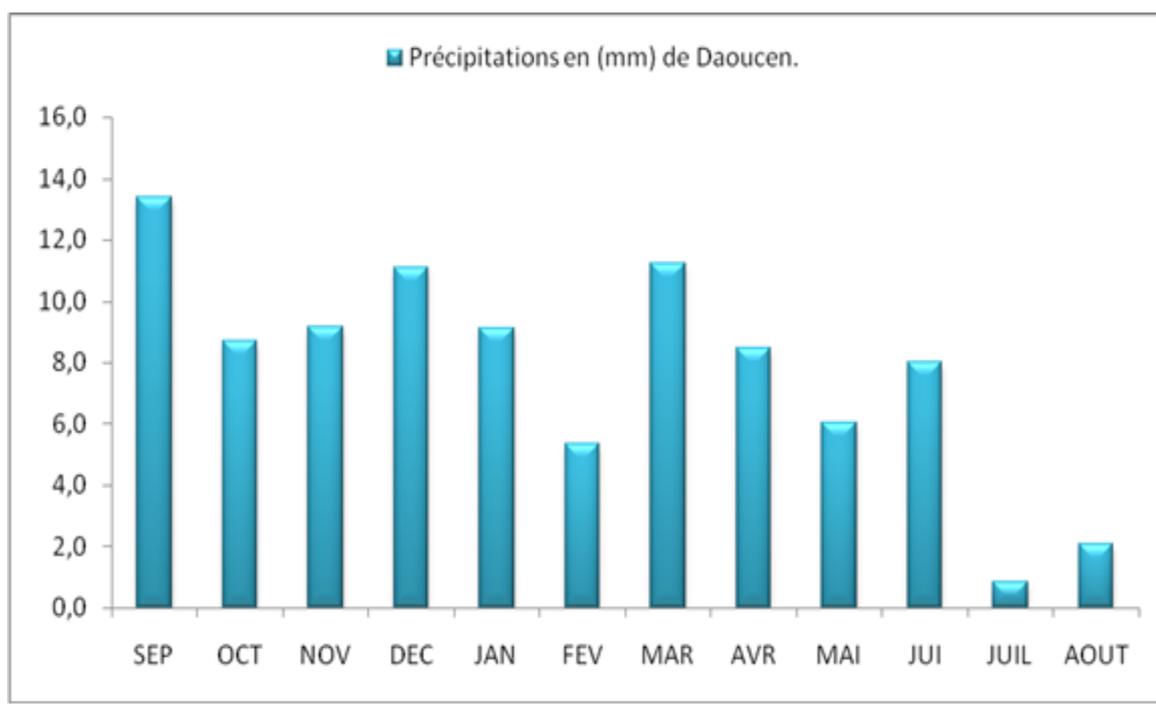


Figure II.07 Précipitations moyennes mensuelles (mm) de Doucen

L'historgramme montre que le mois de Septembre demeure le plus pluvieux, par contre le mois de juillet se révèle le moins arrosé. Notons que le mois de juin, se caractérise par une pluviométrie assez élevée de 8 mm.

## II.5 Historique des Inondations de la Ville de Doucen :

Des fortes pluies enregistrées au niveau des services de l'APC de la ville de Doucen, et plusieurs interventions au niveau des quartiers de la ville :

Les photos suivantes caractérisent une palmeraie sous les eaux, le centre-ville et le marché de Doucen, dévastés par les eaux.



*Figure II.08 Accumulation des eaux dans une palmeraie à Doucen.*



*Figure II.09 Accumulation des eaux dans le centre-ville et au marché de Doucen.  
(Cliché APC Doucen-2009)*



**Figure II.10 :** Dégâts causés par les inondations du 11-12/09/2009 dans la région de Doucen.  
(Cliché APC Doucen-2009)

#### **Dégâts causés par les inondations du 11-12/09/2009**

- 164 maisons inondées et endommagées.
- 9790 palmiers dont la récolte est perdue.
- 744 serres détruites.
- 200 hectares de cultures de plein champ comprises.

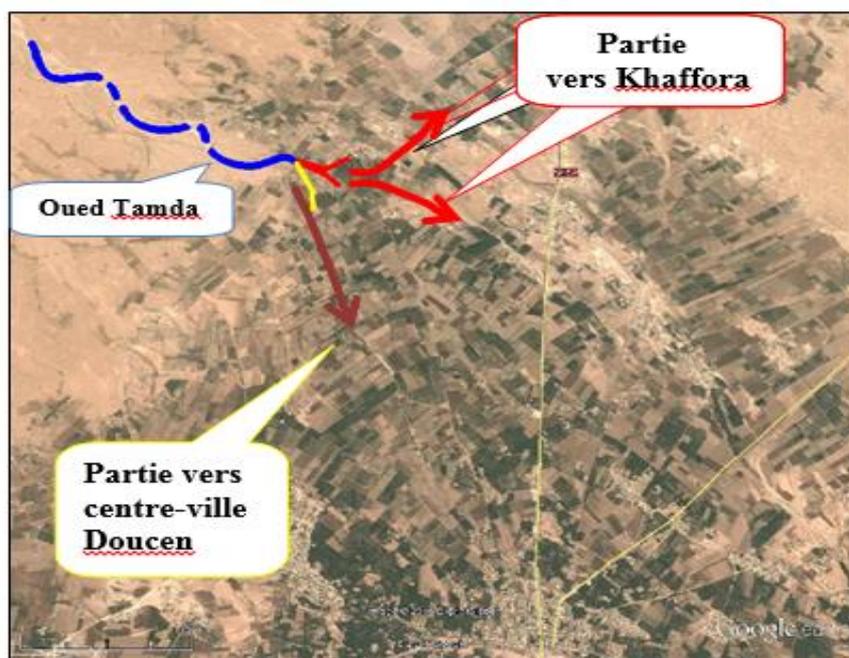
#### **II.6 Diagnostic de l'état actuel, et localisation des zones exposées aux inondations :**

Après la reconnaissance des lieux, pour l'établissement d'un constat sur les dégâts causés par les crues dans la zone d'étude, Nous avons confirmé les faits suivants :

- Le centre-ville de Doucen connaît le phénomène des inondations à cause des eaux pluviales exubérantes qui s'écoulent à partir d'oued Tamda.
- Oued **TAMDA** est commencé au niveau de monts du atlas saharien jusqu'à oued Doucen, l'oued se trouve à l'état naturel en amont de centre Doucen, il est perturbé par des agricultures situées au plein milieu du sens de l'écoulement, en amont de la ville, l'oued est subdivisée en trois parties :

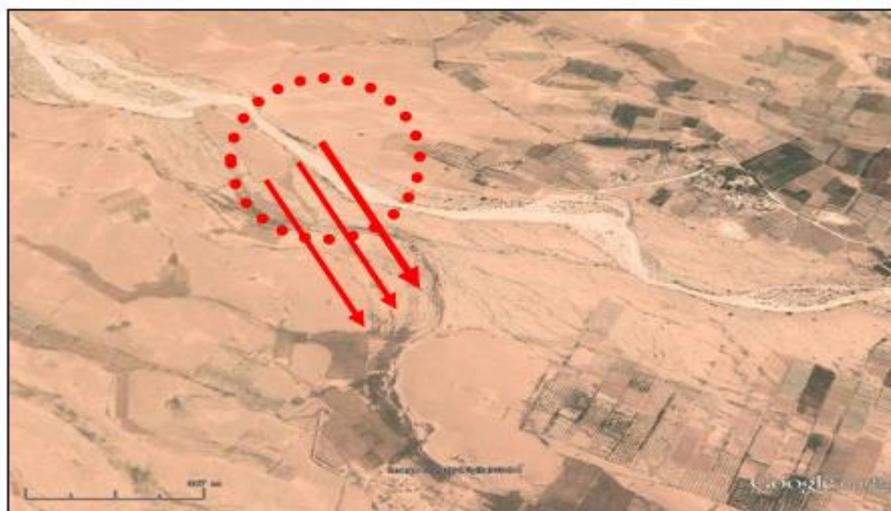
-Deux parties passent au milieu des palmiers de Khafoura

-Partie passe au milieu des agricultures d'El ghamer vers le centre-ville



*Figure II.11 : Vue aérienne de point de ramification d'Oued Tamda*

- Lors des crues, Le débordement des eaux d'Oued Tamda menace les citoyens de la ville de Doucen.



*Figure II.12 : Débordement des eaux d'oued*

### **I.7 Conclusion :**

A travers ce chapitre, nous avons montré les données concernant notre agglomération de point de vue géologique, topographique, géographique, lithologique, climatologique.

# Chapitre III

## Etude hydrologique

**III.1. Introduction :**

L'étude hydrologique pour la réalisation d'un ouvrage hydrotechnique relève d'une importance considérable. Le but est donc de mettre en évidence les paramètres hydrologiques des talwegs qui traversent la ville tels que les débits des crues, les apports de bassin qui constituent la base de dimensionnement des ouvrages constituant l'aménagement.

**III.2. Informations digitales et modèles numériques :**

La demande de données spatiales s'est accrue ces dernières années car l'on sait désormais qu'il est essentiel de connaître la distribution spatiale de la réponse hydrologique pour bien comprendre les processus sous-jacents de la génération de l'écoulement. De plus, la représentation et la connaissance du terrain sont essentielles pour comprendre les processus d'écoulement, d'érosion, de sédimentation, de salinisation et de pollution via des cartes de risque.

Aujourd'hui, le développement de techniques modernes d'acquisition et de mise à disposition d'informations digitales a rendu possible la représentation à la fois de la topographie du milieu par le biais de modèles numériques d'altitude (MNA) et de terrain (MNT) ainsi que la représentation de l'occupation des sols par le biais de photographies aériennes ou de données satellitaires. Ces informations servent de plus en plus à la description des caractéristiques physiques des bassins versants et à la cartographie numérique de leur couverture.

**III.2.1. Généralité sur les MNT et MNA :**

A partir de la densité locale de courbes de niveau ou de traitement stéréoscopique d'images satellitaires, il est possible de produire une spatialisation du milieu (MNA) qui, aboutit à l'élaboration de modèles numériques de terrain (MNT). Ce MNT est une expression numérique de la topographie, sous forme matricielle ou vectorielle. Outre les altitudes (MNA), les fichiers qui le constituent sont les pentes, l'orientation et l'éclairage simulé.

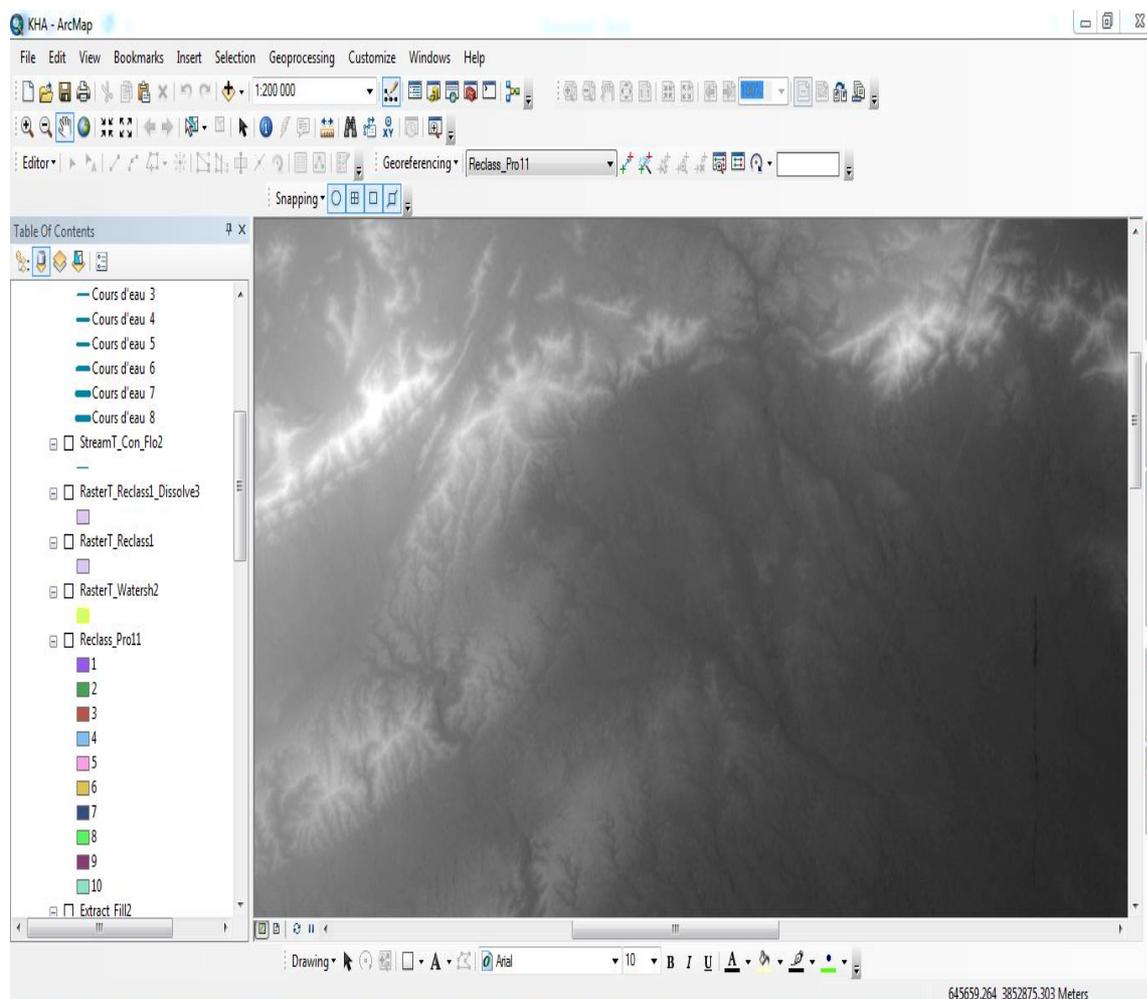
**III.2.3. Présentation du logiciel ArcGIS «Geographic Information System» :**

Depuis longtemps, les hydrologues s'intéressent à la modélisation pour étudier le comportement hydrologique des bassins versants. Dans notre étude, nous allons utiliser le logiciel arcGIS «Geographic Information System», qui est développé la société américaine ESRI (Environmental Systems Research Institute).

ArcGIS inclus des outils puissants pour automatiser les processus de la modélisation et la prédiction du comportement hydrologique, tel que la délimitation automatisée du bassin versant, les calculs des paramètres géométriques.....

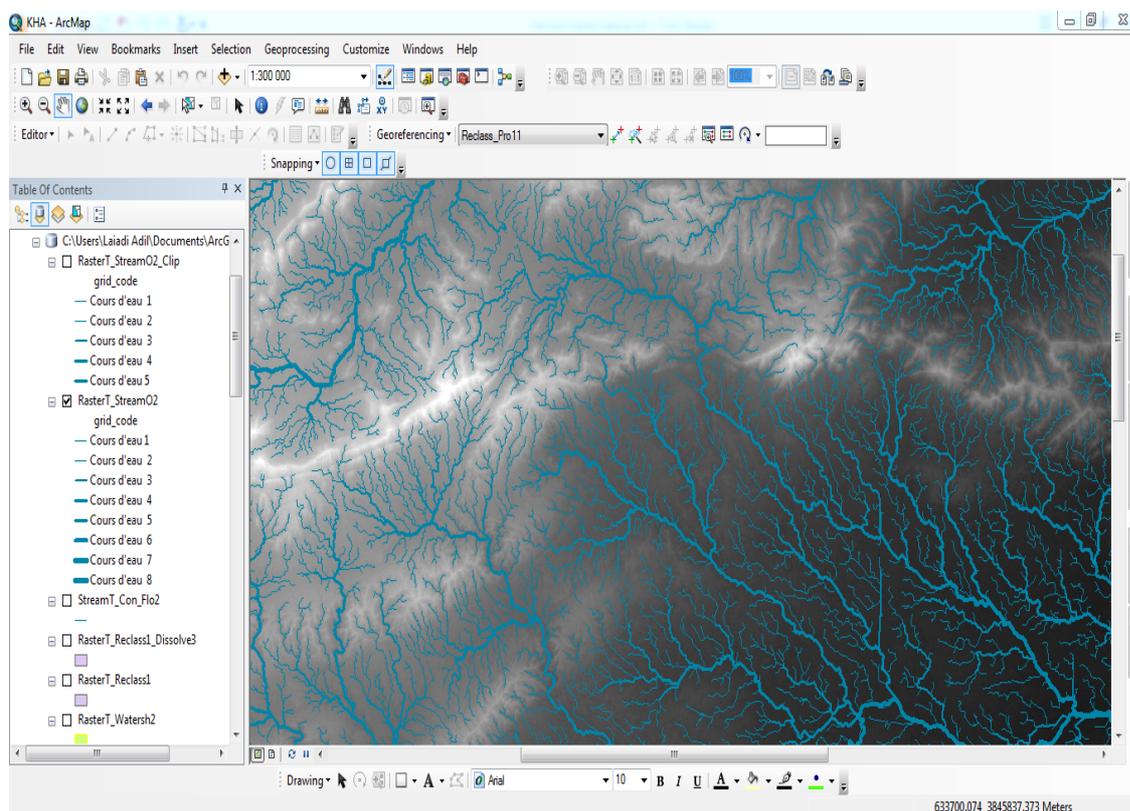
➤ **Pour notre MNA :**

Notre MNA est téléchargé à partir du net à l'aide de logiciel Global mapper v16. Sous un fichier DEM (Digital Elévation Model).

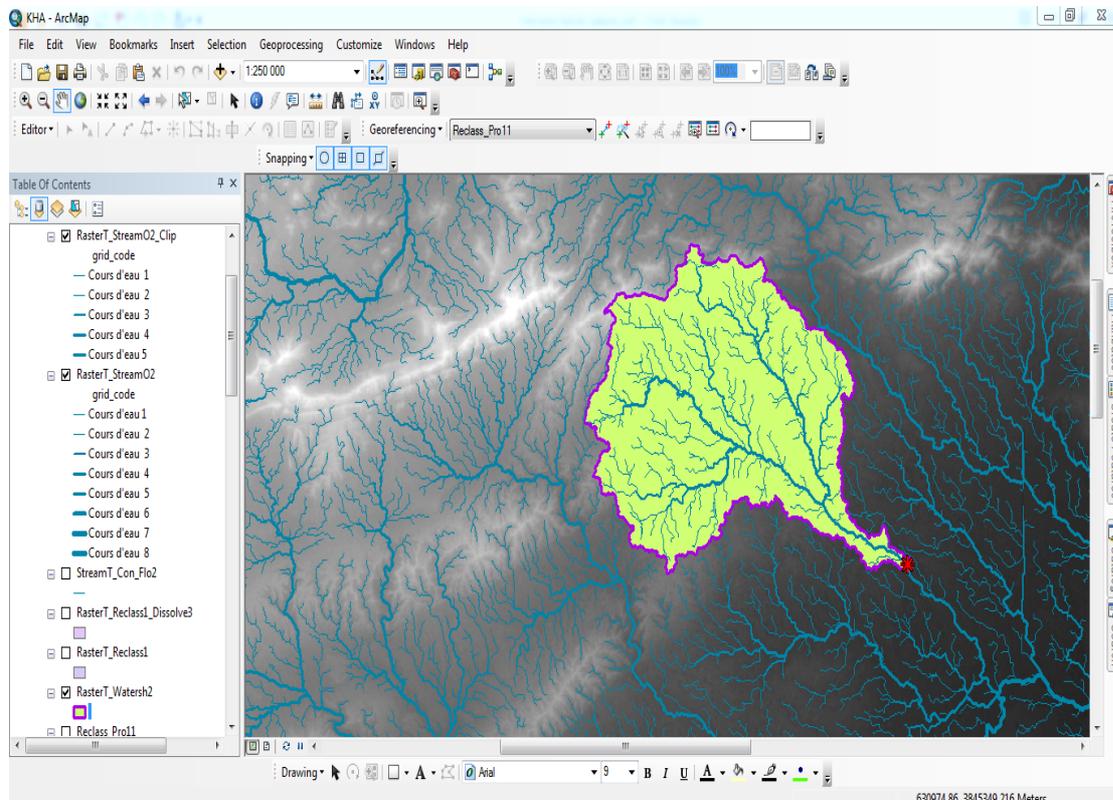


**Figure III.01:** Photo du logiciel ArcGIS pour le MNA (Modèle Numérique d'Altitude) de la zone étude.

En utilisant des données numériques de terrain (MNA : Modèle Numérique d'Altitude), ArcGIS automatiquement peut délimiter le bassin versant. Dans le cadre de processus de la délimitation, ArcGIS donne les données du bassin tel que : la surface, la pente, l'altitude moyenne, longueur de talweg principal....



**Figure III.02 :** Photo du logiciel ArcGIS pour le Réseau hydrographique de la zone étude.



**Figure III.03 :** Photo du logiciel ArcGIS pour délimitation de Bassin Versant de la zone étude.

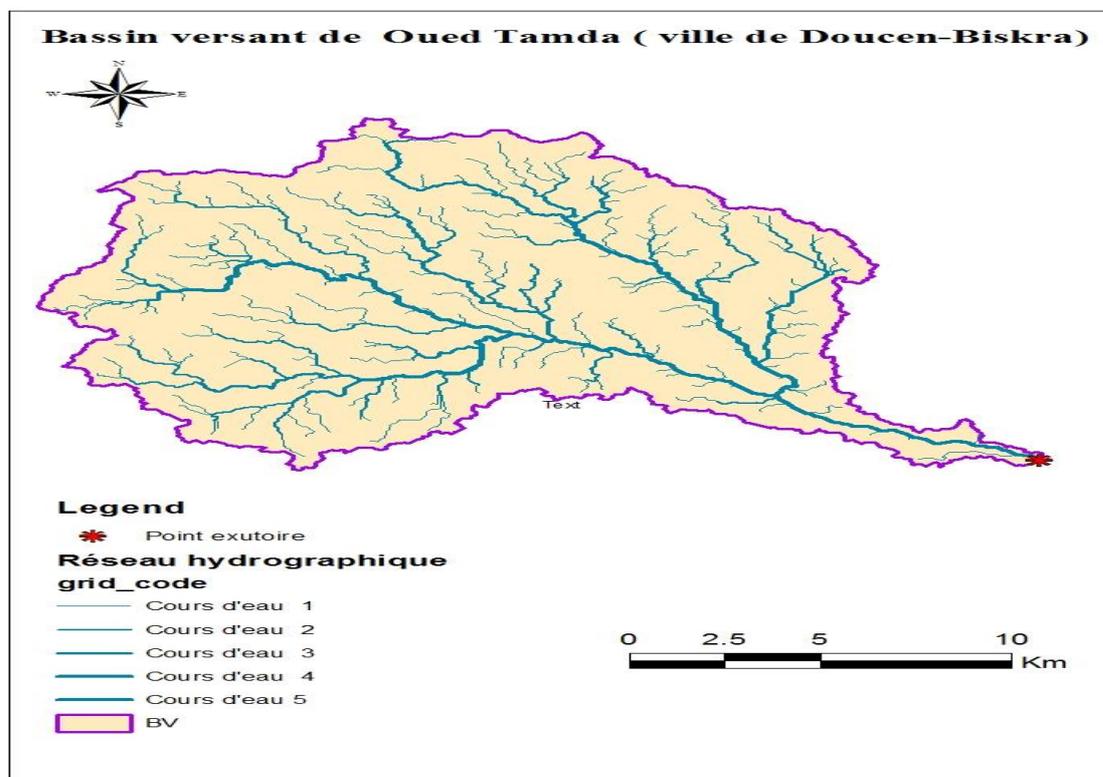
### III.3. Le bassin versant et son complexe :

#### III.3.1 Définition d'un bassin versant

Le bassin versant ou d'alimentation au droit d'une section de mesure. Est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de cette section. Tous les écoulements qui prennent naissance à l'intérieur de cette surface topographique passe obligatoirement par la section de mesure pour poursuivre leur trajet (Bénina 2004).

Chaque bassin versant est séparé des autres par une ligne de partage des eaux. Cette limite est déterminée sur la carte topographique. En commençant par l'exutoire, on trace à main levée des segments perpendiculairement aux courbes de niveau en passant par les crêtes, aboutissant automatiquement à l'exutoire.

Les différents paramètres morpho-métriques de bassin notamment, la forme, l'altitude caractéristique, la pente et le relief, interviennent et souvent d'une façon combinée dans les modalités de l'écoulement, donc il convient de les préciser dès le début dans toute l'étude. Les différents paramètres morpho-métriques de bassin versant de la ville de Doucen-Biskra (Oued Tamda), (Figure III.01) sont calculés à partir de MNA et de logiciel ArcGIS, ils sont regroupés dans le tableau. (Tableau III.1).



*Figure III.04 : Bassin versant de la zone d'étude*

**III.3.1.1 La surface :**

La surface topographique est le paramètre le plus important, il permet de contrôler l'intensité de plusieurs phénomènes hydrologique (apport ; volume de précipitation ou infiltration), elle est déterminée par le logiciel ArcGIS sur le MNT de notre site d'étude.

$$S = 289.6 \text{ Km}^2$$

**II.3.1.3 Le périmètre :**

Le périmètre correspond à la longueur de la limite extérieure du bassin. Chaque bassin versant réagit d'une façon propre aux précipitations qu'il reçoit. Ces caractéristiques hydrologiques sont fonction d'une part du climat qu'il subit et d'autre part de son propre milieu physique

$$P = 109.62 \text{ Km}$$

Les résultats des paramètres morpho-métriques sont remportés dans le tableau suivant :

**Tableau III.1 : paramètres morpho-métriques du Bassin versant**

Oued	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Périmètre (Km)	Longueur du thalweg principal (Km)	Altitudes caractéristiques	
				H max (m)	H min (m)
<b>OUED TAMDA</b>	289.60	109.62	30.6	1002	227

**III.3.1.4 Indice de compacité de Gravelius**

Indice de Gravelius « K<sub>c</sub> » appelé aussi indice de forme, cet indice caractérise la forme du bassin, et exprime l'allongement de bassins versant<.

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

(III.01)

Avec :

-P : périmètre du bassin versant (km).

-A : surface du bassin versant (km<sup>2</sup>).

$$K_c = 1.8$$

$K_c = 1.8 > 1$  alors le bassin versant est de forme allongée

### III.3.1.5 Rectangle équivalent

C'est une transformation purement géométrique en un rectangle de dimensions (L, l) ayant la même surface que celle du bassin. Le rectangle équivalent est caractérisé par la longueur « L » et la largeur « l » définies respectivement par les formules suivantes :

- La longueur du rectangle équivalent :

$$L = \frac{Kc\sqrt{S}}{1,12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right] \quad (\text{III.02})$$

$$L = 48.44 \text{ km}$$

- La largeur du rectangle équivalent :

$$l = \frac{K_G \cdot \sqrt{A}}{1,128} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{K_G} \right)^2} \right) \quad (\text{III.03})$$

$$l = 5.97 \text{ km}$$

### III.3.2 Relief

Le relief a une influence remarquable sur l'écoulement, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief se détermine au moyen d'indices et des courbes. La figure (III.05) représente le relief de la zone d'étude.

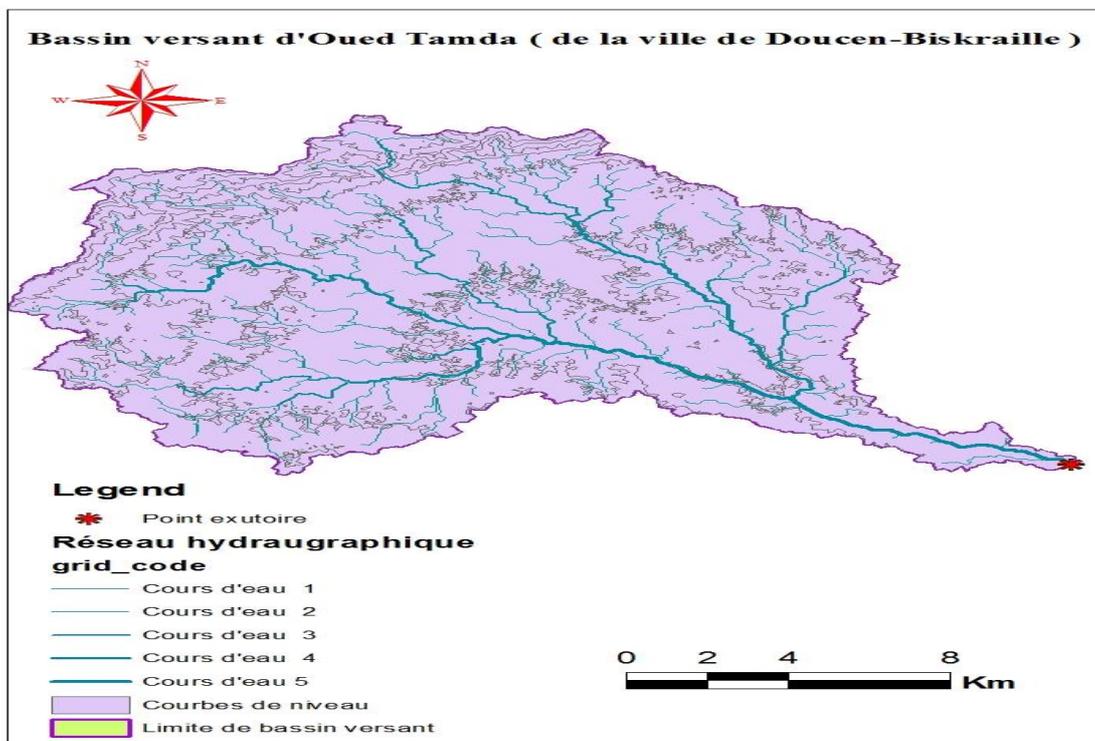


Figure III.05 : Courbes de niveau du bassin versant (relief)

### III.3.2.1 Répartitions et courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique est l'un des paramètres les plus essentiels dans l'étude du relief elle fournit une vue synthétique de la pente. Elle représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface ou le pourcentage de surface du bassin qui se trouve au-dessus de l'altitude représentée en ordonnée (tableau III.2). Elle exprime la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie au-delà d'une certaine altitude. (TALATIZI.A.2014)

a) Les résultats des surfaces partielles du bassin par tranche d'altitudes :

**Tableau III.2:** surfaces partielles du bassin versant par tranche d'altitude

Classes d'altitude (m)	Dénivelée AH(m)	centre de classe 'Hi	surfaces partielles Si (Km2)	Surfaces partielles (%)	Surfaces cumulée (%)	Hi*Si (m*Km2)
227-300	73	263.5	14.477	4.99884326	100.00	3814.69
300-375	75	337.5	74.986	25.89232995	95.00	25307.78
375-450	75	412.5	99.268	34.2767958	69.11	40948.05
450-525	75	487.5	47.821	16.51237712	34.83	23312.74
525-600	75	562.5	23.871	8.242549386	18.32	13427.44
600-675	75	637.5	14.034	4.845877344	10.08	8946.68
675-750	75	712.5	7.573	2.614922982	5.23	5395.76
750-825	75	787.5	4.112	1.419855183	2.62	3238.20
825-900	75	862.5	2.385	0.823529818	1.20	2057.06
900-1002	102	952	1.08	0.372919163	0.37	1028.16
<b>Somme</b>			<b>289.607</b>	<b>100</b>		<b>127476.55</b>

b) Le courbe hypsométrique a représentée par la figure suivant :

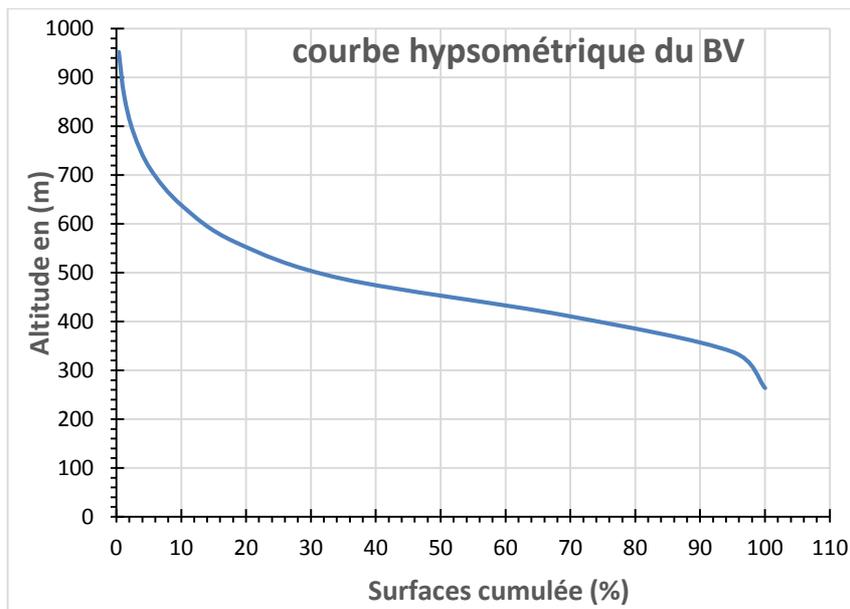


Figure III.06 : Courbe hypsométrique de bassin versant

### III.3.2.2 Caractéristiques des altitudes :

Elles sont obtenues directement à partir de logiciel ArcGIS.

- L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale est le point le plus bas, généralement à l'exutoire.
- L'altitude médiane ou  $H_{50\%}$  est déterminée sur la courbe hypsométrique.
- L'altitude moyenne  $H_{moy}$  est calculée par la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{\sum H_i * S_i}{S_t} \quad (III.04)$$

$$H_i = \frac{H_{i+n} + H_n}{2} \quad (III.05)$$

Avec :

- $H_i$  : Altitude moyenne ente deux courbes de niveaux consécutives en m.
- $S_i$  : surface partielle comprise entre deux courbes de niveaux consécutives en Km<sup>2</sup>.
- $S$  : surface totale du bassin versant en Km<sup>2</sup>.

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.3: Caractéristiques des altitudes.

Les altitudes caractéristiques	Les valeurs correspondantes en m
Altitude maximale	1002
Altitude minimale	227

<b>Altitude médiane</b>	455
<b>Altitude moyenne</b>	440.17

### III.3.2.3 Les indice de pente :

#### III.3.2.3.1 Pente moyenne de bassins versant $I_m$ :

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle est considérée comme une variable indépendante. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct (donc sur le temps de concentration  $T_c$ ) et influe directement sur le débit de pointe lors d'une averse (TOUAIBIA.B.2004).

Elle est donnée par la formule suivante :

$$I_m = \frac{[0.5.l_1 + l_2 \dots + 0.5l_n]}{S} \quad (\text{III.06})$$

-directement de logiciel **ArcGIS**.  $I_m = 0.134^\circ$

- $\Delta H$  : Dénivelée (m)

-  $l$  : longueur de la courbe de niveau d'ordre 1,2, .....n (m)

-S : surface du bassin versant ( $\text{Km}^2$ )

#### III.3.2.3.2. Indice de pente globale $I_g$ :

Cet indice permet de déduire la nature du relief en se référant à la classification de L'O.R.S.T.O.M (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre - Mer). Il est défini comme étant le rapport de l'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface du bassin et la longueur du rectangle équivalent. On prend deux points  $S_1$ , est  $S_2$  sur l'axe de l'abscisse telle que 95% de la surface du bassin soit comprise entre ces deux valeurs et que 5% de la surface totale du bassin soit inférieure à  $S_1$  et 5% soit supérieure à  $S_2$  (Bénina 2004).

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

$$I_g = \frac{D}{L_{eq}} \quad (\text{III.07})$$

Avec :

-D : dénivelée entre  $H_{95\%}$  et  $H_{5\%}$  en (m)

- $L_{eq}$  : longueur du rectangle équivalent en Km.

-H95% et H5% : sont respectivement les altitudes correspondantes à S95% et S5%.

-Les résultats du calcul sont dans le tableau III.4

**Tableau III.4 : Indice de pente global**

H5% (m)	H95% (m)	H5%- H95%	L <sub>eq</sub> (Km)	I <sub>g</sub> (m/m)	classification
720	340	380	48.44	0.0078	Relief assez faible

**Tableau III.5: classifications O.R.S.T.O.M.** (Bénina 2004).

1	relief très faible	I <sub>g</sub> <0.002
2	relief faible	0.002< I <sub>g</sub> <0.005
3	relief assez faible	0.005< I <sub>g</sub> <0.01
4	relief modéré	0.01< I <sub>g</sub> <0.02
5	relief assez fort	0.02< I <sub>g</sub> <0.05
6	relief fort	0.05< I <sub>g</sub> <0.1
7	relief très fort	0.1< I

Cela n'implique que le relief du bassin versant, est un relief assez faible (0.005< I<sub>g</sub> <0.01– selon O.R.S.T.O.M) (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre - Mer). Cet indice de pente global sert aussi à classer le relief d'un bassin, mais pour permettre une comparaison plus efficace et plus poussée du bassin, du point de vue relief. Il convient de calculer la dénivelée spécifique.

### III.3.2.3.3. Dénivelée spécifique D<sub>s</sub> :

Puisque l'indice de pente globale décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente. La dénivelée spécifique D<sub>s</sub> ne présente pas cet inconvénient (Bénina 2004).

La dénivelée spécifique est définie par la formule suivante :

$$D_s = I_g * \sqrt{S} \quad (\text{III.08})$$

$$D_s = 132.73 \text{ m}$$

Avec :

- I<sub>g</sub> : Indice de pente globale ; (m/m)
- S : superficie du bassin versant ;(km<sup>2</sup>)
- D<sub>s</sub> : Dénivelée spécifique (m)

**Tableau III.6: classifications O.R.S.T.O.M**(Bénina 2004).

R1	Relief très faible	D <sub>s</sub> <10m
----	--------------------	---------------------

R2	Relief faible	10m<Ds<25m
R3	Relief assez faible	25m<Ds<50m
R4	Relief modéré	50m<Ds<100m
R5	Relief assez fort	100m<Ds<250m
R6	Relief fort	250m<Ds<500m
R7	Relief très fort	Ds>500m

Cela n'implique que le relief du bassin versant ; est un **Relief assez fort** 100m<DS<250m (selon O.R.S.T.O.M).

### III.3.3. Caractéristiques hydrographiques du bassin versant :

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrographique est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du bassin ; Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes. (Touaibia.B.2004)

#### III.3.3.1. La densité de drainage :

La densité de drainage, est définie comme étant le rapport de la longueur totale de tous les talwegs  $L_i$  du bassin, et la surface totale  $S$ . Elle reflète la dynamique du bassin, la stabilité du chevelu hydrographique et le type de ruissellement de surface. Elle est exprimée en  $Km / Km^2$ . (Touaibia.B.2004)

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S} \quad (III.09)$$

$$D_d = 1.32 \text{ Km}^{-1}$$

Avec :

- $D_d$  : densité de drainage [ $km/km^2$ ] ;
- $L_i$  : Somme des longueurs de tous les thalwegs y compris le thalweg principal [ $km$ ] ;
- $S$  : superficie du bassin versant [ $km^2$ ];

#### III.3.3.2. La pente moyenne du cours d'eau principale :

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

Le calcul des pentes moyennes et partielles de cours d'eau s'effectue à partir du profil longitudinal du cours d'eau principal et de ses affluents. La méthode la plus fréquemment utilisée pour calculer la pente longitudinale du cours d'eau consiste à diviser la valeur de différence d'altitude entre les points extrêmes du profil par la longueur totale du cours d'eau (Touaibia.B.2004).

$$I_{moy} = \frac{D}{L} \quad (III.10)$$

$$I_{moy} = 0.042^\circ = 4.2 \%$$

Avec :

- $I_{moy}$  : Pente moyenne du cours d'eau principal %
- $D$  : Dénivelée entre  $H_{max}$  et  $H_{min}$  (m).
- $L$  : Longueur du cours d'eau principal (Km).

**Tableau III.7 : Pente moyenne du cours d'eau principal**

$H_{max}$ (m)	$H_{min}$ (m)	$D$ (m)	$L$ (km)	$I_{moy}$ (%)
1002	227	775	30.6.	4.2

### III.3.3.3. Le temps de concentration :

Le temps de concentration  $t_c$  des eaux pour un bassin se définit comme la plus grande durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier, Il est composé de trois termes différents :

$t_h$  : Temps d'humectation c'est le temps nécessaire à l'imbibition du sol par l'eau qui tombe avant qu'elle ne ruisselle.

$t_r$  : Temps de ruissellement ou d'écoulement, c'est le temps qui correspond à la durée d'écoulement de l'eau à la surface ou dans les premiers horizons de sol jusqu'à un système de collecte (cours d'eau naturel, collecteur).

$t_a$  : Temps d'acheminement c'est le temps mis par l'eau pour se déplacer dans le système de collecte jusqu'à l'exutoire

Le temps de concentration  $t_c$  est donc égal au maximum de la somme de ces trois termes, soit :

$$T_c = \max (\Sigma (T_h + T_r + T_a )) \quad (\text{III.11})$$

Théoriquement, on estime que  $t_c$  est la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement. Pratiquement le temps de concentration peut être déduit des mesures sur le terrain ou s'estimer à l'aide des formules le plus souvent empiriques (Bénina 2004).

- **Formule de GIANDOTTI :**

$$T_c = \frac{1.5L + 4\sqrt{S}}{0.8\sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}} \quad (\text{III.12})$$

-S : Surface du bassin versant en [Km<sup>2</sup>] ;

-L : longueur du talweg principal en [Km];

-H<sub>moy</sub>, H<sub>min</sub> : respectivement la hauteur moyenne et minimale du B.V en [m]

- **Formule de CALIFORNIA:**

$$T_c = \left( \frac{0.87 \cdot L^3}{H_{\text{max}} - H_{\text{min}}} \right)^{0,386} \quad (\text{III.13})$$

-L : longueur du talweg principal en [Km];

-H<sub>max</sub>, H<sub>min</sub> : respectivement la hauteur maximale et minimale du B.V en [m] ;

- **Formule de Témez:**

$$T_c = 0.3 \left[ \frac{L}{I_r^{1/4}} \right]^{0.76} \quad (\text{III.14})$$

-T<sub>c</sub> : temps de concentration en heures.

-L : Longueur de talwegs principale. (Km)

-I<sub>r</sub> : La pente moyenne de talwegs principale. (m/m)

Les résultats des différentes méthodes sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau III.8:** Temps de concentration pour les différents auteurs.

Auteurs	Temps de concentration(h)
Formule de GIANDOTTI	9.75
Formule de CALIFORNIA	3.81
Formule de Témez	15.41

Parmi les résultats obtenus dans le tableau III.7 nous optons pour le résultat issu de loi de **Giandotti** car c'est la formule qui tient compte de la majorité des paramètres géomorphologiques du bassin versant. ( $T_c = 9.75$  h).

### III.3.3.4. Vitesse moyenne de ruissellement :

Cette vitesse est donnée par la formule :

$$V_r = \frac{L}{T_c} \quad (\text{III.15})$$

$$V_R = 3.13 \text{ km/h}$$

-L : Longueur de talweg principal en [Km];

- $T_c$  : temps de concentration en [heure] ;

Le tableau III.8 résume les caractéristiques du bassin versant et du cours d'eau.

**Tableau III.9 : Caractéristiques du bassin versant**

Caractéristiques du bassin versant	
<b>1. Morphométrie</b>	
Surface (Km <sup>2</sup> )	289.6
Périmètre (Km)	109.62
Longueur du rectangle (km)	48.44
Largeur du rectangle (km)	5.97
Indice de Gravelius	1.8
<b>2. Relief</b>	
Altitude maximale (m)	1002
Altitude moyenne (m)	440.17
Altitude minimale (m)	227
Altitude médiane (m)	455
Indice de pente globale (%)	0.78
Dénivelé spécifique (m)	132.37
Pente moyenne du bassin versant (%)	13.4
<b>3. Réseau hydrographique</b>	
Ordre du cours d'eau	5
Densité de drainage (Km <sup>-1</sup> )	1.32
Pente moyenne du cours d'eau principale (m/Km)	4.2
Temps de concentration (h)	9.75
Vitesse de ruissellement (Km/h)	3.13

### III.4. Analyse des données pluviométriques :

En général, l'analyse des données pluviométriques disponibles est le premier pas à franchir dans l'étude d'un projet d'aménagement. Pour cela on a besoin d'une série pluviométrique qui comporte les précipitations maximales journalières pour la période la plus longue possible.

Avant l'évaluation des précipitations sur le bassin versant, nous avons analysé les données disponibles à la station pluviométrique de DOUCEN.

La station disponible sur le site est donnée dans le tableau III.9 suivant :

**Tableau III.10 :** Station pluviométrique de DOUCEN (coordonnées Lambert) (ANRH)

Code	Source	Coordonnée			Année	N	Pluie moyenne annuel (mm)
		X (Km)	Y (Km)	Z (m)			
061206	ANRH	721	149	180	1973-2012	39	92.3

#### III.4.1 Précipitation maximales journalières

L'étude consiste à faire un ajustement pour la série de données des précipitations maximales journalières du tableau III.11 par une loi théorique afin de déterminer une intensité de pluie de durée et de période de retour donnée.

**Tableau III.11 :** Séries des Pluies Maximales Journalières (1971-2011) à la station de DOUCEN (ANRH)

Année	Pmax.j	Année	Pmax.j	Année	Pmax.j	Année	Pmax.j
1973	33.8	1983	2.0	1993	27.9	2003	78.4
1974	7.1	1984	20.4	1994	86.0	2004	27.6
1975	42.1	1985	20.5	1995	54.7	2005	57.0
1976	26.4	1986	23.5	1996	61.2	2006	32.1
1977	9.2	1987	109.0	1997	37.4	2007	28.2
1978	26.0	1988	12.5	1998	71.0	2008	53.6
1979	24.5	1989	36.1	1999	45.2	2009	60.3
1980	24.5	1990	36.9	2000	3.6	2010	57.2
1981	35.3	1991	6.5	2001	11.5	2011	72.6
1982	76.5	1992	17.0	2002	13.3		

Dans notre étude on suit les étapes suivantes :

- Classer la série des précipitations par ordre croissant.
- Calcule de la fréquence expérimentale.
- Calcule des caractéristiques empiriques de la série de donnée.
- Ajuster graphiquement la loi choisie.

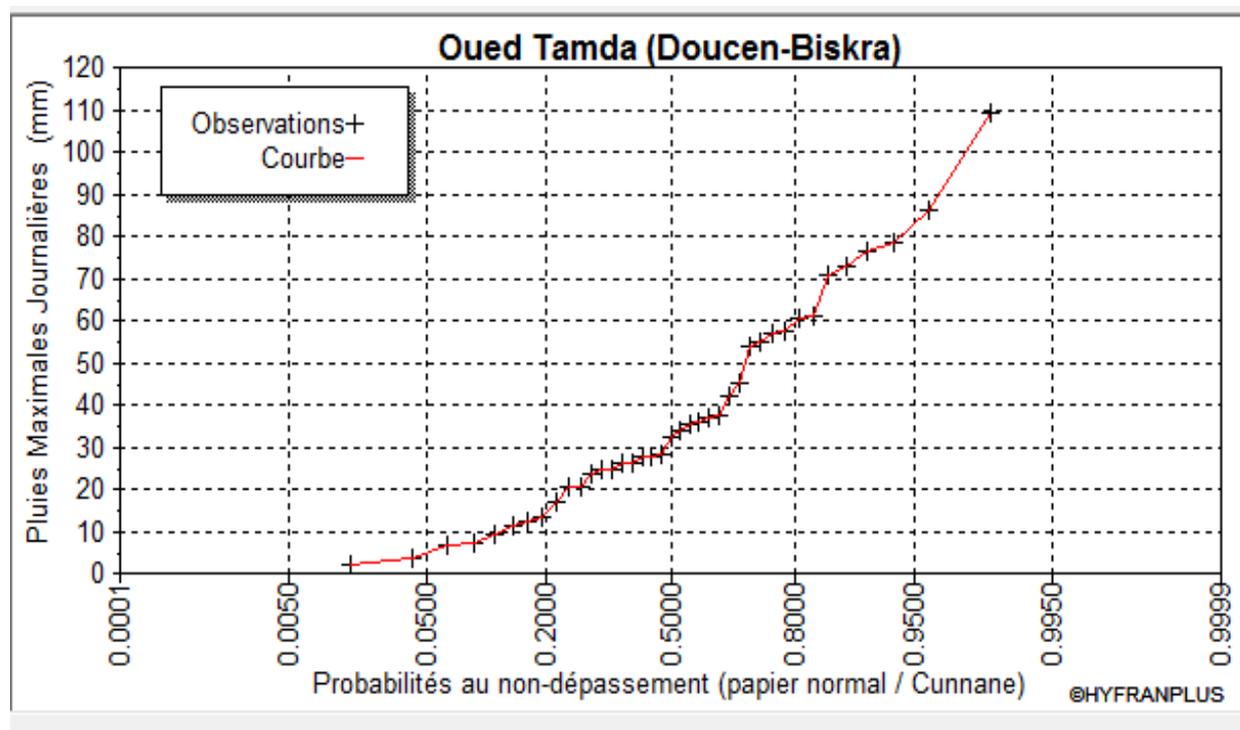
- Calculer le quantile et son intervalle de confiance.

Les caractéristiques empiriques de la série de donnée ont été obtenues par le logiciel **HYFRAN** et sont représentées dans le tableau III.12 suivant :

**Tableau III.12** : Caractéristique de la série de donnée avec N = 39 ans

Caractéristiques	Valeurs
Année d'observation	39
Minimum	2
Maximum	109
Moyenne	37.7
Ecart-type	25.4
Médiane	32.1
Coefficient de variation ( $C_v$ )	0.676
Coefficient d'asymétrie ( $C_s$ )	0.815
Coefficient d'aplatissement ( $C_k$ )	2.90
L'exposant climatique (e)	0.3

La représentation des observations sur du papier normale e leurs histogramme sont présentées dans les figures III.7 et III.8 respectivement :



**Figure III.07** : Représentation des observations sur papier normale

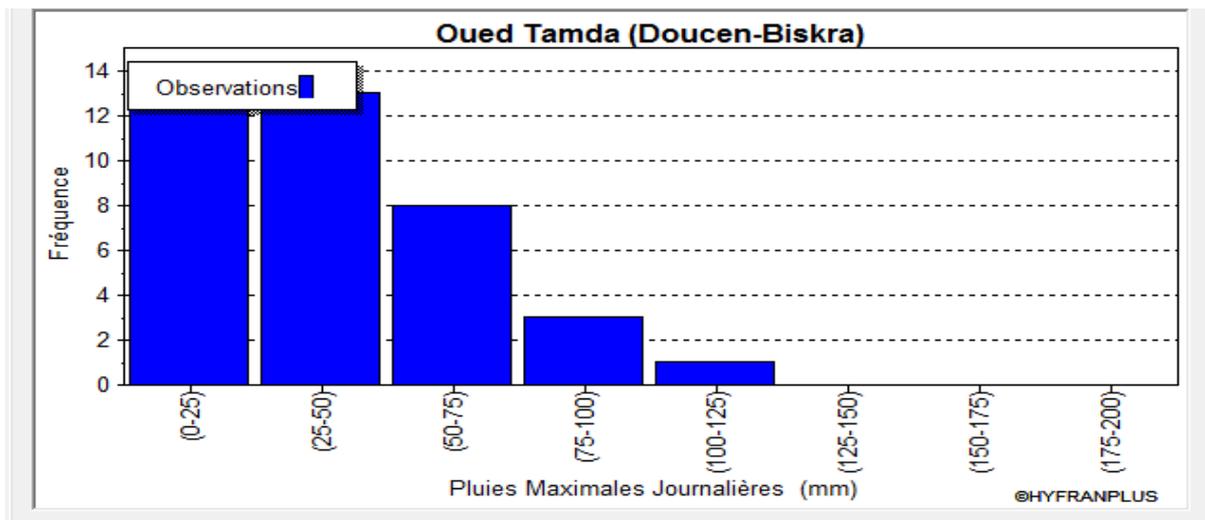


Figure III.08 : Histogramme des observations

### III.4.2.Choix de la loi d'ajustement :

Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométrique, l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de la loi de probabilité, de la taille de l'échantillon et de certaines caractéristiques de l'échantillon. Toutefois, de nombreuses études, autant empiriques que théoriques, ont été menées afin de déterminer dans quelles circonstances une méthode d'estimation la plus efficace pour une loi donnée (Allouache.A.2014).

Dans notre étude on va appliquer les deux lois suivant :

- 1) - La loi de GUMBEL.
- 2) - La loi de GALTON (log-normale).

L'ajustement des pluies maximales journalières sera fait par logiciel « HYFRAN ».

#### III.4.2.1.Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL :

Cette loi a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F(x) = f(y) = e^{-e^{-y}} \quad (\text{III.16})$$

Ou :  $y = \frac{1}{\alpha} (x - x_0)$  variable réduite de Gumbel

Avec :

$F(x)$  : Fréquence au dépassement de valeur de  $x$ ,

$\alpha, x_0$  : Coefficient d'ajustement (méthode des moindres carrés) ;

$x_0$  : Paramètre de position (mode) ;

$\alpha$  : Paramètre d'échelle différent de zéro et positif appelé aussi « grade  $x$  »

$1/\alpha$  : Pente de la droite de régression ;

$x$  : Variable étudiée ; la précipitation maximale journalière «  $P_{max,j}$  » ;

Cette variable  $x$ , exprimée en fonction de la variable réduite  $y$ , est l'équation de la droite de Gumbel sur papier à probabilité Gumbel.

$$x = \frac{1}{\alpha} + y x_0, \text{ soit } P_{maxj P\%} = \left(\frac{1}{\alpha}\right) y + x_0 \quad (\text{III.16})$$

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

- Classer les valeurs des précipitations par ordre croissant avec attribution d'un rang 1, 2,3...n.
- Calculer pour chaque valeur de précipitation la fréquence expérimentale par la formule de HAZEN.

$$F(x) = \frac{N_i - 0.5}{n} \quad (\text{III.17})$$

Avec :

- $N_i$  : numéro d'ordre ;
- $n$  : la taille de l'échantillon. ( $n = 39$ ) ;
- Calculer la variable réduite de GUMBEL donnée par la formule suivante :

$$y_i = - \ln (-\ln (F (x_i))) \quad (\text{III.18})$$

Calculer les paramètres d'ajustement «  $a$  » et «  $x_0$  ».

- Représenter graphiquement les couples  $(x_i, y_i)$  sur papier GUMBEL

#### ❖ Gumbel (Méthode des moments) :

Nombre d'observations : 39

- Paramètre :

$\mu = 26.202$ ,  $\alpha = 19.836$

-Quantiles :

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

$T = 1/(1-q)$

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de GUMBEL sont représentées dans le tableau III.13 suivant :

**Tableau III .13 : Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL**

Période de retour T (ans)	Fréquence au non dépassement (Q)	Valeurs théoriques XT (mm)	Ecart-type	Intervalle de confiance
1000	0.999	163	23.6	117-209
100	0.990	117	16.0	86.1-149
50	0.980	104	13.7	76.7-131
20	0.950	85.1	10.7	64.1-106
10	0.900	70.8	8.51	54.2-87.5
5	0.800	56.0	6.30	43.6-68.3
2	0.500	33.5	3.74	25.1-40.8

➤ **Test d'homogénéité :**

Test d'adéquation du Khi carré.

➤ **Hypothèses :**

H0 : L'échantillon provient d'une loi Gumbel ;

H1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi Gumbel.

**Résultats :**

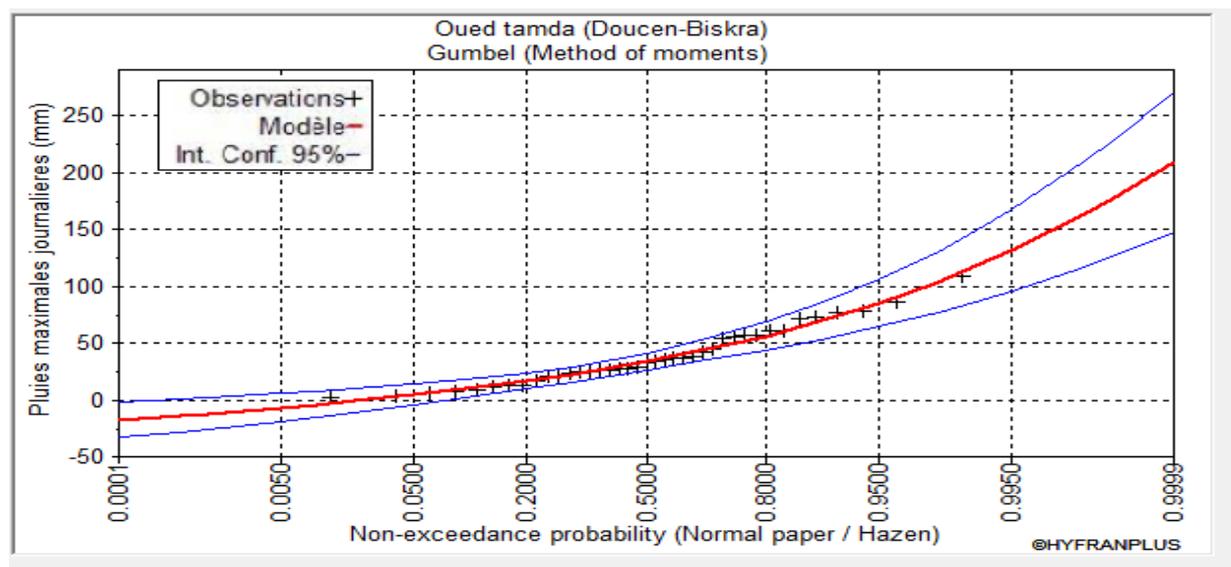
Résultat de la statistique :  $X^2 = 4.82$

P-value :  $P = 0.5096$

Degrés de liberté : 5

Nombre de classes : 8

➤ **Conclusion :** Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5%. La figure III.9 illustre l'ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL (Méthode des moments).



**Figure III.09 : Ajustement à la loi de GUMBEL**

**II.4.2.2. Ajustement de la série pluviométrique par la loi Log Normal ou loi de Galton :**

Une variable aléatoire  $X$  a une distribution log normale lorsqu' $Y = \ln X$  est Normale. La loi de Galton résulte de la loi normale mais rendue dissymétrique par un changement de variables. Sa fonction de répartition est donnée par :

$$F(x) = n \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\mu}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}\mu^2}$$

(III.19)

$$u = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \text{ (variable réduite de GAUSS)}$$

L'équation de la droite de **GALTON** est donnée par la relation suivante :

$$\log x_{p\%} = \overline{\log x} + \partial \log \mu(P\%) \quad \text{(III.20)}$$

Avec :

$\overline{\log x}$  : la moyenne de la série  $\log x_i$  ;

$\sigma$  : Ecart type de la série  $\log x_i$  ;

$u$  : variable réduite de Gauss;

$$\log x = \frac{\sum_{i=1}^{39} \overline{\log x_i}}{n} \quad \text{(III.21)}$$

**GALTON (log-Normale) (Maximum des vrais semblances) :**

Nombre d'observations : 39

- Paramètre :

Mu = 3.33644, Sigma = 0.884193

-Quantiles :

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

$T = 1 / (1 - q)$

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de GALTON sont représentées dans le tableau III.14 suivant :

**Tableau III .14: Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON**

Période de retour T (ans)	Fréquence au non dépassement (Q)	Valeurs théoriques XT (mm)	Ecart-type	Intervalle de confiance
1000	0.999	432	139	141-724
100	0.990	220	60.6	101-339
50	0.980	173	43.6	87.5-258
20	0.950	120	26.4	68.8-171
10	0.900	87.3	16.8	54.4-120
5	0.800	59.2	9.78	40.0-78.3
2	0.500	28.1	3.98	20.3-35.9

➤ **Test d'homogénéité :**

Test d'adéquation du Khi carré.

➤ **Hypothèses :**

H0 : l'échantillon provient d'une loi -log normale ;

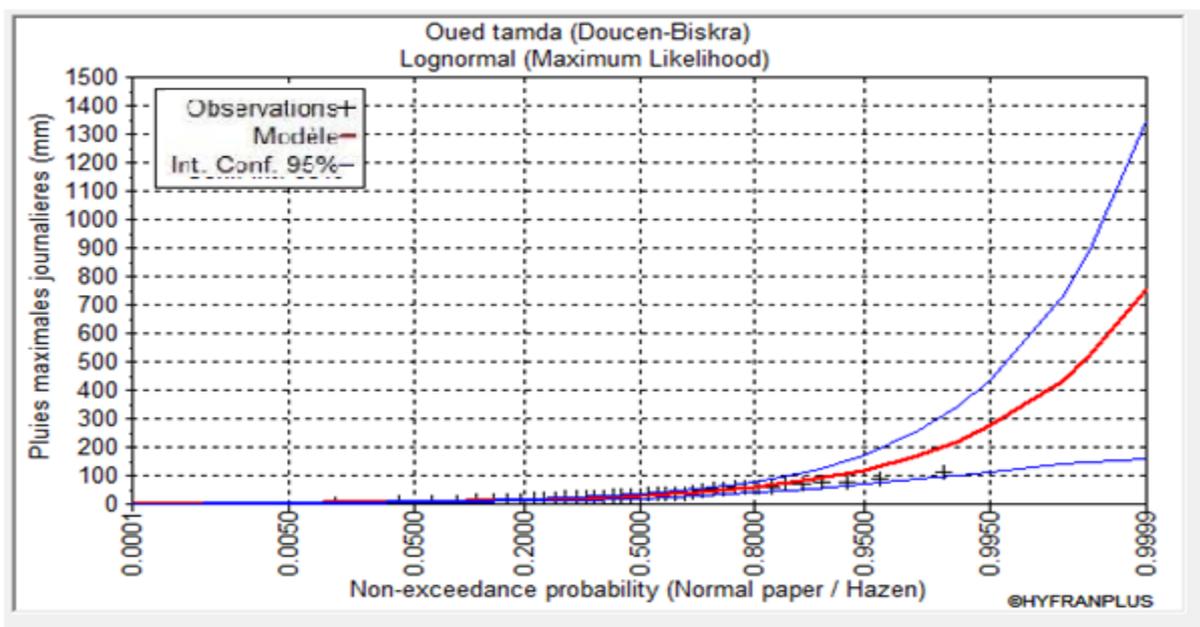
H1 : l'échantillon ne provient pas d'une loi-log normale.

➤ **Résultats :**

Résultat de la statistique :  $\chi^2 = 0.93$

P-value : P = 0.9390

- **Conclusion :** Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5%. La figure III.7 illustre l'ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON (Log normale)



*Figure III.10 : Ajustement à la loi de GALTON*

❖ **Résultat d'ajustement :**

Par ces deux lois, celui de Gumbel et de Log-normal, nous remarquerons que l'ajustement de Gumbel établi par HYFRAN est le meilleur ; du moment que la position des données expérimentales sont plus proches de la droite théorique, et pour le dimensionnement de notre ouvrage, nous travaillons avec une pluie d'intensité «I » pour une période de retour de 100 ans. Les pluies journalières de périodes de retour (2, 5, 10, 25, 50 , 100 et 1000) ans sont représentées dans le tableau (III.15).

**Tableau III.15 : Pluies maximales journalières fréquentielles.**

Période de retour	Fréquence au non dépassement	Pluie journalière maximale fréquentielle (mm)
(an)	(%)	Oued tamda
2	0.500	33.5
5	0.800	56.5
10	0.900	70.8
20	0.950	85.1
50	0.980	104
100	0.990	117
1000	0.999	163

### III.4.3 Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes Fréquences :

Les précipitations exceptionnelles ( $P_{ct}$ ) de durée ( $t$ ) inférieure à 24h (de courte durée) sont reliées

à la précipitation journalière fréquentielle  $P_{max,j}$  selon la relation de MONTANARI.

$$P_{ct} = P_{max,j} \left( \frac{t}{24} \right)^b \quad (III.22)$$

Avec :

- $P_{ct}$  : La pluie de courte durée de fréquence égale à celle de  $P_{max,j}$  en (mm) ;

- $P_{max,j}$  : La pluie maximale journalière pour différentes fréquences ;

- $t$  : la durée en heures ;

- $b$  : L'exposant climatique ( $b=0.38$  donné par l'ANRH).

#### III.4.3.1 Intensités maximales à différentes Fréquences :

La détermination des intensités maximales pour différentes périodes de retour se fait par le biais de la formule:

$$I_{max} = \frac{P_{max,j}(mm)}{t(h)} \quad (III.23)$$

Avec :

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

Les différentes valeurs de Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes Fréquences sont données dans le tableau suivant :

Tableau III.15 : Pluie de courte durée et leurs intensités à différentes fréquences.

Période de retour (ans)	1000 ans		100 ans		50 ans		20 ans		10 ans		5 ans		2 ans	
	P <sub>ct</sub>	I <sub>max</sub>												
0.5	37.438	74.877	26.873	53.746	23.887	47.774	20.603	41.205	16.262	32.523	12.862	25.724	7.694	15.389
1	48.720	48.720	34.971	34.971	31.085	31.085	26.811	26.811	21.162	21.162	16.738	16.738	10.013	10.013
2	63.401	31.701	45.509	22.754	40.452	20.226	34.890	17.445	27.539	13.769	21.782	10.891	13.030	6.515
3	73.963	24.654	53.090	17.697	47.191	15.730	40.702	13.567	32.126	10.709	25.411	8.470	15.201	5.067
4	82.507	20.627	59.223	14.806	52.642	13.161	45.404	11.351	35.837	8.959	28.346	7.086	16.957	4.239
5	89.808	17.962	64.464	12.893	57.301	11.460	49.422	9.884	39.009	7.802	30.854	6.171	18.458	3.692
6	96.251	16.042	69.088	11.515	61.412	10.235	52.968	8.828	41.807	6.968	33.068	5.511	19.782	3.297
7	102.057	14.580	73.256	10.465	65.116	9.302	56.163	8.023	44.329	6.333	35.063	5.009	20.975	2.996
8	107.370	13.421	77.069	9.634	68.506	8.563	59.086	7.386	46.637	5.830	36.888	4.611	22.067	2.758
9	112.284	12.476	80.597	8.955	71.642	7.960	61.791	6.866	48.771	5.419	38.576	4.286	23.077	2.564
10	116.871	11.687	83.889	8.389	74.568	7.457	64.315	6.431	50.764	5.076	40.152	4.015	24.020	2.402
11	121.182	11.017	86.983	7.908	77.318	7.029	66.687	6.062	52.636	4.785	41.633	3.785	24.905	2.264
12	125.255	10.438	89.907	7.492	79.918	6.660	68.929	5.744	54.405	4.534	43.033	3.586	25.743	2.145
13	129.124	9.933	92.684	7.130	82.386	6.337	71.058	5.466	56.086	4.314	44.362	3.412	26.538	2.041
14	132.812	9.487	95.331	6.809	84.739	6.053	73.087	5.221	57.687	4.121	45.629	3.259	27.296	1.950
15	136.340	9.089	97.863	6.524	86.990	5.799	75.029	5.002	59.220	3.948	46.841	3.123	28.021	1.868
16	139.725	8.733	100.293	6.268	89.149	5.572	76.891	4.806	60.690	3.793	48.004	3.000	28.716	1.795
17	142.981	8.411	102.630	6.037	91.227	5.366	78.683	4.628	62.105	3.653	49.122	2.890	29.386	1.729
18	146.120	8.118	104.884	5.827	93.230	5.179	80.411	4.467	63.468	3.526	50.201	2.789	30.031	1.668
19	149.154	7.850	107.061	5.635	95.165	5.009	82.080	4.320	64.786	3.410	51.243	2.697	30.654	1.613
20	152.089	7.604	109.168	5.458	97.039	4.852	83.696	4.185	66.061	3.303	52.252	2.613	31.258	1.563
21	154.935	7.378	111.211	5.296	98.854	4.707	85.262	4.060	67.297	3.205	53.229	2.535	31.843	1.516
22	157.699	7.168	113.195	5.145	100.618	4.574	86.783	3.945	68.497	3.114	54.179	2.463	32.410	1.473
23	160.385	6.973	115.123	5.005	102.332	4.449	88.261	3.837	69.664	3.029	55.102	2.396	32.963	1.433
24	163.000	6.792	117.000	4.875	104.000	4.333	89.700	3.738	70.800	2.950	56.000	2.333	33.500	1.396

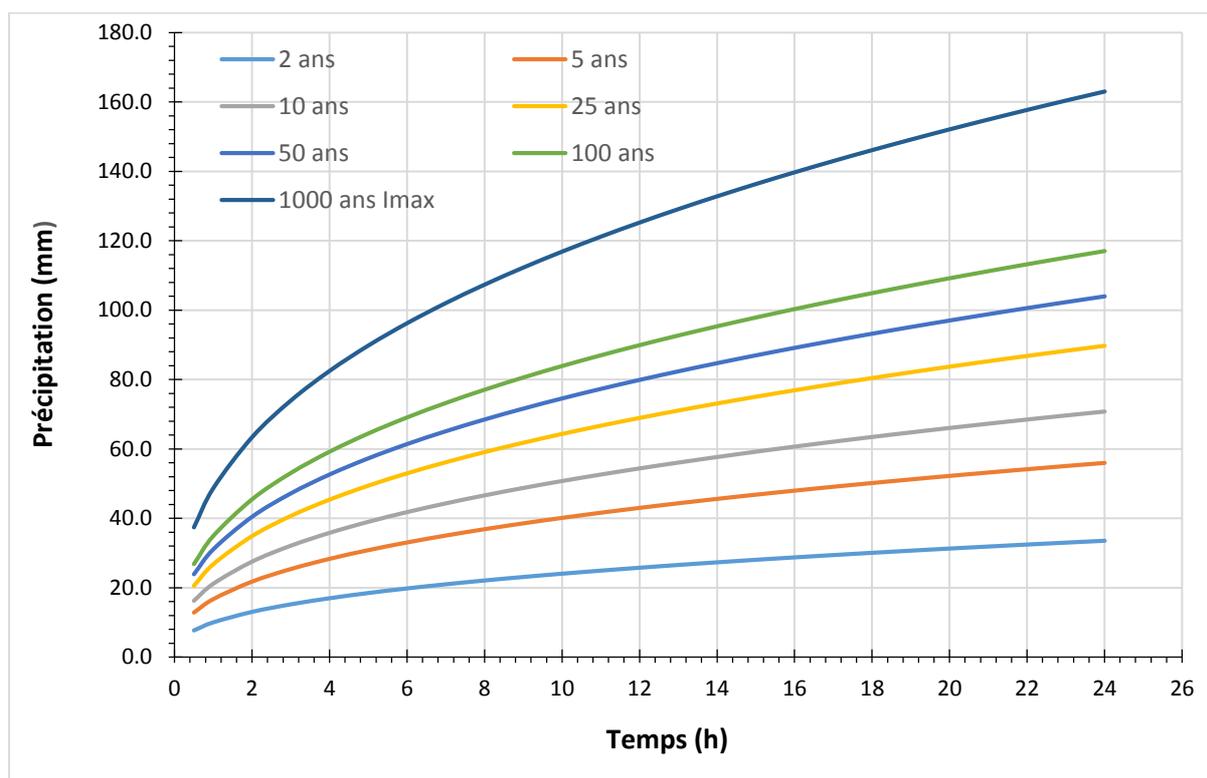


Figure III.11 : Courbe Pluies de courte durée fréquentiel

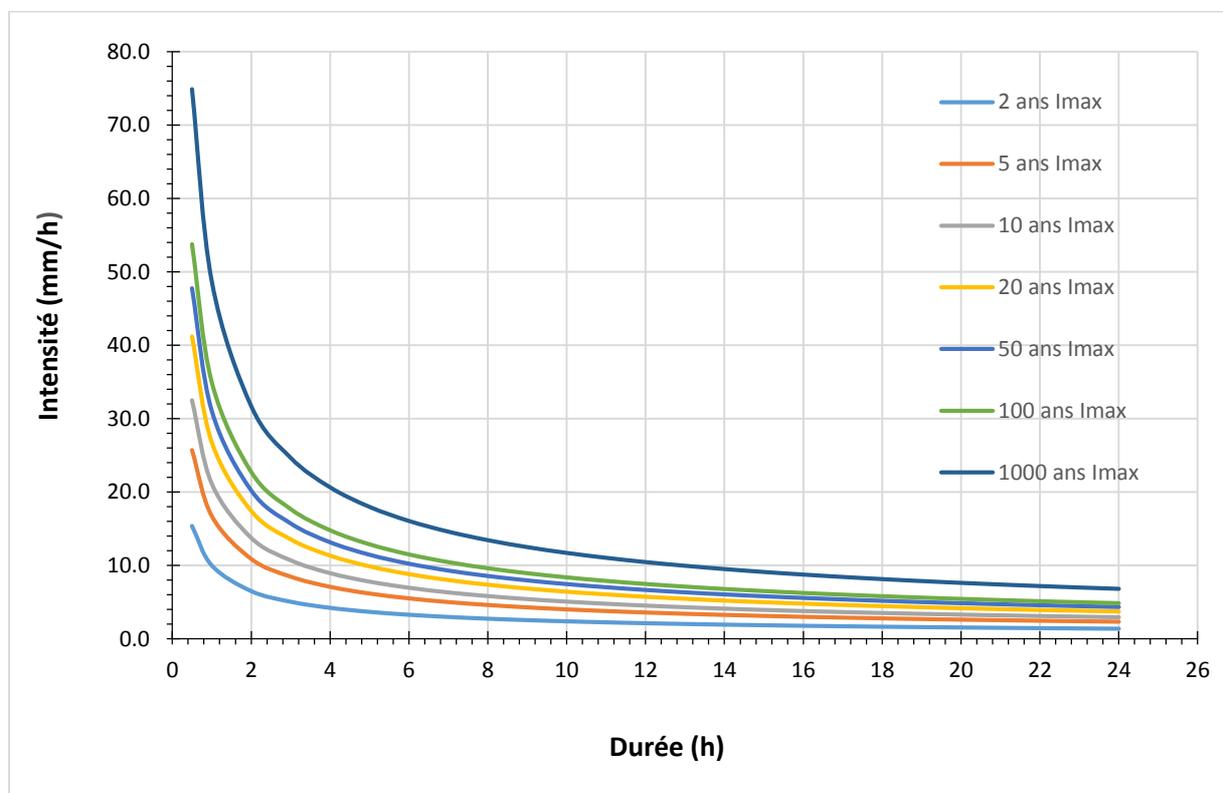


Figure III.12 : Courbe Intensité-Durée-Fréquence.

### III.5 Evaluation des apports :

#### III.5.1 Apports liquides

Il existe en Algérie de nombreuses formules empiriques d'estimation des apports, quelques-unes d'entre elles sont employées pour approcher au mieux la valeur de l'apport moyen interannuel (Bénina2004).

##### a) Formule de SAMIE 2 :

$$L_e = 0.784(P_{\text{moy}} - 0.232)^2 \quad (\text{III.24})$$

$$A = L_e \times S \quad (\text{III.25})$$

- $P_{\text{moy}}$  : Pluie moyenne annuelle [mm] ;

- $S$  : Superficie du bassin [Km<sup>2</sup>] ;

##### b) Formule de SAMIE

$$L_e = P_{\text{moy}}^2 (293 - 2,2\sqrt{S}) \quad (\text{III.26})$$

$$A = L_e \cdot S \quad (\text{III.27})$$

- $P_{\text{moy}}$  : Pluie moyenne annuelle en [mm] ;

- $S$  : Surface du bassin en [km<sup>2</sup>] ;

- $L_e$  : Lamme d'eau écoulée en [mm] ;

##### c) Formule de MEDINGER :

$$A = L_e \cdot S \quad (\text{III.27})$$

$$L_e = 1.024(P_{\text{moy}} - 0.26)^2 \quad (\text{III.28})$$

- $P_{\text{moy}}$  : Pluie moyenne annuelle en [mm] ;

- $S$  : Surface du bassin en [km<sup>2</sup>] ;

- $L_e$  : Lamme d'eau écoulée en [mm]

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau III.16 : Apports moyens interannuels**

Formules	Résultats	
	Le (mm)	A (Hm <sup>3</sup> )
<b>Formule de Samie 2</b>	15.3	4.431
<b>Formule de SAMIE</b>	21.6	6.25
<b>Formule de MEDINGER</b>	28.79	8.34

Il est préférable de retenir la moyenne de ces résultats ce qui donne  $A_{moy} = 6.34 \text{ Hm}^3$

### III.5.2 Apports solides

L'inexistence des données de mesure du transport solide nous ramène à utiliser les lois empiriques et à en accepter le résultat d'ordre de grandeur acceptable.

#### ✓ Formule de TIXERONT :

C'est la formule la plus utilisée en Algérie pour l'estimation des apports solides

$$E_s = a \cdot L_e^{0.15} \quad (\text{III.29})$$

$$E_s = 556.038 \text{ t/Km}^2/\text{an}$$

Avec :

- $E_s$  : Taux d'érosion (t/Km<sup>2</sup>/an).
- $L_e$  : Lamme d'eau écoulée (1.2 mm).
- $a$  : Coefficient empirique qui varie en fonction de la perméabilité du terrain.  $a = 350$  (perméabilité moyenne) (Bennis, 2004).

En tenant compte du poids spécifique moyen des sédiments ( $\gamma = 1.4 \text{ T/m}^3$ ) on aura :

$$V_s = \frac{E_s \cdot S}{\gamma} \quad (\text{III.30})$$

$$V_s = 73635.72 \text{ m}^3/\text{an}$$

- $V_s$  : Apport solide (m<sup>3</sup>/an)

Le tableau III.17 résume les résultats des apports liquides et solides de notre bassin versant.

**Tableau III.17 : Récapitulatif des apports liquides et solides du bassin versant**

<b>Taux d'érosion (t/Km<sup>2</sup>/an).</b>	359.7
<b>apport liquide (m<sup>3</sup>/an) .</b>	6340000
<b>apport solide (m<sup>3</sup>/an)</b>	115020.432
<b>Apport total (m<sup>3</sup>/an)</b>	6455020.43

### III.6. Etude des crues :

L'évaluation des crues a toujours été un souci majeur dans le dimensionnement des ouvrages hydrauliques. De nombreuses méthodes ont été établies afin de parvenir à les estimer correctement.

L'existence de tant de méthodes de calcul des crues est due aux changements de conditions et de problèmes rencontrés lors de l'estimation ainsi que du chargé d'étude. Les techniques utilisées dans la détermination des crues dépendent essentiellement des données disponibles,

plus la disponibilité est importante plus les problèmes qui se posent sont moindres (Bénina 2004)..

Les différentes méthodes de calcul des crues :

➤ *Méthodes déterministes*

-Méthode historique

-Méthodes empiriques

-Courbes enveloppes

➤ *Méthodes probabilistiques*

Pour notre étude on utilisera la méthode empirique, les principales lois employées sont : la formule de MALLET-GAUTHIER, la formule de GIANDOTTI, la formule de TURAZZA, la formule de SOKOLOVSKI.

### III.6.1 Application sur les bassins versants :

#### III.6.1.1 Formule de Turazza :

Cette formule utilise l'intensité moyenne maximale de précipitations déterminées sur un intervalle de référence égal au temps de concentration du bassin versant.

$$Q_{\max,p\%} = \frac{C \cdot I_{tc} \cdot S}{3.6} \quad (\text{III.31})$$

-A : Surface du bassin ;

- $i_{tc}$  : Intensité maximale des précipitations pendant une durée égale au temps de concentration en mm/h. Ce paramètre est calculé dans le tableau n° (III.18) ;

-C : coefficient de ruissellement de la crue considérée pour une probabilité P%

*Tableau III.18 : valeur de coefficient de ruissellement C*

<b>Fréquence %</b>	0.1	1	2	5	10	20	50
<b>Période de Retour</b>	1000	100	50	20	10	5	2
<b>C</b>	0.9	0,85	0,8	0,75	0,7	0.65	0.6

#### II.6.1.2. Formule de Giandotti :

Le débit maximum probable est donné par la formule suivante :

$$Q_{\max p\%} = \frac{C \cdot S \cdot \sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}}{4\sqrt{S} + 1,5L} \cdot P_{tc} \quad (\text{III.32})$$

Avec :

- C : coefficient topographique varie de 66 à 166 et on prend C = 125.
- S : Surface du sous bassin en Km<sup>2</sup> ;
- L : Longueur du talweg principal en Km ;
- h<sub>moy</sub> : Altitude moyenne en m ;
- h<sub>min</sub> : Altitude minimale en m ;
- P<sub>tc</sub> : pluie fréquentielle de courte durée, correspondant au temps de concentration

**Tableau III.19:** Pluies de courte durée et intensité pour bassin.

Période de retour en (ans)	1000	100	50	20	10	5	2
P <sub>MAX J</sub> (mm)	163	117	104	89.	70.	56	33.5
Le temps de concentration T <sub>c</sub> (h)	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75
P <sub>ct</sub> (mm)	115.75	83.08	73.85	63.7	50.28	39.77	32.79
Intensité I (mm /h)	11.87	8.79	7.57	6.13	5.16	4.08	2.44

### III.6.1.3 Formule de Sokolovski :

Le débit maximum probable est donné par la formule suivante :

$$Q_{\max,p\%} = \frac{0.28 \cdot P_{ct} \cdot \alpha \cdot F \cdot S}{T_c} \quad (\text{III.33})$$

Avec :

- S : Surface du bassin versant en Km<sup>2</sup> ;
- f : Coefficient de forme de l'hydrogramme (0,95 ÷ 1,2);
- t<sub>c</sub> : Temps de concentration du sous bassin en h ;
- P<sub>tc %</sub> : précipitation en mm, de probabilité p% correspondant à un temps t<sub>c</sub> ;
- α : coefficient de ruissellement pour la crue probable

Les débits de crues de bassin par les différentes formules dans les tableaux suivants

**Tableau III.20 :** Les débits de crues de bassins par les différentes formules.

Fréquence %	0.1	1	2	5	10	20	50	
Période de Retour (ans)	1000	100	50	20	10	5	2	
α	0.8	0,7	0,65	0,6	0,55	0.5	0.45	
C	0.9	0,85	0,8	0,75	0,7	0.65	0.6	
Q <sub>max, p%</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Formule de Turazza	668.41	411.23	334.93	246.56	186.79	131.29	68.70
	Formule de Giandotti	536.78	385.28	342.48	295.41	233.17	184.43	152.06
	Formule de Sokolovski	569.80	376.48	291.89	198.05	138.58	95.39	67.56
	Moyenne	591.67	391.00	323.10	246.67	186.18	137.04	96.11

Les valeurs du débit obtenu en utilisant la formule de Turazza, Giandotti et Sokolovski Sont très proches pour les différentes périodes de retour Donc, en raison de sécurité, on retiendra la moyenne des valeurs trouvées par la formule de Turazza , Giandotti et Sokolovski.

### III.7 Hydro-gramme de crue

L'hydrogramme de crue représente la variation des débits d'un cours d'eau en fonction du temps, il permet de déterminer les caractéristiques de la crue, forme, volume, temps de montée et temps de descente, la forme de l'hydrogramme de crue est déterminée selon la méthode de SOKOLOVSKY, qui assimile l'hydrogramme à deux équations paraboliques, l'une traduisant la montée de la crue qui s'écrit : (Kerkar.M.E.2011)

- **La montée de la crue :**

$$Q_m(t) = Q_{\max.p} \left( \frac{t}{t_m} \right)^3$$

(III.34)

- **La décrue :**

$$Q_d(t) = Q_{\max.p} \left[ \frac{(t_b - t)}{t_d} \right]^2 \quad (III.35)$$

Avec :

- $Q_{\max.p}$  : Débit maximum de crue (de pointe) (m<sup>3</sup>/s).
- $Q_m(t)$  : Débit instantané au moment de la montée (m/s).
- $Q_d(t)$  : Débit instantané au moment de la descente (m/s).

-  $t_m$  : Temps de montée (h).

-  $t_d$  : temps de descente (h).

-  $t_b$  : Temps de base (h).

On a :  $t_m = t_c$  ;  $t_d = t_m * \gamma$  et  $t_b = t_m + t_d$

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

Donc :  $t_m = t_c = 9.75$  h.

$t_d = 2.5 * t_m = 24.37$  h.

$t_b = t_m + t_d = 34.12$  h.

Les débits de crue des différentes périodes de retour du bassin versant sont représentés dans le tableau III.21 suivant :

**Tableau III.21 : Débits de crues pour différentes périodes de retour**

t(h)	Débits de crues (m <sup>3</sup> /s) pour différentes périodes de retour						
	Q0.1%	Q1%	Q2%	Q5%	Q10%	Q25%	Q50%
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.64	0.42	0.35	0.27	0.20	0.15	0.10
2	5.11	3.37	2.79	2.13	1.61	1.18	0.83
3	17.24	11.39	9.41	7.19	5.42	3.99	2.80
4	40.86	27.00	22.31	17.03	12.86	9.46	6.64
5	79.80	52.73	43.57	33.27	25.11	18.48	12.96
6	137.89	91.12	75.30	57.49	43.39	31.94	22.40
7	218.96	144.70	119.57	91.28	68.90	50.71	35.57
8	326.84	215.99	178.48	136.26	102.85	75.70	53.09
9	465.36	307.53	254.13	194.01	146.44	107.79	75.59
9.75	591.67	391.00	323.10	246.67	186.18	137.04	96.11
12	487.46	322.13	266.19	203.22	153.39	112.90	79.18
14	403.30	266.51	220.23	168.14	126.90	93.41	65.51
16	327.10	216.16	178.63	136.37	102.93	75.76	53.13
18	258.88	171.08	141.37	107.93	81.46	59.96	42.05
20	198.63	131.26	108.47	82.81	62.50	46.01	32.26
25	82.86	54.76	45.25	34.55	26.07	19.19	13.46
30	16.91	11.18	9.23	7.05	5.32	3.92	2.75
34.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

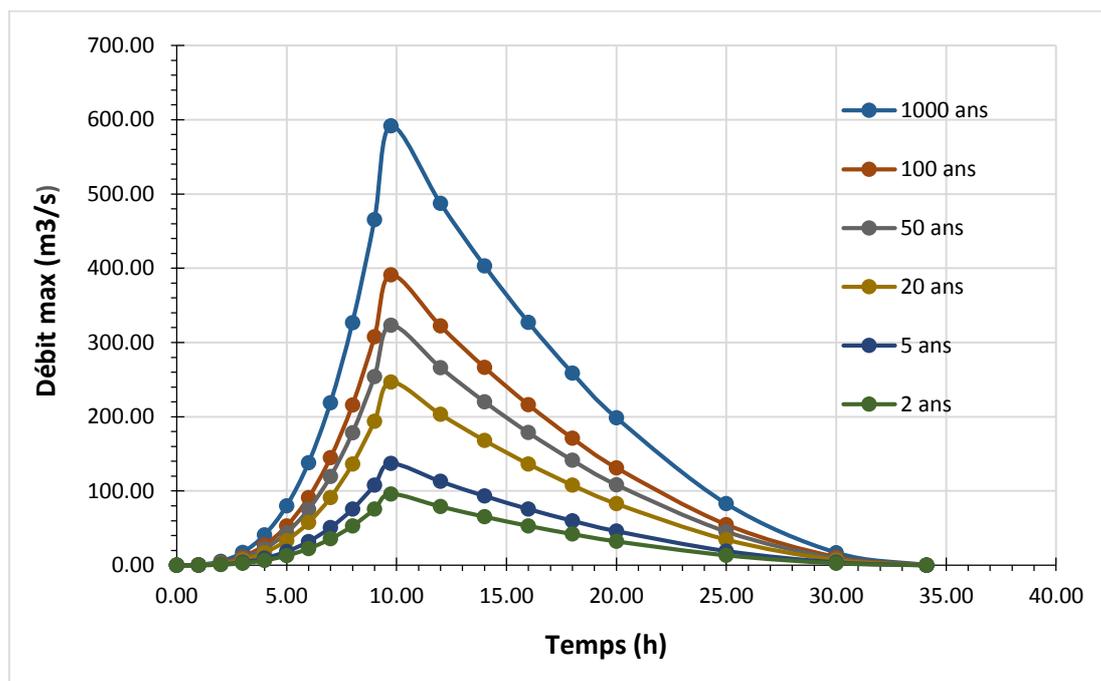


Figure III.13 : Hydrogramme de crue

### III.8 Conclusion :

L'établissement de ce chapitre a pour but le calcul des caractéristiques du bassin versant qui influence le cours d'eau ainsi que l'estimation du débit de crue optimal afin de pouvoir réaliser un aménagement adéquat à la situation de l'Oued.

Les résultats obtenus des calculs effectués dans ce chapitre sont comme suit :

- La série pluviométrique suit la loi de Gumbel.
- Le débit de crue optimal est estimé à  $391\text{m}^3/\text{s}$  pour une période de retour 100ans

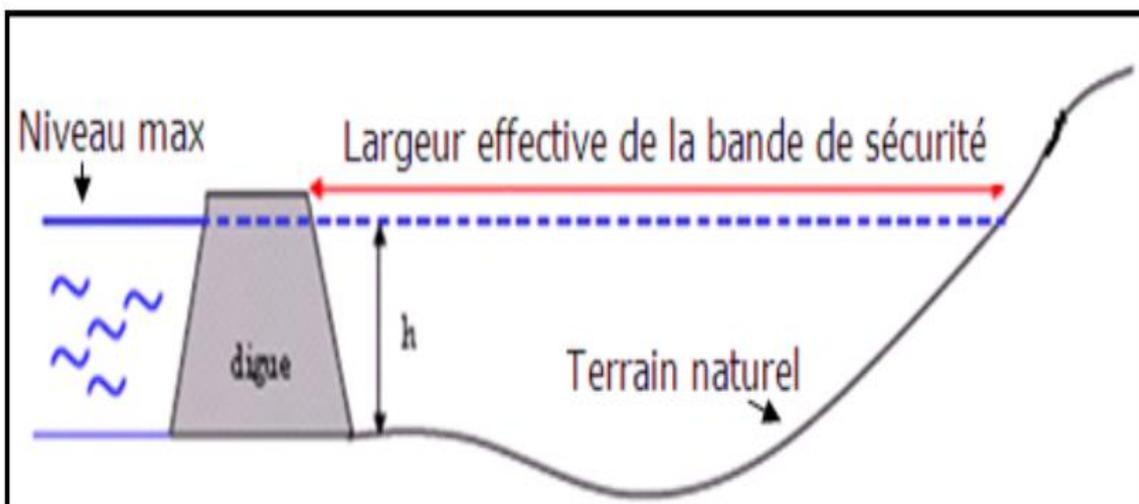
# Chapitre IV

## Etude hydraulique

### IV.1 Introduction

La protection contre les crues est un problème associé aux hauteurs d'eau élevées, selon les circonstances, aux vitesses d'écoulement élevées. Le dimensionnement des ouvrages de protection contre les crues se base généralement sur la hauteur d'eau plutôt que sur les aspects liés à l'érosion. Comme pour tous les ouvrages en rivières, le concepteur doit ; naturellement, tenir compte de la nécessité que l'ouvrage résiste aux forces érosives ; il ne s'agit toutefois pas du rôle premier des ouvrages de protection contre les crues. L'onde de crue qui descend la rivière a besoin d'espace pour s'étendre, ce qui entraîne une élévation de la hauteur d'eau, donc l'inondation des terrains adjacents. Il est alors nécessaire de mettre en œuvre différentes mesures de protection contre les crues, en utilisant éventuellement de l'enrochement comme matériau de base. Ainsi, il est possible de construire des digues de protection contre les crues ou des talus le long du bras de rivière et notamment dans la plaine inondable. Il faut parfois appliquer un revêtement sur la face de ces structures exposée à l'action de l'eau afin d'éviter tout dommage, ainsi qu'une protection de pied spécifique. La figure IV.01 présente la protection de pied d'une digue de prévention des crues.

Le revêtement et la protection de pied ne sont pas nécessaires si les ouvrages sont situés loin de rivière, lorsque les vitesses du courant qui atteignent les protections sont faibles.



*Figure IV.01 : Coupe d'un ouvrage de protection contre les crues*

L'expression « ouvrage de protection » désigne le système complet de protection : système d'endiguement globalement cohérent du point de vue hydraulique et de la protection effective des populations (par exemple un système de digues de premier et second rang), ainsi que les ouvrages « maritimes » (type brise-lames, épis, etc.) associés au système d'endiguement.

**IV.2 Proposition d’aménagement hydraulique pour la protection de la ville de Doucen contre les inondations**

Un aménagement hydraulique comporte différents ouvrages unitaires de nature diverse tels que (barrages, ouvrages de dérivation, ouvrages répartiteurs de débit, pertuis de contrôle, etc.) Interconnectés entre eux par d'autres ouvrages linéaires de liaison (canaux à ciel ouvert, collecteurs enterrés, etc.). :

Afin de venir à bout du problème d’inondation qui frappe la ville de Doucen à chaque évènement de crue, nous proposons d’aménager Oued Tamda par un barrage déversoir (évacuateurs de crues). Ce choix de cette méthode pour la tranquillisation de l’écoulement de crus et/ou la dérivation de crus vers oued Doucen.

L'évacuateur de crues comprend les éléments suivants (de l’amont vers l’aval) :

- ❖ Canal d’approche.
- ❖ Corps du barrage : déversoir en seuil libre
- ❖ Deux murs guideaux latéraux (Rive droite & Rive gauche)
- ❖ Bassin de dissipation d’énergie.
- ❖ Canal de restitution raccordant l’ouvrage au lit d’oued.

Pour le dimensionnement de ces ouvrage, nous aurons besoin du débit de projet du barrage déversoir de crue correspond au débit de crue maximal pour un temps de retour de 100 ans.

Le fonctionnement hydraulique a été vérifié pour une crue de temps de retour 1000 ans.

Selon l’étude hydrologique, les débits effluents prendront les valeurs 391m<sup>3</sup>/s et 591.67m<sup>3</sup>/s, respectivement pour les crues avec T = 100 ans et T = 1000 ans.

*Tableau N° IV .1 : Les débits maxima fréquentiels au site de l’oued Tamda sont :*

Fréquence %	0.1	1	2	5	10	20	50
Période de Retour (ans)	1000	100	50	20	10	5	2
Q <sub>max</sub> , (m <sup>3</sup> /s)	591.67	391.00	323.10	246.67	186.18	137.04	96.11

**IV.3 Dimensionnement des ouvrages de protection.**

**IV.3.1 Axe de la digue de déversoir :**

Pour le choix d’un axe de la digue, on s’efforce de réunir certaines conditions sur le site ; telles qu’il soit conféré au projet sécurité, économie et aisance dans l’exécution des travaux.

Les principales conditions de la faisabilité du site sont :

- La disponibilité des matériaux sur site.
- La nature des fondations
- La hauteur de l'ouvrage.
- La projection de l'axe tenir compte de l'implantation du la digue (photo IV.3)
- La longueur de la crête doit être la plus courte possible.

Le site se situe sur l'oued Tamda dans la commune de Doucen

Ses coordonnées au système UTM sont :

$$X = 677.78 \text{ Km.}$$

$$Y = 3842.74 \text{ Km}$$

### **IV.3.2 Présentation de la digue de déversoir**

#### **IV.3.2.1 Type de déversoir**

La disponibilité des matériaux de construction de provenance locale, à proximité du site a permis de projeter deux variantes de digue de déversoir, en tenant compte des paramètres techniques du site notamment la topographie, la pédologie, géotechnique et la sismicité :

- Variante I : Déversoir standard (Creager);
- Variante II : déversoir en labyrinthe ;

#### **IV.3.2.2 Caractéristiques principales de la digue de déversoir**

Selon les altitudes et la morphologie l'axe d'implantation de déversoir bassin d'oued Tamda  
Nous avons identifié que

- Cote de rive droite et gauche d'environ 232.5 NGA.
- Cote du fond de l'oued en =227 NGA.

De façon à perturber le moins possible le régime du cours d'eau, le seuil devrait être aussi bas que possible. La cote de la crête du seuil est en fait proposée et égale à 230.5 NGA. La hauteur du seuil au-dessus du plus bas niveau initial du lit au site est égale 3.5m, ce qui est considéré comme acceptable

La considération principale en ce qui concerne un seuil dans un cours d'eau mobile est de conserver le régime naturel dans la mesure du possible. Par conséquent, la crête doit être suffisamment longue pour éviter des niveaux de crue excessifs qui pourraient inonder les

terres environnantes et en même temps suffisamment courte pour éviter un changement de régime dans le cours d'eau qui causerait un déplacement du lit mineur.

Dans cette étude nous avons proposé une largeur de déversoir égale à la largeur du lit (80m).

#### IV.3.2.3 Etude de variante

L'étude de variante a pour le but de choisir le type de la digue déversante plus optimale. Le dernier choisi selon :

- L'économie de la construction
- La capacité d'évacuation

##### ➤ Variante I : Déversoir standard (Creager)

Le concept de déversoir standard consiste au développement d'un déversoir dont le parement aval épouse la géométrie de la nappe inférieure du déversoir en mince paroi afin d'éviter les zones de sous-pressions le long du radier. Ceci permet théoriquement d'avoir une pression égale à zéro le long du parement aval du déversoir standard. Le débit est donné par la relation suivante en considérant (H) comme la charge mesurée à partir de la crête du déversoir standard :

$$Q = C_d b \sqrt{2gH^{3/2}} \quad (\text{IV.01})$$

$C_d$  : est le coefficient de débit du déversoir standard qui dépend de la charge (H), le coefficient moyen est estimé d'environ : 0.47 à 0.49 (LADREYT et al., 2005).

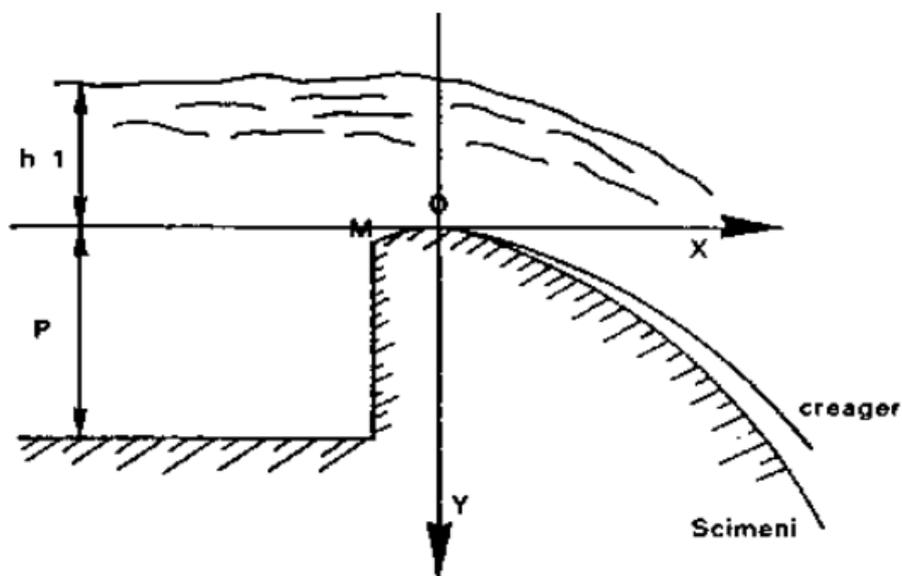
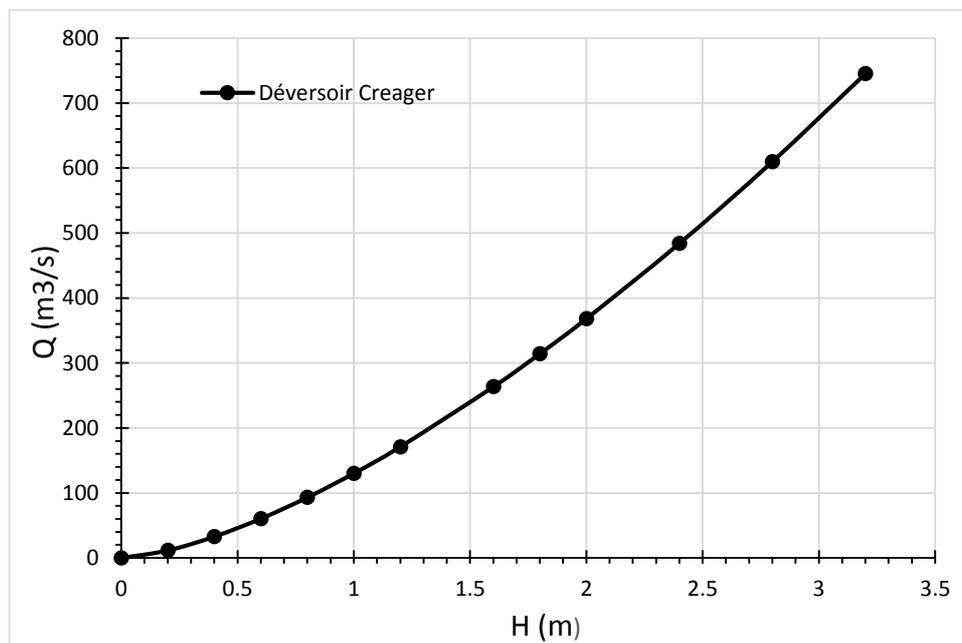


Figure IV.02 : Coupe transversal du déversoir standard (Creager)

Pour calculer la capacité d'évacuation de ce type de déversoir nous avons basé sur la relation classique de débit (IV.01). Les résultats présentés dans le tableau et le graphique suivant

**Tableau N° IV. 2 : calcul du débit en fonction de la charge sur le déversoir Greager**

Charge H (m)	Largeur Wt (m)	coefficient de débit C	Q (m <sup>3</sup> /s)
0	60	0.49	0
0.2	60	0.49	11.6477442
0.4	60	0.49	32.9447957
0.6	60	0.49	60.5234544
0.8	60	0.49	93.1819538
1	60	0.49	130.225739
1.2	60	0.49	171.18618
1.6	60	0.49	263.558366
2	60	0.49	368.334014
2.4	60	0.49	484.187635
2.8	60	0.49	610.146155
3.2	60	0.49	745.455631



**Figure IV.03 : La capacité d'évacuation de déversoir Creager**

Dans la figure (IV-03) qui représente le débit en fonction de la charge sur le déversoir, on constate que le déversoir Creager avec la largeur 60m et une hauteur 3.5m évacuée les débits effluents prendront les valeurs 391m<sup>3</sup>/s et 591.67m<sup>3</sup>/s, respectivement pour les crues avec T = 100 ans et T = 1000 ans pour une charges acceptable selon la morphologie du bassin versant de Oued tamda.

- Pour un temps de retour de 100 ans le débit égale  $391 \text{ m}^3/\text{s}$  et la charge sur le déversoir Creager égale 2.1m
- Pour un temps de retour de 1000 ans le débit égale  $591.67 \text{ m}^3/\text{s}$  et la charge sur le déversoir Creager égale 2.75m

#### ✚ Coût du déversoir

Pour calcul le Coût de déversoir Creager, nous avons estimé que le prix du mètre cube du béton est de 38000Da ; ce prix inclus le ferrailage, le coffrage ...

Les résultats de calcul de coûts de déversoir sont représentés dans le tableau N°.V.4

**Tableau N° IV. 3 : Coûts déversoir**

Longueur du déversoir (m)	Charge d'eau (m)	Section du déversoir $\text{m}^2$	Volume du déversoir ( $\text{m}^3$ )	Coût du déversoir $10^6$ DA
60	4,78	35	2100	79.8

#### ➤ Variante II: déversoir en labyrinthe

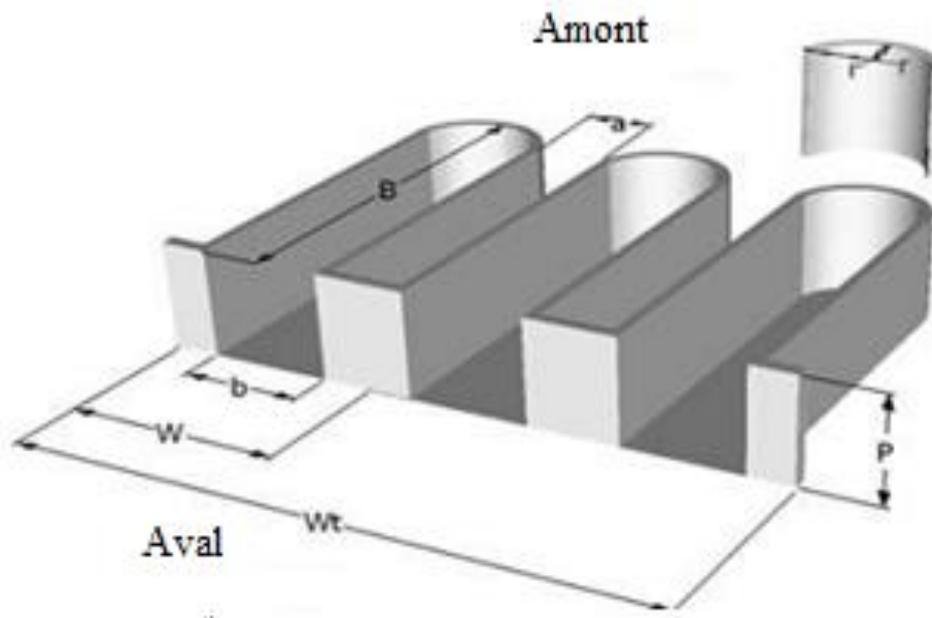
Le Déversoir en labyrinthe (Figure IV.04) se caractérise par une crête à axe discontinu (plié) en plan, ce qui favorise l'allongement de la crête de manière remarquable par rapport à la largeur disponible qu'occupe un déversoir linéaire. L'objectif de cette conception est d'augmenter la capacité de débit par unité de largeur pour une charge d'eau donnée.

Ce type de déversoir représente la structure idéale pour faire passer de grandes crues à une charge comparativement faible, ceci, fait que ce type de déversoir représente une solution efficace quand la largeur du déversoir est limitée par la topographie et / ou la hauteur d'eau sur le seuil est limitée



**Figure IV.04 : Déversoir en labyrinthe (barrage Texas, USA)**

La figure (IV.05) définit les paramètres utilisés généralement pour exprimer la géométrie d'un déversoir en labyrinthe. Cette géométrie est définie par, la longueur développée  $L$ , la longueur de la paroi latéral  $B$ , la largeur d'un cycle  $W$ , la largeur totale de déversoir  $W_t$ , la hauteur des parois  $P$ , la largeur de l'alvéole d'entrée  $a$ , la largeur de l'alvéole de sortie  $b$ , le nombre de cycles  $n$



**Figure IV.05 :** Représentation des paramètres du déversoir en labyrinthe (Ben Saïd et al. , 2011)

Les différents travaux de recherche qui ont été réalisés sur des modèles réduits physique de déversoir en labyrinthe par Hay et Taylor, (1970), Magalhães, (1985), et Tullis (1995.2007) , Ben Said et Ouamane (2007) et Kabiri-Samani et al.(2012) ,ont montré que la conception du déversoir en labyrinthe qui se caractérise par les paramètres adimensionnels suivants:  $a/b = 1.5$ ,  $L/W_t = 6$  donné une meilleure capacité d'évacuation.

Kabiri-Samani et al.(2012) ont réalisé une étude analytique et expérimentale pour étudier le coefficient du débit d'un déversoir en labyrinthe de forme rectangulaire. Cette approche analytique a été basée sur la combinaison entre les équations de deux déversoirs différents : l'un est vertical, l'autre est latéral. Cette méthode est basée sur la détermination de la contribution de chaque section citée (amont  $b$ , aval  $a$  et latéral  $L$ ). À travers l'utilisation des deux méthodes analytique et expérimentale, la suivante équation (II.15) a été élaborée pour calculer le coefficient de débit de ce type de déversoir :

$$Q = C W_t H \sqrt{2gH}$$

$$C_d = 0.389 + 0.424 \left(\frac{H_0}{P}\right)^{-0.632} \left(\frac{L}{B}\right)^{-0.403} \left(\frac{a}{B}\right)^{0.184} \left(\frac{b}{B}\right)^{-0.613} \tag{IV.02}$$

Pour calculer la capacité d'évacuation de ce type de déversoir nous avons proposé les dimensions suivantes de déversoir en labyrinthe pour une largeur  $W_t = 60m$ .

Ou : -  $L = (W + 2B) \cdot n$  et

-  $L/W_t = 6 = n$

-  $a/b = 1.5$  et  $W = a+b = W_t / n$

**Tableau N° IV. 4 :** Caractéristique géométrique de déversoir en labyrinthe

P (m)	Wt (m)	W (m)	L (m)	B (m)	a (m)	b (m)	n
3.5	60	10	360	25	6	4	6

A partir des équations (IV.01 et IV.02), Les résultats obtenus présentés dans le tableau et le graphique suivant

**Tableau N° IV .5:** calcul le débit en fonction de la charge sur le déversoir en labyrinthe

Charge H (m)	Largeur Wt (m)	coefficient de débit C	Q (m <sup>3</sup> /s)
0	60	0	0
0.2	60	2.24949637	53.4725681
0.4	60	1.73744436	116.815815
0.6	60	1.43262231	176.953574
0.8	60	1.25912586	239.444505
1	60	1.14467481	304.216579
1.2	60	1.0624299	371.170035
1.6	60	0.9504759	511.236477
2	60	0.87662278	658.959159
2.4	60	0.82355169	813.782743
2.8	60	0.78321312	975.254023
3.2	60	0.75130987	1142.99626

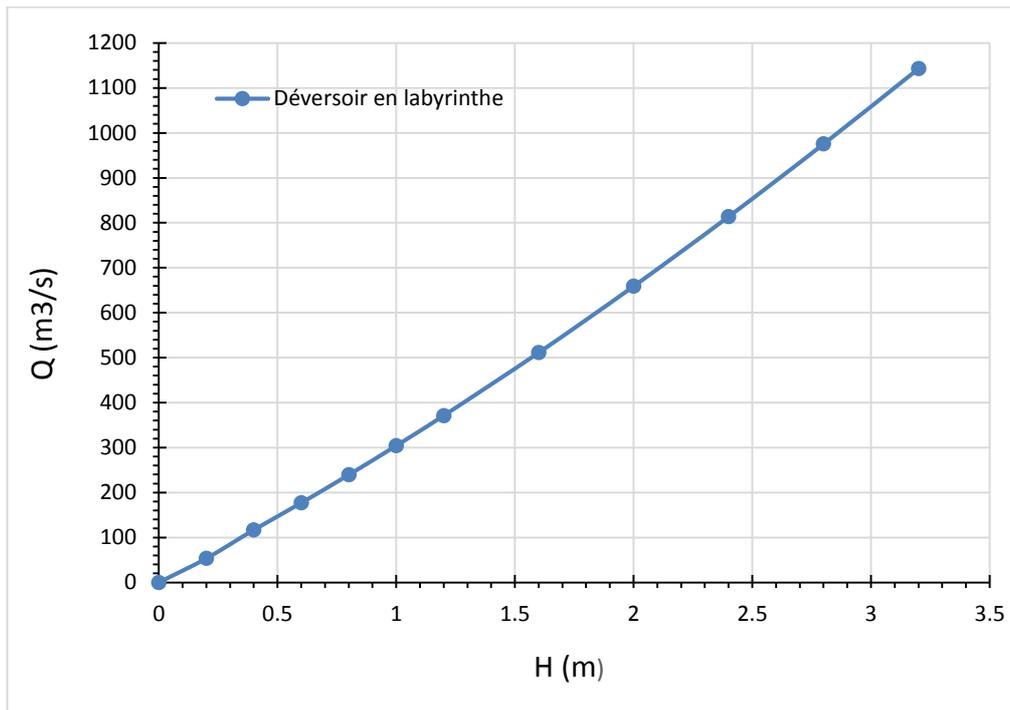


Figure IV.06 : La capacité d'évacuation de déversoir en labyrinthe

Dans la figure (IV-06) qui représente le débit en fonction de la charge sur le déversoir, on constate que le déversoir en labyrinthe avec les Caractéristiques géométriques qui ont été représenté dans le Tableau (N° IV. 3) évacue les débits effluents prendront les valeurs 391m<sup>3</sup>/s et 591.67m<sup>3</sup>/s, respectivement pour les crues avec T = 100 ans et T = 1000 ans pour une charges acceptable selon l'axe d'implantation de déversoir et la morphologie de bassin versant.

- Pour un temps de retour de 100 ans le débit égale 391 m<sup>3</sup>/s et la charge sur le déversoir en labyrinthe égale 1.25m
- Pour un temps de retour de 1000 ans le débit égale 591.67 m<sup>3</sup>/s et la charge sur le déversoir en labyrinthe égale 1.85. m

**✚ Coût du déversoir**

Comme dans la variante précédente, nous avons estimé que le prix du mètre cube de béton est de 38000Da Pour calcul la Coût de déversoir en labyrinthe ; ce prix inclus le ferrailage, le coffrage ...

Les résultats de calcul de coûts de déversoir sont représentés dans le tableau N°.V.4

Tableau N°.IV.6 Coûts du déversoir

Longueur du déversoir (m)	Charge d'eau (m)	Section du déversoir m <sup>2</sup>	Volume du déversoir (m <sup>3</sup> )	Coût du déversoir 10 <sup>6</sup> DA
60	4,78	1260	630	23.94

D'après l'estimation de la capacité d'évacuation de déversoir Creager et labyrinthe, On remarque que le déversoir en labyrinthe donné un rendement plus grand d'environ 20% pour les charge supérieure 1m par rapport le déversoir Creager.

La conception de déversoir en labyrinthe est aussi économiquement avantageuse à cause de la réduction des dépenses structurelles. Selon de ces avantages le déversoir en labyrinthe a été choisir pour la protection de la ville de Doucen (Oued Tamda) avec les caractéristique qui ont indiqué dans le tableau (IV. 3).

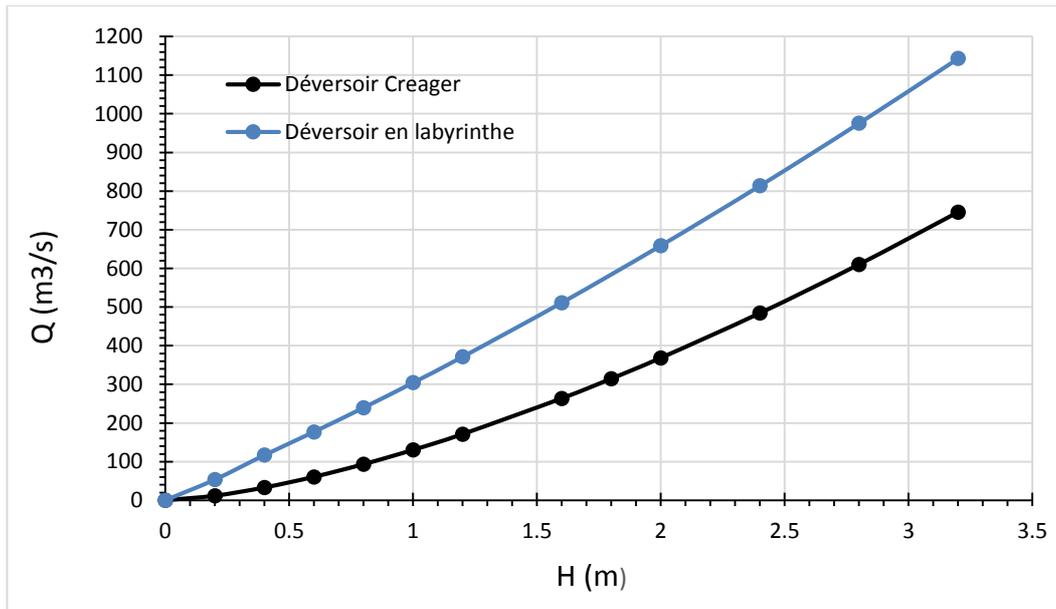


Figure IV.07 : Comparaison entre le déversoir Creager et labyrinthe

**IV.3.3 Canal d'amenée :**

Le canal d'amenée (Canal d'approche) permet de guider calmement la crue vers le seuil déversant.

-La longueur du canal d'approche est donnée par la formule suivante :

$$L = \frac{5}{\sqrt{3}} H^{2,06} \tag{IV.03}$$

H : La charge d'eau (h+ P) ;

$$L=12,88m.$$

-La vitesse d'approche est donnée par la formule :

$$V_{ap} = \frac{Q}{S_{can}} \tag{IV.04}$$

Q : Débit à évacuer [m³/s].

$S_{can}$  : Section du canal en [m<sup>2</sup>] et  $S_{can} = H \times Wt$ .

$H$  : Charge d'eau [m] et  $H = h + P$ .

$P$  : Hauteur de pelle en [m].

$h$  : Lame déversante en [m].

$$V_{ap} = \frac{391}{60 * (3.5 + 1.25)} = 1,37 \text{ m/s}$$

$V_{ap} \leq V_{adm}$  tel que  $V_{adm}$  compris entre 4,4 et 10m/s donc pas de risque de l'érosion.

#### IV.3.3.1 Gabion :

Le canal d'approche sera réalisé par un gabionnage de façon à réduire le volume des bétons classiquement utilisés dans ce type de canaux, étant donné que la vitesse d'approche n'est pas assez élevée. Aussi deux protections en gabion de 2 m de largeur, chacune seront réalisées en amont du canal d'approche, et à l'aval du canal de restitution



*Figure IV.08 : Exemple d'un Gabionnage*

#### IV.3.4 Bassin de dissipation d'énergie :

L'énergie obtenue par la chute d'eau du sommet du déversoir et qui est due à la grande vitesse de l'écoulement doit être dissipée en aval afin de protéger les berges et même le corps du déversoir contre l'érosion régressive qui peut apparaître.

Le principe de la dissipation d'énergie du flot évacué se fait par un ralentissement brutal de la vitesse de l'écoulement et donc par un changement du régime d'écoulement du torrentiel au fluvial. Pour la dissipation de l'énergie on a opté pour un bassin de dissipation à ressaut, dont la forme et le type dépendent de l'énergie de l'écoulement torrentiel.

**IV.3.4.1 Le ressaut hydraulique**

Le ressaut hydraulique est une surélévation brusque de la surface libre d'un écoulement permanent qui se produit lors du passage du régime torrentiel au régime fluvial. Il est accompagné d'une agitation marquée et de grandes pertes d'énergie

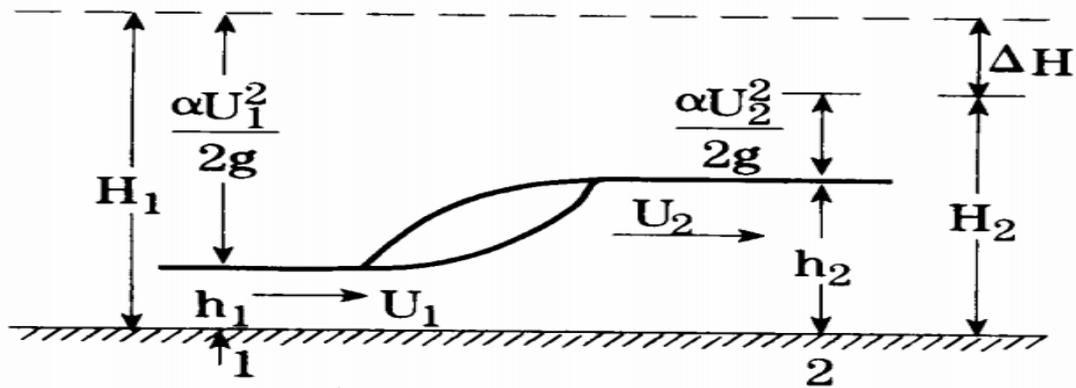


Figure IV.09 : Ressaut hydraulique

Les hauteurs h1 et h2 sont appelées profondeurs conjuguées du ressaut. La distance entre la section 1 et 2 est appelée longueur du ressaut. La perte de charge est représentée par ΔH. Pour des valeurs du nombre de Froude entre 1 et 1.7, la différence des profondeurs conjuguées entre l'amont et l'aval est très faible et le ressaut est caractérisé par de très légères rides à la surface libre.

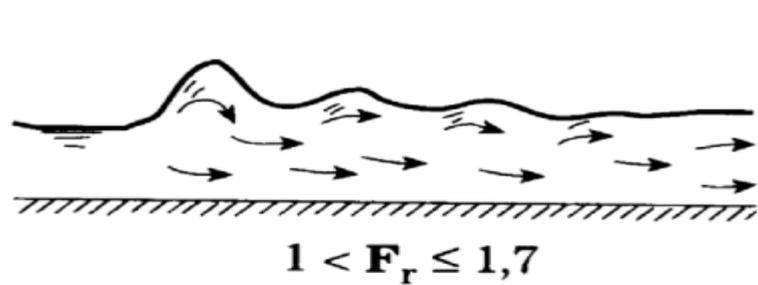


Figure IV.10 : Ressaut ondulé

**IV.3.4.2 Dimensionnement du bassin de dissipation d'énergie**

➤ **Calcul des hauteurs conjuguées du ressaut :**

Avant de déterminer hauteurs conjuguées, on définit la profondeur critique à l'aide de l'expression suivante (Saad Bennis 2009) :

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} \tag{IV.05}$$

$h_{cr} = 1.68m$

Ou :

- $\alpha$  : Coefficient = 1.1

- q : Débit unitaire =  $Q_{\max,1\%} / W$

- W : largeur de lite =60m

-g : Accélération de pesanteur

La première hauteur conjuguée est déterminée par l'expression suivante :

$$h_{c1} = \frac{q}{\phi \sqrt{2g(H+P-h_{cr})}} \quad (\text{IV.06})$$

– $\phi$  : Coefficient de répartition de la vitesse = 0.9 ;

-H : la charge sur le déversoir pour le  $Q_{\max,1\%} = 1.48$  ;

-P la hauteur de déversoir = 3m

$$h_{c1} = 1.018 \text{ m}$$

La deuxième hauteur conjuguée est déterminée par l'expression suivante (Saad Bennis 2009) :

$$h_{c2} = \frac{h_{c1}}{2} \cdot \sqrt{1 + 8 \cdot \left(\frac{h_{cr}}{h_{c1}}\right)^3 - 1} \quad (\text{IV.07})$$

$$h_{c2} = 2.0.9 \text{ m}$$

#### ➤ Calcul de la longueur du bassin de dissipation :

La longueur du bassin de dissipation dépend de la longueur du ressaut, donc nous devons d'abord calculer la longueur du ressaut avec la formule suivante :

$$L_r = 10,3 \cdot h_{c1} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{h_{cr}}{h_{c1}}\right)^3 - 1} \right]^{0,81} \quad (\text{IV.08})$$

$$L_r = 11 \text{ m}$$

Donc la longueur du bassin sera :

$$L_b = 11 \text{ m}$$

#### IV.3.5. Canal de restitution :

Le canal de fuite de section rectangulaire a pour rôle de conduire l'eau après sa dissipation au cours d'eau naturel (Souha Bahlous 2002).

#### ➤ La hauteur critique :

Donné par la formule suivante :

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gWt^2}} \quad (IV.09)$$

Donc : 
$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{391^2}{9.81 \cdot 60^2}} = 1,62$$

➤ **Pente critique :**

Donné par la formule suivante :

$$I_{cr} = \frac{Q^2}{S_{cr}^2 \cdot C_{cr}^2 \cdot R_{cr}}$$

(IV.10)

$S_{cr}$ : Section mouillée critique;  $S_{cr}=97.2 \text{ m}^2$ ;

$P_{cr}$ : Périmètre mouillé critique;  $P_{cr}=61.62 \text{ m}$ ;

$R_{cr}$ : Rayon hydraulique critique;  $R_{cr}=1,57 \text{ m}$ ;

$C_{cr}$ : Coefficient de Chezy  $C_{cr}=78.95$  avec  $n=0,16$ .

,

$$I_{cr} = \frac{391^2}{97.2^2 \cdot 78.95^2 \cdot 1,57} \cdot 100\% = 0.16\%$$

➤ **La vitesse de l'écoulement :**

$$V = C\sqrt{RI}$$

(IV.11)

$$V = 3.95 \text{ m/s}$$

$V \geq V_{adm}$  (1,8 à 2,2) m/s ; donc il faut prévoir une protection aval en enrochement.

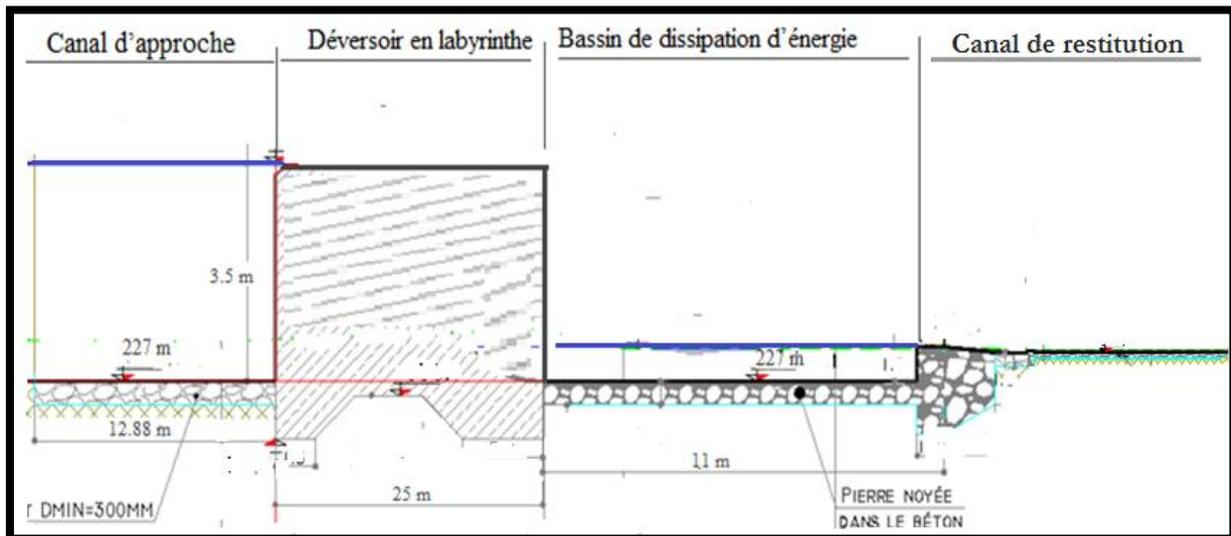


Figure IV.11 : schéma générale de protection de la ville de Doucen Oued Tamda

### IV.3 Conclusion

Le système de protection qui a été proposée dans ce chapitre pour la protection de la ville de Doucen Oued Tamda comporte les ouvrages hydrauliques suivent :

- canal d'amenée (Canal d'approche) permet de guider calmement la crue vers le seuil déversant de longueur  $L= 12,88\text{m}$ .
- D'après l'estimation de la capacité d'évacuation et l'économie de la structure de déversoir Creager et labyrinthe, On remarque que le déversoir en labyrinthe donné un rendement plus grand d'environ 20% pour les charge supérieure 1m et plus économique par rapport le déversoir Creager. Le déversoir en labyrinthe a été choisir pour la protection de la ville de Doucen Oued Tamda.
- Bassin de dissipation qui permet de dissiper l'énergie des eaux de crue avant de les instituer à l'oued de longueur 11m.
- canal de fuite de section rectangulaire a pour rôle de conduire l'eau après sa dissipation au cours d'eau naturel.

# Conclusion générale

## **Conclusion générale**

A travers ce mémoire, nous avons essayé d'abord d'expliquer la notion du risque d'inondation en montrant qu'il est un concept binomial ; combinant en plus de l'aléa (le phénomène physique), la vulnérabilité qui est les conséquences dommageables de cet aléa sur les enjeux.

L'aménagement du bassin versant de la ville de Doucen (Oued Tamda) n'était pas un but en lui-même, on s'est contracté à un exemple simple d'aménagement afin de concrétiser la méthodologie de l'impact des interventions sur la réduction de risque, et de présenter les résultats de façon simple permettant aux différents acteurs de l'utiliser pour comparer les différents projets susceptibles d'être réalisés, cette méthodologie peut aussi présenter un outil de conviction au profit des projeteurs pour convaincre les décideur.

Une protection fiable passe certainement par une étude des causes d'inondation puis par une proposition des solutions convenables.

En discutant les modes de protection on s'est amené à la conjugaison de plusieurs mesures dans le but d'assurer le plus de sécurité.

L'oued Tamda draine un bassin versant qui a nécessité une étude morpho métrique Permettant de mettre au point tous les paramètres d'influence du bassin versant et sa réponse vis-à-vis des précipitations.

Ce bassin versant est caractérisé par une surface de 289.6 km<sup>2</sup> et un périmètre de 109.62 et un indice de gravelais de  $Kc = 1.8$  possède un relief assez faible  $Ig=0.007$ , un temps de concentration moyen  $t_c=9,75$  induisant de forts débits instantanés. La valeur de la densité de drainage ( $Dd = 1,32$ ) témoigne de fortes capacités de drainage de l'oued avec un caractère torrentiel des écoulements.

Cette étude qui, sera basée sur le traitement statistique des données hydrométriques ont fait l'objet également d'analyse par l'étude des averses de courtes durées et l'établissement des courbes durées – intensités – Fréquences qui nous a permis la détermination du débit de crue centennale qui est estimé à 391 m<sup>3</sup>/s. Toutes ces investigations multiples ont été consolidées par l'utilisation des différents documents topographiques permettant la projection des ouvrages de protection. Les résultats de calcul et d'analyse des différents paramètres cités, nous ont permis la conception et le dimensionnement des ouvrages de protection en l'occurrence.

L'évacuateur de crues est la solution la plus appropriée pour l'aménagement du bassin versant de l'oued Tamda pour la protéger contre la crue centennale. L'évacuateur de crues comprend les éléments suivants (de l'amont vers l'aval) :

- ❖ Canal d'approche de longueur 12.88m et largeur 60m.
- ❖ Corps du barrage : déversoir en seuil libre type labyrinthe de largeur 60m et hauteur 3.5m
- ❖ Deux murs guideaux latéraux (Rive droite & Rive gauche)
- ❖ Bassin de dissipation d'énergie de longueur 11m et largeur 60m.
- ❖ Canal de restitution raccordant l'ouvrage au lit d'oued.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **ASNOUNI F., 2014**, Etude du transport solide en suspension dans le Bassin Versant d'oued AL ABD, Mémoire de master en hydraulique, Université de Tlemcen.
- ABDEDDAIM H., 2008**, Contribution à la mise en œuvre d'une méthode d'analyse du risque d'inondation et de prévision des solutions d'aménagement, Thèse de magister, Université de Batna.
- ANRH**, Alger-Biskra
- ANDERSON, R.M. & TULLIS, B. (2011)**. Influence of Piano Key Weir geometry on discharge. Intl Workshop on Labyrinths and Piano Key Weirs PKW 2011, CRC Press London, 75–80.
- BENNIS SAAD, 2004**, Canada, Hydraulique et hydrologie 2eme édition.
- BENMIA K., 2012**, Evaluation de la performance des barrages de protection contre les
- BRAVARD. J.P., 1991**, Les crues et inondations du Rhône, la dynamique fluviale à l'épreuve des changements environnementaux quels enseignements applicables à l'aménagement des rivières la houille blanche.
- **BOUANANI A., 2004**, Hydrologie, Transport solide et modélisation. Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérien). Thèse de Doctorat d'état, Univ. Tlemcen, 250
- BARROCA B., 2006**, Risque et vulnérabilités territoriales : les inondations en milieu urbain, Thèse de Doctorat en hydraulique, Université de Marne-La-Vallée.
- BARROCA B, POTTIER N, LEFORT E., 2005**, Analyse et évaluation de la vulnérabilité aux inondations du bassin de l'Orge Aval, Septièmes Rencontres de Théo Quant, janvier
- BEN SAID, M. 2007**. Mémoire Magister en Hydraulique, Etude de l'optimisation des évacuateurs de crues en labyrinthe, Biskra.005.
- BEN SAID, M. & OUAMANE, A. 2011**. Study of optimization of labyrinth weir. Intl Workshop on Labyrinth and piano key weirs PKW 2011, CRC press, London, 67-74.
- **BOUDJERDA M., 2005**, Protection contre les inondations de la région de fouka (W. Tipaza), Mémoire de magister, Ecole national supérieur d'hydraulique.
- BOUVARD MAURICE, 1984, Paris**, Barrage mobiles et ouvrages de dérivation, à partir de rivières transportant des matériaux solides.
- BOUSBIA.L.A.,2011**, Etude de protection de la ville d'Ain abaisa (w.Sétif) contre les inondations, Thèse de magister en hydraulique, Ecole nationale supérieure de l'hydraulique.

- CHACHOUA A., 2010**, Gestion de crue dans un bassin versant –Etude hydrologique, hydraulique et aménagement, Mémoire de Magister, Université de Tlemcen.
- DEFRANCE B., 2009**, Plan de prévention des risques naturels d'inondation (PPRNI) Brévenne –Turdine », Compte-Rendu de la 1ère réunion publique le 1er octobre 2009 à Tarare, P69, p80
- DUNGLAS J., 2014**, Stockage de l'eau : quel avenir pour les retenues collinaires, La gestion du risque inondation
- GRELOT F., 2004**, Gestion collective des inondations, peut-on tenir compte de l'avis de la population dans la phase d'évaluation économique a priori ? Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Université de Paris.
- GERARED DEGOUTTE, 2012**, Diagnostic aménagement et gestion des rivières Hydraulique et morphologie fluvial appliquées 2édition Expert hydraulique à Irstea, enseignant en écoles d'ingénieur.
- HACHEMI S.M., 2015**, Protection Des Agglomérations Contre Les inondations cas Du Centre D'el Gouassir (W. TLEMCEN), Mémoire de Master en hydraulique, Université de Tlemcen.
- HALLOUCHE B., 2007**, <<Cartographie des zones inondables de la plaine de sidi Bel Abbes par l'approche Hydro géomorphologique Mémoire Magister Université de Sidi Bel Abbes.
- HAY, N. & TAYLOR, G. 1970**. Performance and design of labyrinth weirs, Journal of the hydraulics division Proceedings of ASCE, Vol 96, N° 11, pp 2337-2357.
- HAGER W.H. & SCHLEISS J. 2009**. Constructions Hydrauliques, Écoulements stationnaires. Presses polytechniques et universitaires Romandes. Volume 15, 597 pages.
- LEDOUX. B** : « La gestion du risque inondation » Edition TEC et DOC 11 rue Lavorisier - paris- (2006).
- LENCASTRE A., 2008**, Hydraulique Générale, professeur en hydraulique Université nouvelle-Lisbonne-Portugal.
- KERKAR.M.E** ; Protection de la ville de MEFTAH (Blida) contre les inondations par aménagement de l'Oued KHADRA, Projet de fin d'étude, Ingéniorat, ENSH, Blida, Algérie 2011.
- Kabiri-Samani, A. & Javaheri, A. (2012)**. Discharge coefficients for free and submerged flow over Piano Key Weirs. Journal of Hydraulic Research, 50, 114–120.
- MERABET A., 2006**, Etude de la protection de la ville de Sidi Bel Abbés contre les inondations, Mémoire de Magister, Université de Djilali Liabes-Sidi Bel Abbés

- MEDD, 2004**, Le ralentissement dynamique pour la prévention des inondations. Guide des aménagements associant l'épandage des crues dans le lit majeur et leur écrêtement dans de petits ouvrages, Ministère de l'écologie et du développement durable, Cemagref, 129 p. Le guide est téléchargeable à l'adresse suivante (consultée le 30/8/2010) : Mémoire de Magister, Université de Djilali Liabes-Sidi Bel Abbés.
- MAGALHAES, A. 1985. LABYRINTH-WEIR SPILLWAYS**. 15th Congress on Large Dams, ICOLD, Vol. IV, Q59, R 24, pp. 395-407, Lausanne.
- MARC IGIGABEL, 2014**, Virginie Chaouch (CETMEF), Mohamed El Fadili (CETMEF) Juillet 2014-Coût des protections contre les inondations fluviales
- METREVELL. V, 1990**, Alger, Hydrogéologie Et Phénomène De Transport.
- NAAIM M, DEGOUTTE G, DELORME F., 2010**, Les vagues dans les retenues d'altitudes analyse et méthodes pour la prévention. Cemagref, Sciences eaux et territoires, numéro spécial risques naturels.
- PIERRE J., 2007**, Surveillance du risque hydrologique diffus le long des itinéraires routiers, Thèse de Doctorat, Ecole nationale des ponts et chaussées, Paris.
- SALOMON J.N., 1997** : « L'homme face aux crues et aux inondations », Presses Universitaires de Bordeaux, Université Michel de Montaigne - Bordeaux.p69-80
- SERRE D., 2005**, Evaluation de la performance des digues de protection contre les inondations Modélisation de critères de décision dans un Système d'Information Géographique THÈSE pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de Marne-La-ValléeParis.
- TALAH S., 2014**, Contribution à l'étude des risques des inondations de l'oued Mellah W. Djelfa par les systèmes d'informations géographiques (Arc Gis et HEC-geoRAS) ; en utilisant le logiciel HEC-RAS, Mémoire de Magister, Université de M'silla.
- TALATIZIA** ; Etude des infiltrations à travers une digue de barrage en terre, cas d'un barrage Algérien, Projet de fin d'étude, Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 2014.
- TOUAIBIA.B** ; Manuel pratique d'hydrologie, ENSH, Blida, Algérie. 2004
- TULLIS, B. 2007**. Predicting submergence effects for labyrinth weirs, International Symposium on Dams in the Societies of the XXI Century, Barcelona.
- **YAHIAOUI A., 2012**, Inondations torrentielles\_ cartographie des zones vulnérables en Algérie du nord (cas de l'oued Mekrra, Wilaya de Sidi Bel Abbés), Thèse de doctorat, Ecole Nationale Polytechnique.
- .