

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

NATIONAL HIGHER SCHOOL FOR  
HYDRAULICS



المدرسة الوطنية العليا للري

"المجاهد عبد الله عرباوي"

"The Mujahid Abdellah ARBAOUI"

ⵎⴰⵔⵉⵜ ⵏ ⵙⵉⵎⵓⵔ ⵏ ⵙⵉⵎⵓⵔ ⵏ ⵙⵉⵎⵓⵔ ⵏ ⵙⵉⵎⵓⵔ

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

*Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique*

**Option: OUVRAGES HYDROTECHNIQUES**

**THEME :**

**ETUDE DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS  
DE LA VILLE D'EL BATEN A BOUSSADA (W.MSSILA)**

**Présenté par :**  
SARA KROK

**Devant les membres du jury**

<b>Nom et Prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
A.ZEROUAL	MCA	Président
S.TOUMI	MCB	Examineur
N.HADJ SADOK	MAA	Examineur
B.BENLAOUKLI	MCA	Promoteur

**Session Octobre 2020**

## **DEDICACE**

Du fond du cœur je dédie ce mémoire en signe d'amour, de respect et de reconnaissance :

A mes chers parents Pour leur soutien, patience et sacrifices durant mes années d'études et tout au long de la réalisation de ce modeste projet, je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain. Qu'Allah le tout puissant vous protège, vous accorde la santé, le bonheur et le paradis sans châtement.

A mes chers frères et sœurs, mes amis, et tous les gens formidables que j'ai eu la chance de rencontrer.

A toute personne honnête dans un monde plein d'hypocrisie

Sara Krok

## **REMERCIEMENTS**

En tout premier lieu je remercie ALLAH (swt) le tout puissant, fort et dominant, aucune force ne peut lui nuire et aucun pouvoir ne peut lui rendre incapable. Oh Allah merci de m'avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés, merci de m'avoir donné l'espoir et la foi même dans les moments les plus sombres.

Au terme de ce modeste travail je tiens à remercier Mr B. BENLAOUKLI pour avoir accepté de m'encadrer, pour son soutien, son encouragement et sa disponibilité.

J'exprime de même ma gratitude aux membres du jury qui ont bien voulu m'honorer de leur présence pour évaluer mon travail.

Je me sentirais coupable d'ingratitude si je ne remerciais pas Mr A. BOURELAF pour sa mise en disposition et ses conseils précieux pour l'établissement de ce mémoire.

J'adresse mes remerciements à tous mes professeurs qui m'ont accompagné durant tout mon parcours scolaire depuis que j'étais toute petite.

Que tous ceux qui de près ou de loin ont apporté leur contribution à la réalisation de ce travail, je vous prie de trouver l'expression de ma profonde reconnaissance, particulièrement :

NABILA.S, SERINE.K, YACINE.B, ALAA.F, AHMED.B.

Sara Krok

## ملخص

يهدف عملنا هذا إلى حماية مدينة الباطن الواقعة ببوسعادة ولاية المسيلة من الفيضانات المهددة لها . ومن أجل الوصول إلى الهدف المنشود قمنا بعدة دراسات أساسية انطلاقا من الدراسة الهيدرولوجية لتحليل منسوب مياه الأمطار وتحديد كمية التدفق مرورا بالدراسة الطبوغرافية التي تليها الدراسة الهيدروليكية التي أجرينا على إثرها محاكاة لتدفق مياه واد الباطن وذلك باستعمال برنامج خاص. وفي الأخير قمنا باقتراح عدة خيارات ودراستها بغية الوصول لأفضل حل من الناحيتين التقنية والاقتصادية على حد سواء.

**الكلمات المفتاحية :** حماية، فيضانات، التدفق، الأمطار، دراسة هيدرولوجية.

## Résumé

L'objectif de notre travail est d'étudier l'inondation de la ville d'El baten à Boussaâda wilaya de Msila due aux eaux de crues afin d'aboutir à un système fiable et invulnérable, Nous avons eu recours à plusieurs disciplines, D'abord une étude hydrologique pour l'analyse des précipitations et la quantification des débits. Ensuite une étude topographique et un calcul hydraulique qu'on l'a vérifié par une simulation faite par le logiciel HEC-RAS. Enfin une étude technico-économique a été élaborée pour choisir la variante d'aménagement la plus adéquate parmi d'autres proposées au préalable.

**Les mots clés :** Protection, inondation, débit, précipitation, étude hydrologique.

## Abstract:

The purpose of this study is to protect the town of El baten city of Boussada wilaya of Msila from the floods by elaborating a system of landscaping of the rivers. In this context we have used different disciplines. First we have established a hydrological study for the analysis of precipitations and the quantification of flows. Then topographic and hydraulic studies followed by a simulation using the HEC-RAS software. Finally, we proposed different landscaping options in order to choose the most suitable one based on a technical and economic point of view.

**Key words:** protection, floods, flow, precipitation, hydrological study.

## SOMMAIRE

<b>Liste des figures .....</b>	<b>9</b>
<b>Liste des tables.....</b>	<b>11</b>
<b>Introduction Générale :.....</b>	<b>15</b>
<b>CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE.....</b>	<b>17</b>
Introduction.....	17
I.1. Géographie.....	17
I.1.1. Situation géographique de la commune de Boussada .....	17
I.1.2. Répartition administratif.....	18
I.2. Présentation de la démographie .....	19
I.3. Délimitation de la zone d’étude .....	19
I.4. Climatologie .....	20
I.4.1. Pluviométrie.....	20
I.4.2. Température.....	21
I.4.3. Vent .....	22
I.4.4. Humidité .....	22
I.5. Géologie .....	22
I.6. Hydrogeologie .....	25
I.7. Sismicité .....	26
Interprétation .....	27
Conclusion .....	27
<b>Chapitre II : Généralités sur les crues.....</b>	<b>29</b>
Introduction.....	29
II.1. Paramètres fondamentaux d’un cours d’eau(Touati, 2010) .....	29
II.1.1. Définition d’un cours d’eau .....	29
II.1.2. Lit d'un cours d'eau.....	29
II.2. Les inondations .....	30
II.3. La crue.....	31
II.4. Types d'inondation .....	31

II.4.1. Crues de plaine ou fluviales.....	31
II.4.2. Crues de type torrentiel ou éclair .....	32
II.4.3. Le ruissellement pluvial en secteur urbain .....	32
II.5. Le risque des inondations en Algérie .....	33
II.5.1. La vulnérabilité .....	33
II.5.2. L'aléa.....	34
II.6. Les causes d'inondation en Algérie .....	34
II.6.1. Perturbations météorologiques (origine et mécanisme de formation) .....	34
II.6.2. Les crues catastrophiques (Yahiaoui, 2012).....	35
II.7. Inventaire des inondations catastrophiques en Algérie (1971 – 2011) (Yahiaoui, 2012) 37	
II.8. Les inondations dans la zone d'étude.....	40
Conclusion .....	40
<b>Chapitre III : Etude hydrologique .....</b>	<b>43</b>
Introduction .....	43
III.1. Caractéristiques principales du bassin versant .....	43
III.1.1. Bassin versant .....	43
III.1.2. Caractéristique géographiques du bassin versant.....	44
III.1.3. Caractéristiques géométriques du bassin versant .....	45
III.1.4. Caractéristiques morphologiques du bassin versant.....	46
III.1.5. Paramètres du relief.....	48
III.1.6. Caractéristiques hydrographiques du bassin versant.....	53
III.2. Caractéristiques climatiques :.....	57
III.2.1. Température de l'air : .....	57
III.2.2. Pluviométrie .....	57
III.2.3. Pluies de courtes durées de différentes fréquences et leurs intensités .....	65
III.2.4. Etude des apports .....	67
III.2.5. Etudes des crues .....	70
III.2.5.2. Hydrogramme de crue .....	72
Conclusion .....	78
<b>Chapitre IV : calcul hydrologique .....</b>	<b>80</b>

Introduction .....	80
IV.1. Généralités .....	80
IV.1.1. Ecoulement à surface libre.....	80
IV.1.2. Canaux à ciel ouvert .....	80
IV.1.3. Différents types de Canaux.....	80
IV.1.4. Types d'écoulements .....	81
IV.2. Dimensionnement des canaux .....	83
IV.3. Les paramètres géométriques .....	84
IV.3.1. Le choix de la section de meilleure conductivité .....	84
IV.3.2. Calculs du rayon hydraulique maximal .....	87
IV.3.3. Calcul de la profondeur normale $h_n$ .....	87
IV.3.4. Calcul de la profondeur critique $h_{cr}$ .....	88
IV.3.5. Calcul de la pente critique .....	89
IV.3.6. Nombre de Froude.....	89
IV.4. Calcul de la ligne d'eau .....	89
IV.4.1. Calcul de la surface d'eau .....	93
IV.5. Calcul du ressaut .....	93
IV.6. Définition du logiciel IHEC-RAS[3] .....	95
IV.6.1. Données nécessaires pour l'application du code de calcul IHEC-RAS .....	95
IV.7. Calcul avant l'aménagement de l'oued: .....	98
IV.8. Interprétation: .....	103
Conclusion: .....	103
<b>V. Chapitre V : Etude des variantes d'aménagement .....</b>	<b>105</b>
Introduction .....	105
V.1. Processus de l'aménagement dans le cadre de l'étude .....	105
V.1.1. Objectif d'aménagement .....	105
V.1.2. Les formules de dimensionnement des canaux.....	106
V.1.3. Choix des paramètres de dimensionnement La pente du projet .....	107
V.2. Description des variantes proposées pour l'étude :.....	108

V.2.1. Première variante : Protection avec un canal en béton armé à section rectangulaire : .....	109
V.2.2. Deuxième variante: Protection avec un canal en béton cyclopéen : .....	111
V .3 Choix de la variante d'aménagement .....	113
Conclusion : .....	114
<b>Chapitre VI : Organisation de chantier.....</b>	<b>116</b>
Introduction .....	116
VI.1. Organisation de chantier.....	116
VI.1.1. Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier.....	116
VI.1.2. Travaux préparatoires et installation de l'entreprise .....	116
VI.1.3. Installations destinées au personnel .....	117
VI.1.4. Installations destinées au stockage des matériaux .....	117
VI.1.5. Installations destinées à la réparation des engins .....	117
VI.1.6. Installation destinée pour la préfabrication.....	118
VI.2. Moyens du chantier .....	118
VI.2.1. Moyens humains .....	118
VI.2.2. Moyens matériels du chantier .....	118
VI.2.3. Devis quantitatif et estimatif du projet : .....	124
VI.3. Planification.....	124
VI.3.1. Définition .....	124
VI.3.2. Les étapes de la planification.....	125
VI.3.3. Les techniques de planification.....	125
Conclusion : .....	138
<b>Conclusion Générale.....</b>	<b>140</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>141</b>



## Liste des figures

Figure I-1 : Situation géographique du secteur d'étude. ....	18
Figure I-2: Situation administratif de la commune de Boussada. ....	19
Figure I-3: Délimitation de la zone (Google Earth). ....	20
Figure I-4: Courbe d'évolution de la précipitation moyenne. ....	21
Figure I-5: Courbe de répartition de température.....	22
Figure I-6 Extrait de la carte géologique de Boussaada.: ....	23
Figure I-7: Coupe géologique de la zone de Boussaada.....	25
Figure I-8: Carte piézométrique du B.V de Boussaada 2015. ....	26
Figure I-9: Carte des zones sismiques de l'Algérie.(RPA 2003). ....	27
Figure II-1: Lit mineur.....	30
Figure II-2: Lit moyen. ....	30
Figure II-3: Lit majeur. ....	30
Figure II-4: Niveau de crue au niveau des lits de l'oued.....	31
Figure II-5: Les inondations par ruissellement pluvial en secteur urbain. ....	33
Figure II-6: Schématisant l'aléa au risque inondation.....	34
Figure II-7: Distribution des perturbations par année. ....	35
Figure II-8:Schéma représentant l'aléa et la vulnérabilité au risque inondation (Bâb El Oued). .....	39
Figure III-1: Bassin versant d'Oued El Batin. ....	45
Figure III-2: Rectangle équivalent. ....	48
Figure III-3: Courbe hypsométrique du bassin d'Elbaten. ....	49
Figure III-4: Profil en long.....	53
Figure III-5: : Moyenne mensuelle des températures minimales et maximales à Bou Saada. .	57
Figure III-6 : Répartition mensuelle des pluies.....	59
Figure III-7: Représentation graphique de la loi de Gumbel. ....	62
Figure III-8: Représentation graphique de la loi Log-normal.....	63
Figure III-9: Représentation des courbes de Pluies de courtes durées de différentes fréquences. .....	67
Figure III-10: Hydrogramme de crue. ....	78
Figure IV-1: canal naturel.....	80
Figure IV-2: Schéma d'un écoulement permanent .....	81
Figure IV-3: Schéma d'un écoulement non permanent.....	82
Figure IV-4: Canal à forme trapézoïdale .....	85

Figure IV-5: Canal à forme rectangulaire.....	86
Figure IV-6: :Différentes formes de courbes de remous. ....	92
Figure IV-7:Schéma d'un ressaut hydraulique. ....	93
Figure IV-8: Typologie des ressauts.....	94
Figure IV-9: Fenêtre d'accueil du logiciel HEC-RAS .....	97
Figure IV-10: Définition du tracé de l'oued et des sections.....	97
Figure IV-11: Définition de la crue et des conditions aux limites. ....	98
Figure IV-12: Profil en long du tronçon simulé avec la ligne de surface d'eau d'oued El Baten .....	100
Figure IV-13: Vue en Plan en 3D de la partie d'Oued El Baten (chaaba5), après la simulation. .....	100
Figure IV-14: Section en travers (RS0) du canal et résultats de simulation. ....	101
Figure IV-15: Section en travers (RS2) du canal et résultats de simulation. ....	101
Figure IV-16: Section en travers (RS4) du canal et résultats de simulation. ....	101
Figure IV-17: Section en travers (RS10) du canal et résultats de simulation. ....	102
Figure IV-18: Section en travers(RS43) du canal et résultats de simulation. ....	102
Figure IV-19:Section en travers (RS51) du canal et résultats de simulation.....	102
Figure V-1: Schémas explicatifs des différents canaux.....	107
Figure V-2: Schéma explicatif de canal rectangulaire ouvert.....	109
Figure V-3: Section aménagée (dernier tronçon).....	110
Figure V-4: Schéma explicatif du béton cyclopéen .....	111
Figure V-5: Section aménagée (dernier tronçon).....	113
Figure VI-1: Compacteur à pneus. ....	118
Figure VI-2: Compacteur à rouleaux.....	119
Figure VI-3:Décapeuse automotrice.....	120
Figure VI-4: Pelle hydraulique.....	121
Figure VI-5: Camion de chantier. ....	121
Figure VI-6: chargeur pneumatique. ....	122
Figure VI-7: bulldozer. ....	123
Figure VI-8: camion à bétonnière. ....	123
Figure VI-99: Réseau de planification des taches par la méthode CPM. ....	132
Figure VI-10: : Diagramme de GANTT réalisé à partir du logiciel GANTTPROJECT. ....	132
Figure VI-11: Diagramme de PERT réalisé à partir du logiciel GANTTPROJECT. ....	133
Figure VI-12: équipements de la protection individuelle. ....	136

## Liste des tables

Table I-1: Répartition de température. ....	21
Table I-2: Répartition de vitesse du vent. ....	22
Table III-1: Calcul du rectangle équivalent. ....	48
Table III-2: Coordonnées de la courbe hypsométrique. ....	49
Table III-3: Tableau récapitulatif des résultats précédents. ....	50
Table III-4: Evaluation de la pente moyenne. ....	50
Table III-5: Détermination de la pente M.Roche Ip. ....	52
Table III-6: Récapitulatif des caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant. ....	56
Table III-7: Stations pluviométriques. ....	58
Table III-8: Répartition mensuelle des précipitations. ....	58
Table III-9 : Pluies maximales journalières prise de la station 050702 (Source ANRH). ....	59
Table III-10: Caractéristique de la série pluviométrique (32 ans). ....	60
Table III-11: Résultat de l'ajustement à la loi de GUMBEL. ....	61
Table III-12: Comparaison des caractéristiques de la loi de Gumbel et de l'échantillon. ....	62
Table III-13: Résultat de l'ajustement à la loi Log-normal. ....	63
Table III-14: Comparaison des caractéristiques de la loi de Galton et de l'échantillon. ....	64
Table III-15: Pluies de courtes durées de différentes fréquences et leurs intensités. ....	65
Table III-16: Récapitulatif des débits maxima de crue (m <sup>3</sup> /s). ....	72
Table III-17: Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue $\delta$ . ....	73
Table III-18: Calcul de l'hydrogramme de crue. ....	74
Table V-1: Paramètres hydrauliques pour différentes formes de canaux. ....	107
Table V-2: Valeurs de coefficient de rugosité. ....	107
Table V-3: Valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés. ....	108
Table V-4: : Revanches utilisées (Freeboard) (degoutte,2008) ....	108
Table V-5: Dimensions et paramètres d'écoulement de l'aménagement d'Oued El Baten (canal rectangulaire en béton armé). ....	109
Table V-6: Devis de la variante (canal en béton armé). ....	111
Table V-7: : Dimensions et paramètres d'écoulement de l'aménagement d'Oued EL BATEN (canal rectangulaire en Béton cyclopéen). ....	112
Table V-8: Devis de la variante (canal en béton cyclopéen). ....	113

Table VI-1: Le devis des différents travaux d'Oued EL BATEN.....	124
Table VI-2: : Liste des opérations avec leurs durées.....	131
Table VI-3: : Succession des taches. ....	131
Table VI-4: : Un plan de sécurité adapté aux travaux de réalisation. ....	137

## Liste des planches

**Planche n°1** : Plan de situation d'oued EL BATEN, Boussada (W.Msila).

**Planche n°2** : Profil en long d'oued EL BATEN, Boussada (W.Msila).

**Planche n°3** : Profil en travers après aménagement de quelques sections d'oued EL BATEN, Boussada (W.Msila).

**Planche n°4A** : Plan d'aménagement et d'implantation d'oued EL BATEN, Boussada (W.Msila).

**Planche n°4B** : Plan d'aménagement et d'implantation d'oued EL BATEN, Boussada (W.Msila).

**Planche n°5** : Planning des travaux d'aménagement d'oued EL BATEN, Boussada(W.Msila).

**INTRODUCTION**  
**GENERALE**

### Introduction Générale :

Les inondations peuvent se définir comme l'envahissement par l'eau de lieux terrestres habituellement émergés. Plusieurs causes et des processus complexes aboutissent à ce phénomène, dont l'ampleur peut conduire à une catastrophe majeure. On considère que les inondations sont responsables de plus de 60% de mortalité totale. Elles entraînent la destruction des villes et des villages, la propagation des maladies dangereuses et le gel de toute activité contribuant au développement des différents secteurs économiques et sociaux.

Pour un pays en voie de développement comme l'Algérie, les bilans des dégâts humains sont souvent lourds à porter étant donné que plusieurs régions du pays sont touchées par ce phénomène majeur. EL BATEN à BOUSSADA est une ville touchée par ce phénomène destructible dans certains lieux qu'on classe vulnérable.

L'objectif de notre travail est d'étudier l'inondation de cette ville due aux eaux de crues, et de traiter les moyens de protection contre ce phénomène par des aménagements de protection, Il faut aussi assurer le bon fonctionnement de chaque ouvrage une fois exécuté ainsi que leur maintenance permanente.

# **CHAPITRE I**

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



### CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.

#### 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 la conception du projet.

#### I.1. Géographie

##### I.1.1. Situation géographique de la commune de Boussada

La ville de Bou Saâda se trouve à 234 km au Sud-Est d'Alger, et à 13 km au Sud-Est de Chott El-Hodna, avec une latitude de 35°13' Nord et une longitude de 4°10' Est sur une altitude de 560m au-dessus du niveau de la mer.

Bou Saada est une daïra de la wilaya de M'Sila, peuplée d'environ 310 000 habitants. Elle est limitée au Nord par M'Sila, Biskra au Sud-Est et Djelfa du côté Sud-Ouest.

La plaine hodnéenne fait partie des Hauts Plateaux et appartient au domaine steppique, pré saharien. Elle est limitée:

- Au nord et au sud par la chaîne tellienne et la chaîne atlasique, respectivement aux environs des coordonnées géographiques 35°45' et 34° 30' de latitude Nord.
- A l'ouest et à l'est, par le débordement des formations atlasiques et la rencontre des deux chaînes (Monts des Aurès); respectivement aux coordonnées géographiques 04° 45' et 5° 45' de longitude Est.

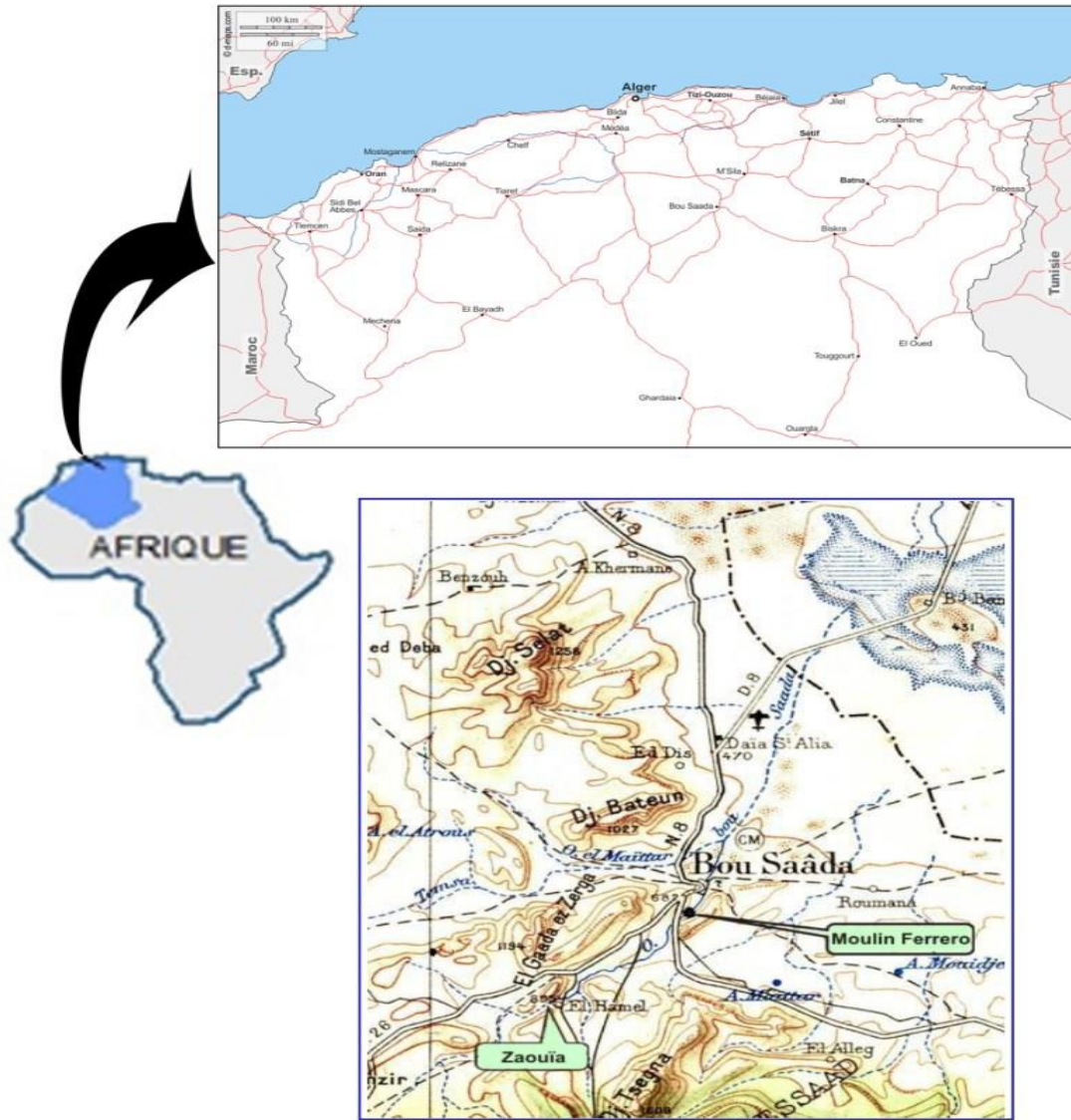


Figure I-1 : Situation géographique du secteur d'étude.

## I.1.2. Répartition administratif

La commune de Bou Saada est limitée :

- Au nord par la commune d'Ouled Sidi Brahim.
- Au nord est par la commune de Maarif.
- A l'est par la commune d'El Houamed.
- A l'ouest par la commune de Tamsa.
- Au sud est par la commune d'Oueltem.
- Au sud-ouest par la commune d'El Hamel.

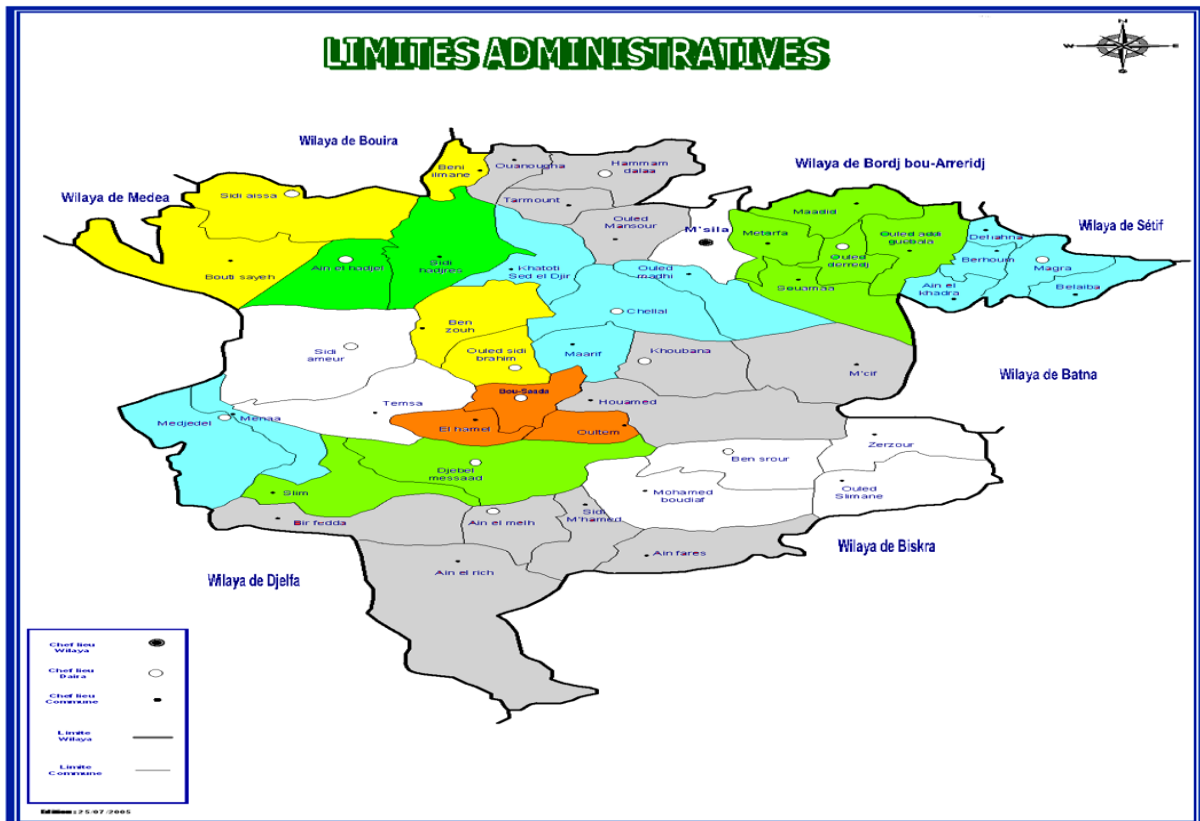


Figure I-2: Situation administratif de la commune de Boussada.

Source : DRE Msila  
(2019)

## I.2. Présentation de la démographie

Bou Saada est la deuxième commune la plus peuplée de la wilaya de M'Sila après la commune de M'Sila, selon le recensement général de la population et de l'habitat de 2008 (125 573 habitants), la population de la commune a est évaluée à 152 306 habitants en 2015.

Tableau I-1: Evolution de la population à Bou Saada.

2015	2008	1998	1987
152 306	125 573	104 029	66 688

\*Source DPAT

## I.3. Délimitation de la zone d'étude

Notre zone d'étude (ville d'Elbaten) est située dans une région touristique riche des oasis et des cascades, la ville de BOU SSAADA qui est une commune de la wilaya de MSSILA.

Cet emplacement est traversé par 05 ruisseaux (CHAABAA) qui constituent oued ELBATEN.

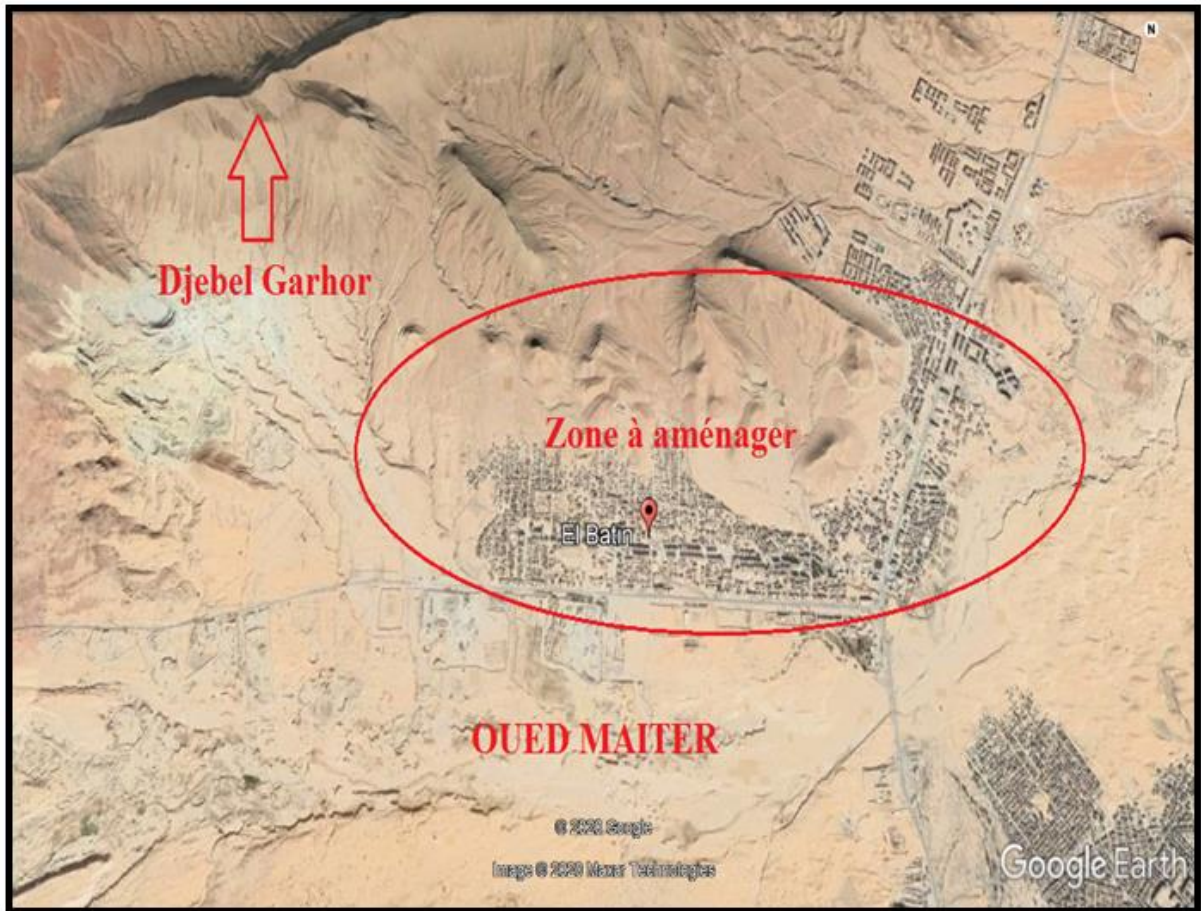


Figure I-3: Délimitation de la zone (Google Earth).

### I.4. Climatologie

Le climat régnant sur la ville de Bou-Saada est un climat méditerranéen puisqu'il est soumis aux nombreuses perturbations qui affectent le bassin Méditerranéen, il est également soumis pendant une partie de l'année aux mêmes conditions climatiques sévères qui règnent sur le Sahara. c'est un climat de type semi-aride, avec un été sec et très chaud et un hiver très froid. Les aléas du climat sont, la désertification et une pluviométrie faible et irrégulière et inégalement répartie.

#### I.4.1. Pluviométrie

Les précipitations sont en moyen de 100 à 200 mm/an, avec une pluviométrie mal réparties dans le temps et dans l'espace et des orages peu fréquents, répartis sur une dizaines de jours par an et pendant les mois très chauds. Aussi On note 30 jours de gelée blanche par an.

## CHAPITRE I : Présentation de la zone d'étude

Tableau I-2: précipitations moyennes.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
<b>Pluie en mm</b>	6	21	1	27	23	2	00	11	15	9	2	2	120

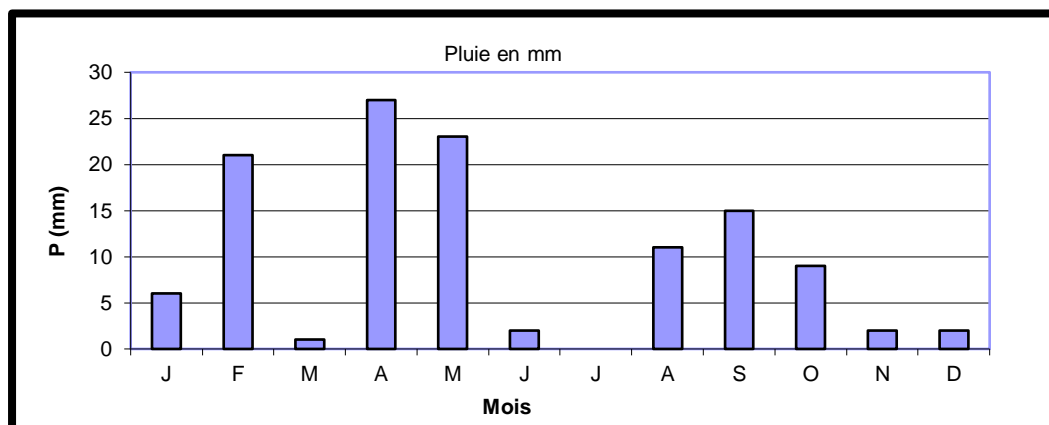


Figure I-4: Courbe d'évolution de la précipitation moyenne.

### I.4.2. Température

La température moyenne en mois de juillet est de 33° et parfois elle atteint 43.5°C. En hiver la température la plus basse atteint 07°C (mois de Janvier).

Table I-1: Répartition de température.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AN.
<b>Température moy. min</b>	2	4.8	5.6	10.1	14.5	20.1	23.6	23.1	21.3	11.4	7.7	2.1	12.2
<b>Température moy. max.</b>	14.8	17.2	20.9	24.4	26.1	35.4	40.2	37.5	33.3	24.5	19.4	14.5	25.7
<b>Température moyenne</b>	7.3	11.2	12.1	18.3	21	28.9	32.9	30.8	27.4	18.1	14.2	8.1	19.2

Source : ANRH

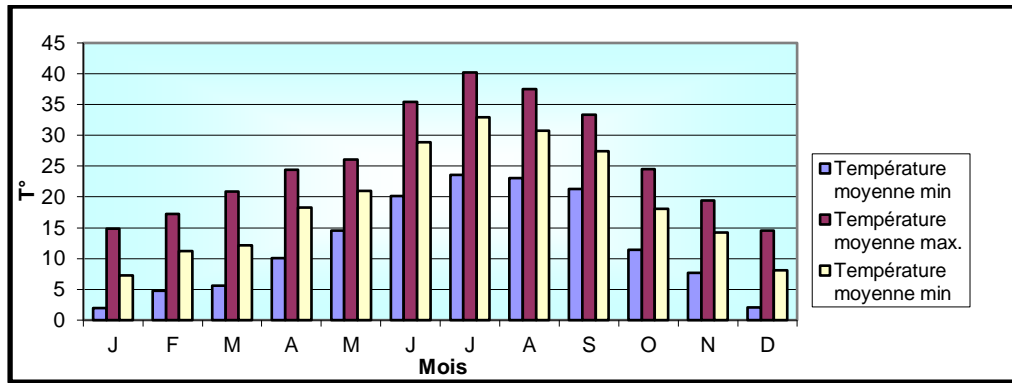


Figure I-5: Courbe de répartition de température.

### I.4.3. Vent

Les vents sont canalisés par l'orientation du relief et ils participent à la fois au système tellien et saharien.

L'hiver, les hautes pressions installées sur le tell et l'atlas Saharien, engendrent les vents du Nord-Est froids et secs.

En été les vents du Sud-Est, très chaud sont prédominants ; le sirocco souffle en moyenne 15 jours

Table I-2: Répartition de vitesse du vent.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	MA
Vitesse moy(m/s)	2.38	1.92	1.42	2.32	1.87	1.83	1.57	1.7	1.88	1.37	2.18	2.22	1.89

Source : ANRH

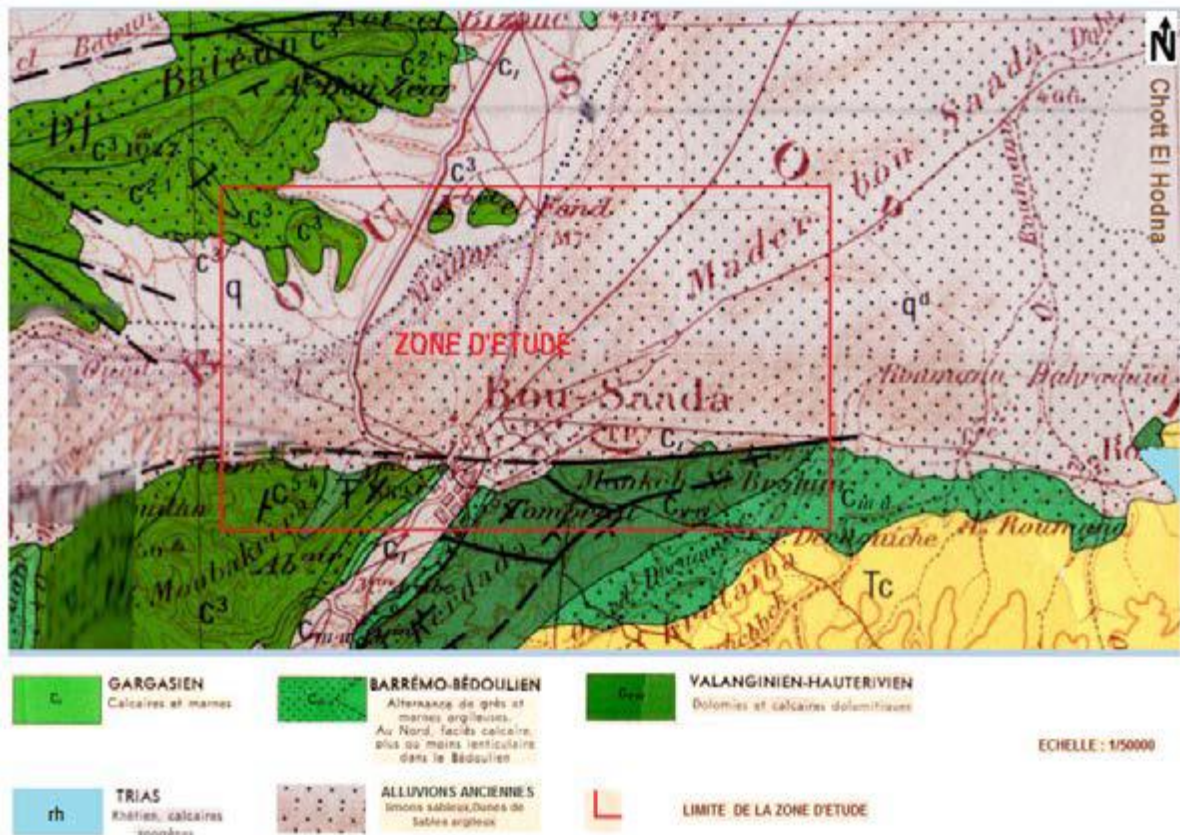
### I.4.4. Humidité

Concernant la ville de Boussaada, et selon Accuweather, la région possède une humidité relative de l'air qui varie entre 37% et 65%.

## I.5. Géologie

La cuvette actuelle du Hodna est issue en grande partie du plissement du début du territoire ( LUTETIEN).Après le plissement , les dépôts continentaux de l'Eocène et de l'Oligocène comblent partiellement la dépression, dès le début du Miocène, elle envahie par la mer burdiglienne, seul la région de Bou-Saada reste émergée. A la fin du Miocène, la mer se

retire, le remblaiement continental est alors très important à la fin du Miocène (PONTIEN) et au Pliocène.



*Figure I-6 Extrait de la carte géologique de Boussaada.:*

Les formations, post-triasiques, du bassin sont décrites dans l'ordre stratigraphique :

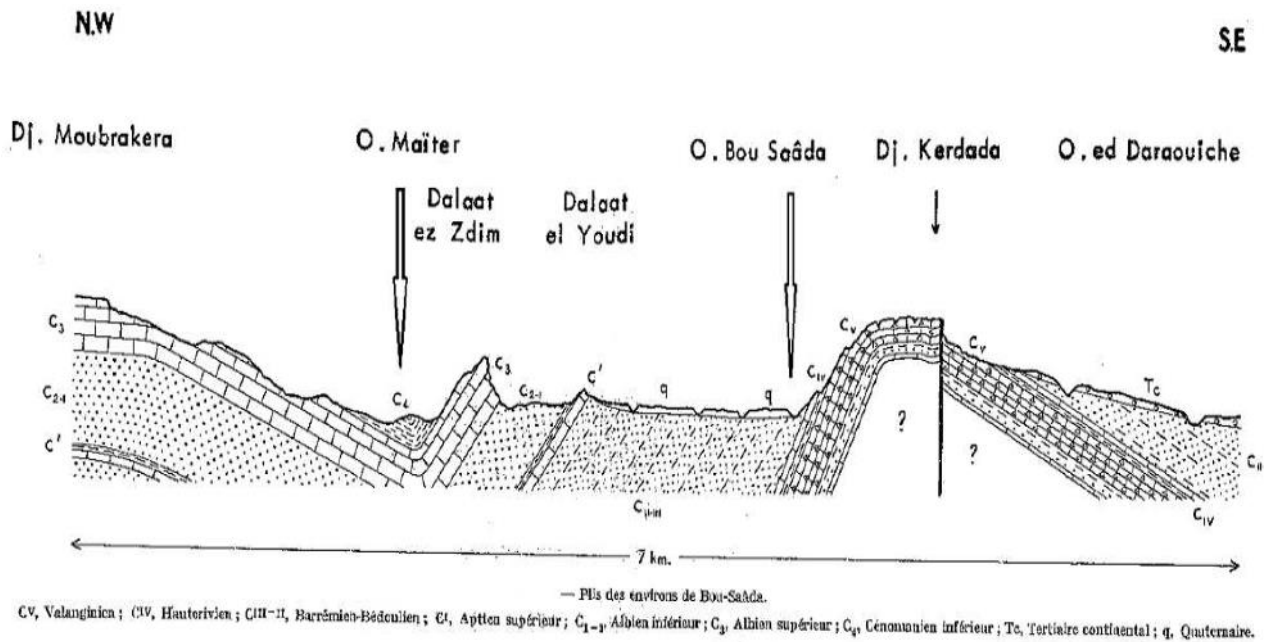
- **Alluvions anciennes et récentes** : Des limons souvent très riches en matière sableuse, atteignant parfois une épaisseur supérieure à 10 cm.
- **Dunes** : Localisées dans la cuvette des oueds TAMSA et MAITER, des sables souvent chargés en matière argileuse, ils proviennent de l'érosion de grés.
- **Tertiaire continental** : Ces formations sont localisées au Sud de BOU-SAADA, elles sont constituées par des dépôts d'argile rouge et de sables. L'épaisseur de ces formations est très variable de 50 à 250 m.
- **Aptien supérieur** : À une épaisseur de 200 m environ, Turonien : caractérisé par des calcaires et des marnes à intercalations calcaires.

## CHAPITRE I : Présentation de la zone d'étude

---

- **Cénomaniens** : Ces formations situées au Sud de BOU-SAADA, elles sont à prédominance carbonatée, dans lesquelles les horizons gypseux sont réduits.
- **Barrémo-Bédoulien** : Dans la région de Bou Saada, le Barrémien est représenté par une épaisse série de grès tendres continentaux à stratification entrecroisée et d'argiles vertes ou lie de vin silteuses, avec des intercalations de bancs calcaires et dolomitiques rattachées à l'Aptien inférieur ou Bédoulien. C'est l'ensemble Barrémo-Bédoulien. Au NE du bassin, le Barrémien et l'Aptien inf. forment une épaisse série de calcaires, dolomies, marnes et grès.
- **Albien** Dans la région de Bou Saada : série de grès tendres à stratification entrecroisée, sur plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, avec intercalations d'argiles vertes silteuses et sableuses, faciès annonçant le « Continental Intercalaire » saharien, parfois surmontées par une série carbonatée alternant avec des formations détritiques. Dans les Monts du Hodna, l'Albien est très réduit (calcaires et marnes) ou absent.
- **Cénomaniens** Sur environ 500 m on trouve : une série argileuse, puis une série de gypses et de calcaires. Au sommet, la puissante formation calcaro-dolomitique aquifère est parfois attribuée au Turonien.
- **Turonien** Dans la région de Bou Saada, ce sont des Calcaires bitumineux en plaquettes, marnes, et dolomies sur environ 100m. Au forage de M'doukal, les dolomies sont aquifères. Au Dj Metlili la série fait 400m d'épaisseur.
- **Sénonien Inférieur** Série argileuse et marneuse de 100m , surmontée dans la région de BouSaada par d'épais calcaires et marnes. Les marnes ont 600m d'épaisseur au Dj Metlili
- **Tertiaire indéterminé** Dans la région de Bou Saada, le Tertiaire est formé uniquement de dépôts continentaux : argiles rouges et conglomérats d'âge indéterminé
- **Quaternaire** Alluvions récentes et formations dunaires ; limons sableux et niveaux grossiers à galets en périphérie des formations pontiennes.





*Figure I-7: Coupe géologique de la zone de Boussaada.*

## I.6. Hydrogéologie

Les principaux aquifères de ce secteur sont les formations conglomératiques et sableuses du Miopliocène continental, qui communiquent avec et drainent l'ensemble des formations perméables crétacées encaissantes, dont la plus importante est l'Albien. Ce dernier possède un vaste impluvium qui s'étend à l'Ouest, où il affleure à des altitudes plus élevées où s'effectue la recharge de l'aquifère. L'Albien renferme une nappe qui s'écoule dans les formations tertiaires mais également en profondeur vers le Chott, pour alimenter des sources artésiennes, dont l'Ain Zira (20L/s) au NE de Beniane, située dans un îlot de grès Albien. Les eaux de l'Albien s'écoulent aussi au pied de falaises par des sources de débordement, telles l'Ain Koucha et l'Ain Diss.

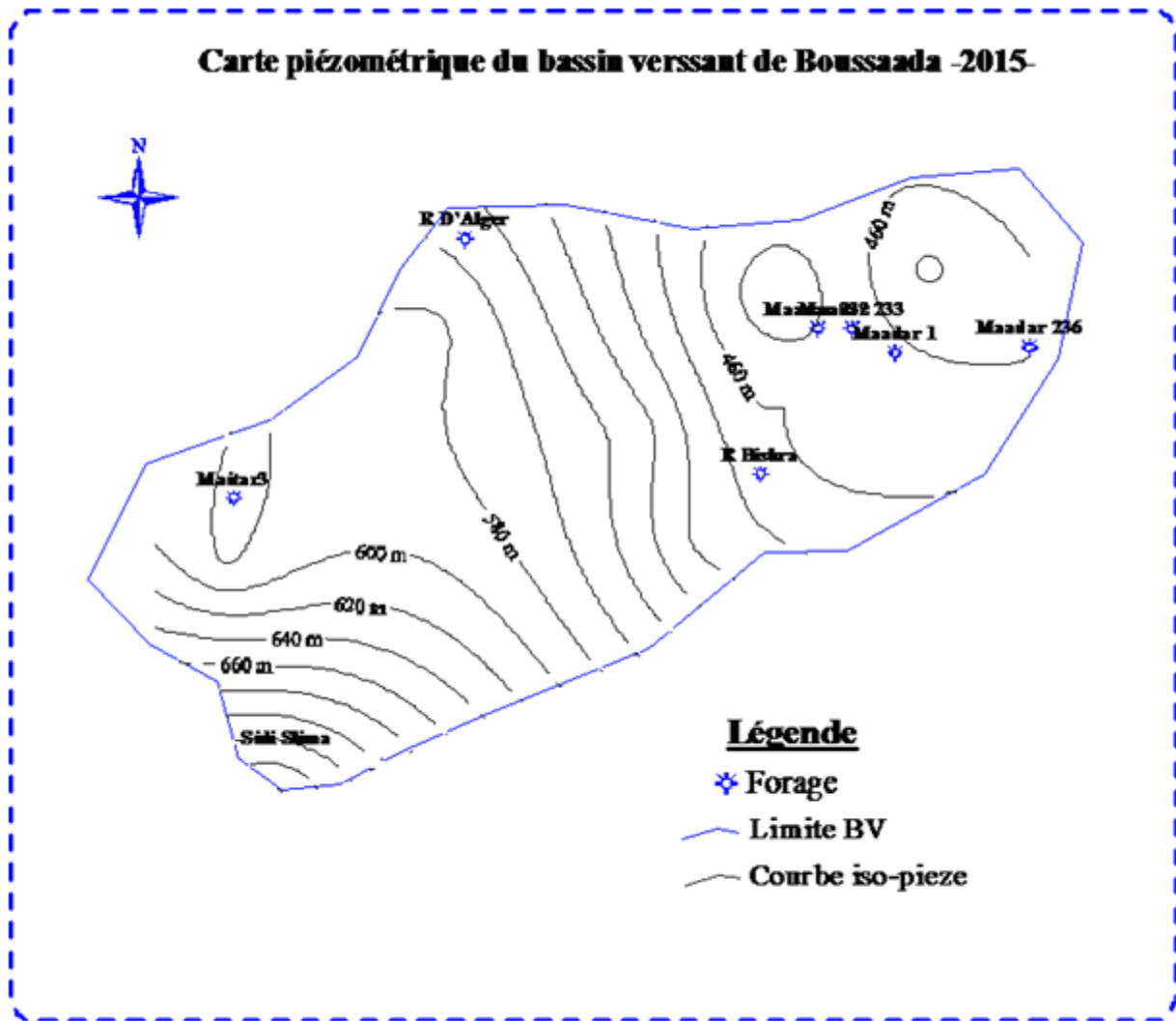


Figure I-8: Carte piézométrique du B.V de Boussaada 2015.

### I.7. Sismicité

L'Algérie, comme d'autres pays méditerranéens, est exposée à une activité sismique importante. Situé sur une zone de convergence entre la plaque africaine et la plaque eurasienne, le nord du pays est la région la plus à risque.

Le territoire national est divisé en 05 zones de sismicité croissante, définies comme suit :

- ◆ Zone 0 : sismicité négligeable.
- ◆ Zone I : sismicité faible.
- ◆ Zone II.a et II.b : sismicité moyenne.
- ◆ Zone III : sismicité élevée.

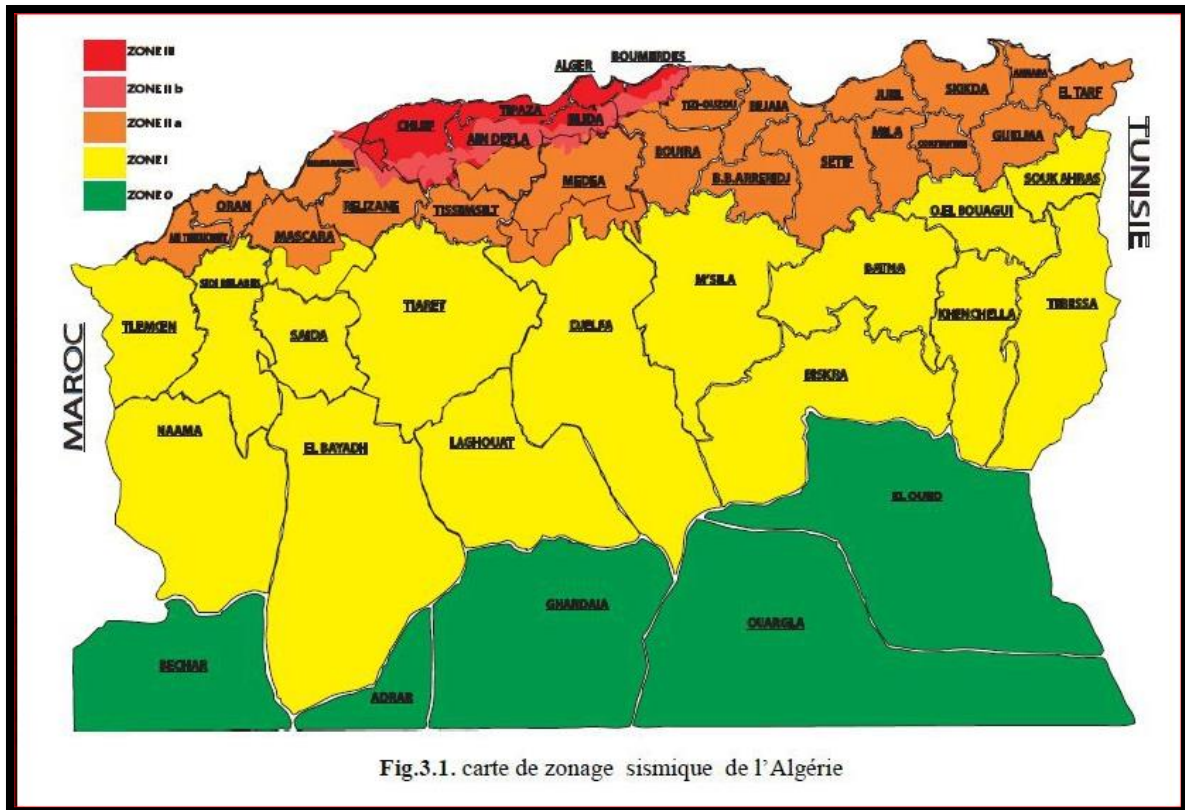


Figure I-9: Carte des zones sismiques de l'Algérie.(RPA 2003).

## Interprétation

La région d'étude se trouve dans la zone sismique (I) qui est caractérisée par une sismicité faible.

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu définir les caractéristiques de notre zone d'étude qui nous seront utiles dans l'étude hydrologique du bassin versant d'Oued El BATEN, telle que le type de sol dominant est les alluvions principalement le Miocène(PONTIEN) et le Pliocène ainsi que la sismicité de la zone qui est faible. Le climat est semi aride avec une température qui varie entre 7°C (plus basse en hiver) et 43.5°C (plus haute en été) tandis que les précipitations sont en moyen de 100 à 200 mm/an.

**CHAPITRE II**  
**GENERALITES SUR LES**  
**CRUES.**

### Chapitre II : Généralités sur les crues.

#### Introduction

La crue, telle que nous l'entendons, est un phénomène exceptionnel qui peut survenir à tout moment, De façon plus pragmatique, 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. En Algérie les crues constituent une contrainte majeure pour le développement économique et sociale.Plusieurs régions, de par leur topographie sont menacées par ces catastrophes hydrologiques extrêmes aussi bien au Nord qu'au Sud.

#### II.1. Paramètres fondamentaux d'un cours d'eau(Touati, 2010)

##### II.1.1. Définition d'un cours d'eau

Désigne le terme général de tout chenal naturel superficiel ou souterrain dans lequel s'écoule un flux d'eau continu ou temporaire. Pour désigner un chenal artificiel on emploie plutôt le terme «canal ».

Il existe plusieurs mots en langue française qu'on peut utiliser pour désigner les différents types de cours d'eau comme : rigole, ruisseau, oued (d'origine arabe), ravine, rivière, fleuve .....

##### II.1.2. Lit d'un cours d'eau

Le lit d'un cours d'eau est, en général, la partie la plus profonde de la vallée dans laquelle s'écoule gravitairement un courant d'eau. De manière classique, Ce lit de la rivière étant façonné par les eaux qu'il transporte on conçoit que ses dimensions soient fortement liées aux régimes hydrologiques.

On distingue le lit mineur limité par des berges, du lit majeur occupé temporairement par les eaux débordantes et le lit moyen qui est entre les deux lits cités.

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



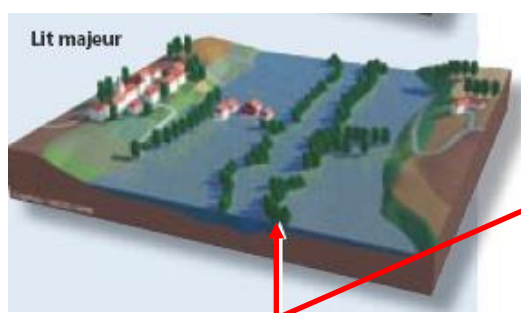
Figure II-1: Lit mineur.

**b) Lit moyen :** Sous certains climats, notamment méditerranéens, on peut identifier un lit moyen. Pour les crues de période de retour de 1 à 10 ans, l'inondation submerge les terres bordant la rivière et s'étend dans le lit moyen. Il correspond à l'espace fluvial ordinairement occupé par la ripisylve, sur lequel s'écoulent les crues moyennes (cf chapitre sur la qualification de l'aléa).



Figure II-2: Lit moyen.

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



La ripisylve est la végétation abondante et variée qui borde les rivières. On distingue trois étages :

- arborescent (frêne, peuplier, saule blanc, etc.),
- arbustif (fusain, troène, cornouiller, saules buissonnants, etc.),
- herbacé (ortie, « roseaux », etc.).

Figure II-3: Lit majeur.

### II.2. Les inondations

Une inondation est un débordement d'un cours d'eau, le plus souvent en crue qui submerge les terrains voisins .C'est la catastrophe naturelle qui produit le plus de dégât selon l'institut

international de l'eau de stockholm (SIWI) .Parmi les définitions officielles qu'on trouve en France par exemple , une directive européenne définit l'inondation comme suit « Submersion temporaire par l'eau de terres qui ne sont pas submergées en temps normal. Cette notion recouvre les inondations dues aux crues des rivières, des torrents de montagne et de cours d'eau intermittents méditerranéens ainsi que les inondations dues à la mer dans les zones côtières et elle peut exclure les inondations dues aux réseaux d'égout »

### II.3. La crue

La crue est le fait qu'un cours d'eau déborde de son lit mineur, après de fortes pluies, une fracture terrestre en profondeur qui libère des nappes phréatiques ou la fonte de neige. Elle est le phénomène météorologique et géomorphologique le mieux connu et le plus suivi dans l'histoire. Son importance dépend de trois paramètres la hauteur d'eau, la vitesse du courant et la durée de la crue.

Ces paramètres sont conditionnés par les précipitations, l'état du bassin versant et les caractéristiques du cours d'eau (profondeur, largeur de la vallée, etc.). Ces caractéristiques naturelles peuvent être aggravées par la présence d'activités humaines.

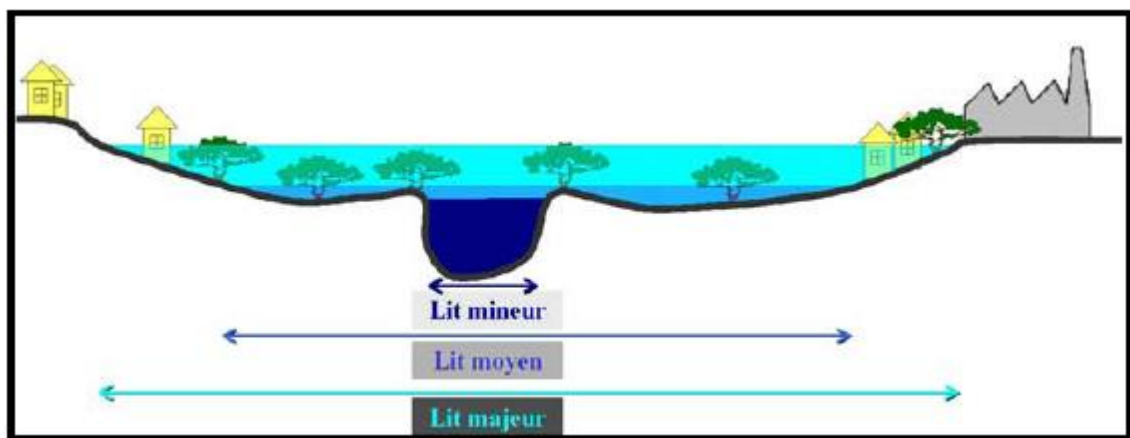


Figure II-4: Niveau de crue au niveau des lits de l'oued.

### II.4. Types d'inondation

#### II.4.1. Crues de plaine ou fluviales

Elles se caractérisent par des montées relativement lentes des eaux et peuvent être prévues plusieurs heures, voire plusieurs jours à l'avance. En dépit de leur évolution lente, les crues de plaine peuvent être accompagnées localement de phénomènes très dangereux, notamment lors d'une débâcle, c'est-à-dire lors de la rupture d'un obstacle d'un cours d'eau, après que l'écoulement des flots ait été bloqué par des embâcles (amoncellement de débris) sous les ponts. C'est le cas des inondations de grands bassins versants, elles résultent le plus souvent

des précipitations importantes généralisées sur de grandes étendues et caractérisées par leurs quantité et leurs durée qui peut atteindre 10 à 15 jours. Les crues sont massives, lentes et à évolution facilement prévisible sauf lorsqu'elles sont brutalement aggravées par des affluents aval plus courts et plus rapides.

On distingue 02 types de débordements dans l'inondation en région de la plaine

- **Par débordement direct :** Le cours d'eau sort de son lit mineur pour occuper son lit majeur.
- **Par débordement indirect :** La rivière sort de son lit mineur lentement et peut inonder la plaine pendant une période relativement longue. Les eaux remontent (syphonage) par les nappes alluviales, les réseaux d'assainissement, d'eaux pluviales.

En Algérie, ce type d'inondation survient généralement en saison hivernale entre les mois de Décembre et Mai.

### II.4.2. Crues de type torrentiel ou éclair

Dès que les cours d'eau ont une pente plus forte, en zone montagneuse, ou à l'aval immédiat des reliefs marqués, l'écoulement des rivières en crue est beaucoup plus rapide et peut charrier des volumes importants de matériaux. Ces crues sont souvent la conséquence d'orages violents qui affectent des petits bassins versants de quelques dizaines de Km<sup>2</sup> sont particulièrement dangereuses et les délais de prévision, souvent trop courts, laissent très peu de temps pour réagir.

Les crues de ce type sont particulièrement dangereuses en raison de la soudaineté et de la rapidité avec lesquelles elles se produisent, les ruissellements extrêmement rapides et violents peuvent intervenir moins d'une heure après la pluie et les débits des oueds passent de quelques m<sup>3</sup>/s à plusieurs milliers de m<sup>3</sup>/s en 02 ou 03 heures seulement. L'inondation de la ville de Oued R'hiou (le 20 octobre 1993) est l'exemple parfait de ce type d'inondation ou 20 minutes de pluies ont fait : 23 morts, 20 blessés et plusieurs disparus.

### II.4.3. Le ruissellement pluvial en secteur urbain

En secteur urbain, des orages intenses peuvent occasionner un très fort ruissellement en dehors des lits des cours d'eau proprement dit, lorsque l'imperméabilisation des sols et la conception de l'urbanisation et des réseaux d'assainissement font obstacle à l'écoulement normal des pluies intenses. Ce fut le cas des inondations de Bâb El Oued du 10 novembre 2001, Des pluies exceptionnelles et intenses, sur une étendue de 40 km<sup>2</sup>, de l'ordre de 214



mm pendant 24h, ont causé 750 morts et 120 personnes disparues et plus de 10000 familles sinistrées.



*Figure II-5: Les inondations par ruissellement pluvial en secteur urbain.*

Le ruissellement est d'autant plus important que les terrains sont plus imperméables, le tapis végétal plus faible, la pente plus forte et les précipitations plus violentes. Mais il demeure un phénomène naturel que l'on ne peut pas empêcher. Malheureusement, l'intervention humaine est parfois source d'aggravation de ce phénomène.

L'imperméabilisation du sol par les aménagements (bâtiments, voiries, parkings, etc.) et par les pratiques culturelles limite l'infiltration des précipitations et accentue le ruissellement. Ceci occasionne souvent la saturation et le refoulement du réseau d'assainissement des eaux pluviales. Il en résulte des écoulements plus ou moins importants et souvent rapides dans les rues (yahiaoui ,2012).

### **II.5. Le risque des inondations en Algérie**

Le risque est la possibilité de survenance d'un dommage résultant d'une exposition à un danger, c'est la composante de la probabilité d'occurrence d'un événement redouté (incident ou accident) et la gravité de ses conséquences.

Le risque d'inondation est la conséquence de deux composantes : que sont la Vulnérabilité et L'aléa.

#### **II.5.1. La vulnérabilité**

Le fait qu'une rivière cause des dégâts résulte de la plus ou moins grande sensibilité du lieu où se produit le phénomène : c'est la composante vulnérabilité. La présence de l'homme, qui s'installe dans l'espace alluvial, pour y implanter toute sortes de constructions, d'équipements et d'activités, cette occupation humaine joue un double rôle : d'une part elle constitue le risque en exposant des personnes et des biens aux inondations, d'autre part, elle

aggrave l'aléa et le risque, en amont comme en aval, en modifiant les conditions d'écoulement de l'eau

### II.5.2. L'aléa

Une rivière qui déborde traduit un phénomène naturel présentant un caractère aléatoire : c'est le composant aléa du risque les principaux paramètres nécessaires pour évaluer l'aléa sont :

- La période de retour des crues ;
- La hauteur et la durée de submersion ;
- la vitesse d'écoulement
- la torrencialité du cours d'eau ;



Figure II-6: Schématisant l'aléa au risque inondation.

## II.6. Les causes d'inondation en Algérie

### II.6.1. Perturbations météorologiques (origine et mécanisme de formation)

L'Algérie est soumise régulièrement à des systèmes perturbés pluvieux très diversifiés liés d'une part à sa grande superficie et d'autre part à sa situation géographique considérée comme position centrale entre les phénomènes d'origine polaire et tropicale, subissant des sécheresses et des inondations d'ampleur et de périodicité variable. En effet, les fortes pluies qui se produisent généralement entre septembre et mai, sont dues essentiellement aux perturbations du front polaire. Elles sont provoquées par l'arrivée de masses d'air polaire de l'arctique et qui se régénèrent fortement lorsqu'elles parviennent sur les eaux chaudes de la Méditerranée. Le fort flux de chaleur d'humidité de la mer vers les masses d'air est en effet prépondérant dans l'intensification des perturbations. Ces dernières peuvent parfois pénétrer

vers les régions sahariennes, elles sont alors fortement alimentées en humidité en provenance des régions tropicales.

Une analyse des perturbations atmosphériques dites "sévères" (précipitations supérieures à 30 mm pendant 24 heures) ayant affectées l'Algérie, le nombre des perturbations varie considérablement d'une année à l'autre, jusqu'à 33 pendant l'année 1997/98, et seulement 15 perturbations en 1989/90 (Yahiaoui, 2012).

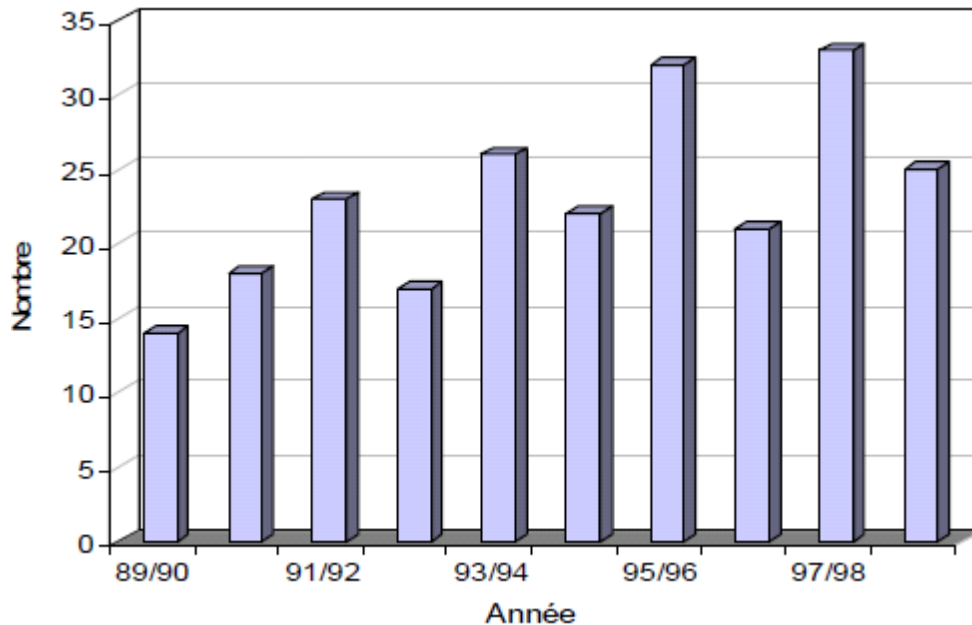


Figure II-7: Distribution des perturbations par année.

### II.6.2. Les crues catastrophiques (Yahiaoui, 2012)

Les précipitations sont caractérisées par une très forte irrégularité saisonnière qu'interannuelle entraînant des étiages extrêmement sévères des cours d'eau, et inversement des fortes crues et des inondations engendrant des dégâts humains et matériels considérables.

La genèse des fortes crues et leurs impacts sur l'environnement, diffèrent d'une région à une autre, et cela en fonction des conditions géographiques, climatiques et d'occupation des sols qui les caractérisent. Bien que la cause fondamentale de la plupart des inondations est l'arrivée d'importantes chutes de pluie, d'autres facteurs interviennent, soit pour aggraver les effets d'une crue, soit pour créer eux-mêmes des phénomènes hydrauliques provoqués par la présence des débris et des troncs d'arbres qui réduisent la capacité du lit du cours d'eau.

D'une manière générale, les causes des inondations en Algérie peuvent être classées en trois types :

a) Inondations liées à des situations météorologiques remarquables se traduisant par une forte pluviosité (pluie importantes, orages violents), tels que les inondations de décembre 1957 des

bassins de Mazafran et de la Sebaou, les inondations de l'automne 1969 en Algérie et en Tunisie, les inondations catastrophiques de mars 1973 sur l'Est algérien, les inondations de mars 1974 des bassins versants de l'Algérois et de la Sebaou, les inondations de décembre 1984 sur tout l'Est algérien etc...

**b)** Inondations provoquées par des facteurs liés à l'effet de l'homme : la défaillance des réseaux d'assainissement et de collecte des eaux pluviales, l'exhaussement des lits des cours d'eau par les décombres et les détritiques et d'autres agissements humains qui favorisent des dégâts lors des averses saisonnières : les cas de la ville de Tiaret inondée presque chaque hiver, et la plaine de M'Zab où des inondations se produisent tous les 2 à 3 ans illustrant parfaitement l'influence de ces facteurs.

**c)** Inondations produites dans des régions présentant un environnement topographique défavorable comme le cas des villes traversées par des cours d'eau (Bordj Bou Arreridj, Oued R'Hiou, Sidi Bel Abbès) ou situées au pied d'une montagne (Ain Defla, Batna, Médéa). Ces agglomérations à forte concentration des populations et sous l'effet d'une urbanisation anarchique et non réglementée présentent des grands risques, des pertes humaines et des destructions de constructions sont enregistrées à chaque inondation aussi légère qu'elle soit.

Ces inondations selon les caractéristiques des crues, leurs durées et leurs étendues sont de deux types :

**a)** Inondations engendrées par des crues torrentielles ou crues éclair, et affectent les petits bassins versants de quelques dizaines de km<sup>2</sup> et sont le plus souvent liées à des chutes de pluies isolées et localement intenses issues de phénomènes de convection sous forme de tempêtes orageuses se produisant généralement en automne, et en été. Les crues de ce type sont particulièrement dangereuses en raison de la soudaineté et de la rapidité avec lesquelles elles se produisent. Les ruissellements extrêmement rapides et violents peuvent intervenir moins d'une heure après la pluie et les débits des cours d'eau passent de quelques m<sup>3</sup>/s à plusieurs milliers de m<sup>3</sup>/s en 2 ou 3 heures seulement. L'inondation de la ville de Oued R'Hiou, le 20 octobre 1993 en est un exemple, en 20 minutes de pluies des dégâts importants sont enregistrés, 23 morts, 20 blessés et plusieurs disparus.

**b)** Inondations des grands bassins versants résultent le plus souvent des précipitations importantes généralisées sur des grandes étendues et caractérisées par leur quantité et leur

durée (10 à 15 jours). Ces crues sont massives, lentes et à évolution facilement prévisible sauf lorsqu'elles sont brutalement aggravées par des affluents avals plus courts et plus rapides.

### **II.7. Inventaire des inondations catastrophiques en Algérie (1971 – 2011) (Yahiaoui, 2012) et catastrophes naturelles (revue de presse spécial, 2019) :**

La réduction des dommages causés par ces calamités nécessite d'abord une parfaite identification des régions présentant le risque d'inondabilité, et des facteurs favorisant et amplifiant l'ampleur des dégâts et des pertes engendrées. Un premier travail de recensement de ces inondations s'avère indispensable afin de mieux identifier les régions présentant des risques réels d'inondabilité et de fournir certains paramètres hydrologiques caractérisant ces événements.

- **12 octobre 1971** : Les fortes pluies orageuses qui se sont abattues sur la localité d'Azzazga (pluie journalière de 183 mm d'eau) causèrent 40 morts et des centaines d'habitations détruites.
- **27 au 29 mars 1973** : Des pluies exceptionnelles (pluie journalière de 166 mm d'eau à Annaba) généralisées à l'Est algérien provoquèrent des inondations catastrophiques dans plusieurs wilaya du pays.
- **28 au 31 mars 1974** : Des chutes de pluie exceptionnelles dans les wilayas d'Alger et de Tizi-Ouzou (688 mm en 4 jours) et 381 mm en une journée au col de Sakamody. Les dégâts à Tizi-Ouzou sont : 52 morts et 4570 maisons détruites, 130 villages isolés, et plus de 18 000 sinistrés, 13 ponts détruits et des dizaines de kilomètres de routes emportées.
- **01 septembre 1980** : Les pluies orageuses violentes localisées sur la ville d'El – Eulma provoquèrent des crues catastrophiques de l'oued Djehadi, le débordement fait 44 morts, 50 blessés et 365 familles sinistrées.
- **11 novembre 1982** : Des pluies orageuses violentes localisées à Annaba (la pluie enregistrée du 10/11 au 11/11/1982 est de 167 mm à l'Edough et 160 mm à Seraidi engendrèrent de fortes crues des oueds Bouhdid, Forcha et Aneb.
- **22 août 1983** : Des pluies orageuses et violentes qui se sont abattues à Birine (W. Djelfa) inondèrent la commune à 60 % et provoquèrent 10 morts, 10 blessés, 200 habitations détruites et 1200 têtes de bétail emportées par les eaux.
- **03 février 1984** : Les pluies abondantes généralisées sur l'ensemble de l'Est Algérien avec un foyer de maximum sur les monts de Constantine (120 mm en 3 jours) et les monts de Medjerda (80 mm en 3 jours) ont provoqué des inondations catastrophiques dans toutes les wilayas de l'Est Algérien et les dégâts occasionnés sont importants :
  - **Jijel** : 20 morts, 500 têtes de bétail emportées et dégâts évalués à 50 millions de dinars.
  - **Constantine** : 1140 familles sinistrées, 200 hectares de cultures détruites.
  - **Skikda** : 8000 habitations envahies.

- **Guelma** : 03 disparus, 1957 familles sinistrées, 02 ponts détruits et canalisations d'AEP détruites à 100 %.
- **Khenchela** : 777 familles sinistrées et pertes importantes en Cheptel.
- **Oum – El – Bouaghi** : 144 maisons détruites et 429 familles sinistrées.
  - **29 décembre 1984 au 01 janvier 1985** : Des pluies exceptionnelles (plus de 250 mm en 4 jours seulement et 195 mm en une journée) généralisées sur tout l'Est Algérien provoquent des inondations très catastrophiques dans les wilayas de Jijel, Constantine, Skikda, Guelma, Annaba et El-Tarf.
  - **05 juillet 1987** : Les pluies orageuses et très violentes tombées sur Batna (pluie journalière de 57 mm), provoquèrent deux morts, des dizaines de familles sinistrées et des dégâts évalués à 175 millions de centimes.
  - **01 septembre 1989** : Les fortes chutes de pluies à la wilaya de Biskra accompagnées de grêles et d'un vent d'une rare violence provoquent le débordement des oueds El-Arab, El-Mellah et El-Kheddra occasionnant deux morts et 35 blessés et la destruction de 400 palmiers.
  - **03 juin 1991** : Un orage local très violent à Ghardaïa (8 mm en 3 heures) provoque neuf morts et des pertes importantes en cheptel et en palmeraies.
  
  - **26 et 27 janvier 1992** : Les fortes pluies généralisées du 24 au 28 janvier 1992 sur plusieurs régions du centre du pays engendrèrent des inondations catastrophiques dans les wilayas Alger, Blida Tipaza, Chelef, Ain Defla et Médéa. 637 familles sont sinistrées avec 361 à Alger, 106 à Tipaza, 87 à Médéa, 36 à Ain Defla et 23 à Chelef, et d'Importants dégâts sont aussi occasionnés.
  - **29 septembre au 02 octobre 1994** : Plusieurs inondations catastrophiques sont enregistrées à Ghardaïa, Laghouat, Biskra, Mascara, Tissemsilt et Sidi Bel Abbès causent des dégâts importants :
    - Ghardaïa** : dégâts matériels évalués à 270 millions de dinars.
    - **Laghouat** : dégâts matériels évalués à 5 millions de dinars dans le secteur de l'hydraulique.
    - **Mascara** : deux mots et importants dégâts matériels.
    - Tissemsilt** : neuf morts.
    - Sidi Bel Abbès** : deux morts.
      - **4 avril 1996** : Les inondations catastrophiques dans les wilayas d'Annaba et El-Taref, font cinq morts et dix blessés à Annaba et quatre ouvrages d'art endommagés à El-Taref.
      - **14 janvier 1999** : De fortes chutes de pluies (74 mm à Adrar) dans le Sud Ouest causèrent de graves inondations à Adrar, provoquant ainsi deux morts et plusieurs et plusieurs disparus.
      - **28 septembre 2000** : Des pluies diluviennes dans la région de Boussaâda engendrent de fortes crues de l'oued Boussaâda, qui se sont soldées par des dégâts estimés à un mort, un disparu, treize habitations détruites, trente-huit familles évacuées et 193 têtes de bétail emportées par les eaux.

- **24 octobre 2000** : Les inondations catastrophiques de Sidi Bel Abbès (oued Mekerra), Tissemsilt Theniet El Had (oued Mesloub), Chlef et Ain Defla causent la disparition de deux personnes emportées par l'oued Mekerra et d'importants matériels à Theniet El Had.
- **9 et 10 novembre 2001** : L'inondation spectaculaire et catastrophique sur l'Algérois à Bab El Oued (Bassin versant de l'oued Koriche) fit plus de 750 morts, 115 disparus et 30 millions de dinars de pertes matériels.

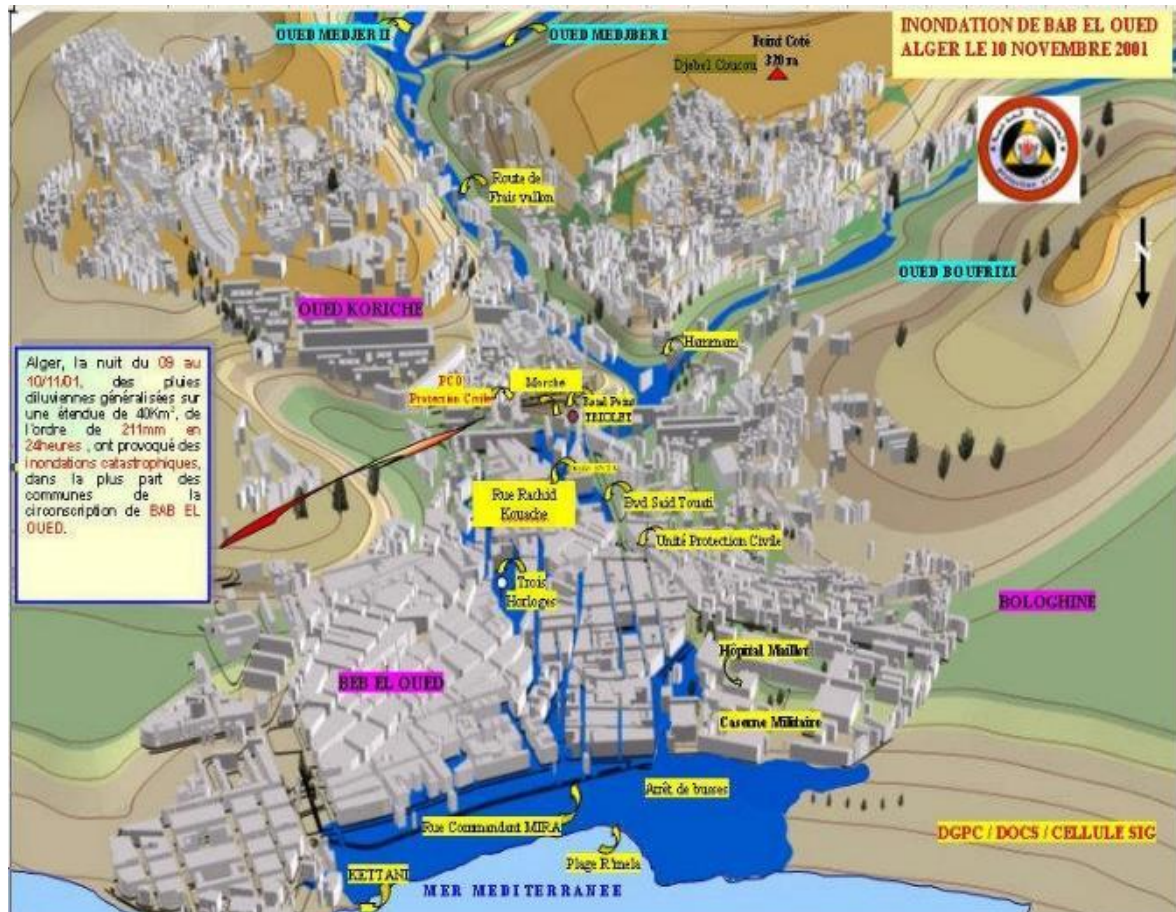


Figure II-8: Schéma représentant l'aléa et la vulnérabilité au risque inondation (Bâb El Oued).

- **1 et 2 octobre 2008** : Les pluies torrentielles, inhabituelles et incessantes, pendant quarante-huit heures sur la région semi-désertique de Ghardaïa, ont fait monter les eaux des différents cours d'eau (oued M'Zab dont le débit atteint 900 m<sup>3</sup>/s) et ont provoqué des inondations qui ont causé le décès d'au moins 34 personnes et fait des dizaines de blessés et de sinistrés, des centaines de maisons ont été détruites, de nombreuses routes ont été coupées et les liaisons téléphoniques ont été très perturbées. Les dégâts matériels ont été estimés à environ 2500 millions de dinars, dont 2000 millions dinars pour les infrastructures.
- **01 octobre 2011** : Plusieurs inondations catastrophiques sont enregistrées à El Bayadh, M'sila, Djelfa, Biskra, Laghouat et une partie d'El Oued. Telle que les inondations de la ville d'El Bayadh avec 60 mm de pluie enregistrées entre 17 :00 et 18 :00 et des pertes humaines (11 victimes, 01 fillette disparue, 34 blessés) avec des dégâts importants (destruction de l'ensemble des habitations précaires situées à proximité de

l'oued, 02 passerelles et plusieurs tronçons de routes ont été emportés), les dégâts matériels occasionnés par cette catastrophe meurtrière sont estimés à près de 600 milliards de centimes par le wali d'El Bayadh.

- **12 novembre 2012** : Des dégâts matériels assez importants engendrés dans certaines villes côtières de la wilaya de Chlef qui en résultent 247 familles sinistrés.
- **09 mars 2016** : A Constantine les pluies torrentielles qui sont tombées dans plusieurs communes et régions de la wilaya ont provoqué la mort d'une vieille femme qui a été emportée par les torrents et un petit enfant après avoir été électrocuté, Citant aussi plusieurs pertes matérielle comme le cas des magasins ont été incendié à cause d'un choc électrique.
- **7 avril 2016** : De fortes précipitations se sont abattues sur Oran, ce jour-là, la ville offrait le visage d'une cité presque « sinistrée », Ronds-points inondés, routes coupées et impraticables, torrents de boue, etc.,
- **25 et 27 septembre 2018** : Plusieurs quartiers de la wilaya de Tebessa avaient été inondés, notamment le long et en aval d'oued Nagues, coupant la ville en deux, ainsi que d'autres wilayas comme Batna, Sidi Bel-Abbès, Oum El-Bouaghi, In Guezzam, In Amenas et Constantine avec des pertes en vies humaines et matérielles très importantes totalisant des centaines de milliards de centimes.
- **07 juin 2019** : Les inondations de Tassili n'Ajjer, En effet, la situation dans le quartier d'Adjahil, situé sur la rive ouest de Djanet, est presque identique à celle d'In Abagbagh : «Des palmiers sont tombés sur les routes, déjà portés par les crues, à cela s'ajoute de longue coupure d'électricité
- **12 septembre 2019** : plusieurs communes de la wilaya d'Alger, ont inondé des dizaines d'habitations et causer la fermeture de plusieurs routes. En effet, la remontée des eaux ont causé l'inondation de plusieurs quartiers, notamment à Bab El Oued et Bir Mourad Raïs. Les canalisations d'adduction des eaux usées et pluviales et les regards ont été obstrués par la boue drainée ont rendu la circulation quasiment impossible comme le montrent les images et les vidéos partagées sur les réseaux sociaux.

### **II.8. Les inondations dans la zone d'étude**

La ville de Boussaada, traversée par un cours d'eau temporaire dont les crues peuvent être particulièrement violentes est depuis toujours sujette aux inondations. L'histoire est jalonnée de sinistres plus ou moins catastrophiques dont les chroniques datent de plus de 100 ans.

## **Conclusion**

Une crue est, un niveau inhabituel observé dans un cours d'eau, qui peut causer des dommages importants dans les régions avoisinantes. Les crues varient spatialement et temporairement dans leur intensité et sont souvent caractérisées par leur débit de pointe et leur hydro gramme. Ces derniers sont dus à plusieurs facteurs. En premier lieu, la quantité,



l'intensité et l'extension spatiale de l'averse génératrice. En deuxième lieu, les propriétés physio- graphiques tels que la taille, la forme, les pentes et l'orientation du bassin exerçant une large influence. En plus l'intervention humaine et les changements naturels des caractéristiques du bassin augmentant la complexité du problème. En Algérie, la majorité des crues et inondations sont dues à des précipitations torrentielles qui engendrent des dégâts humains et matériels considérables (catastrophe de Bab El Oued le 10/11/2001). Une crue est un niveau inhabituel observé dans un cours d'eau, qui peut causer des dommages importants dans les régions avoisinantes. La description du régime des crues d'un bassin versant nécessite une banque de données pluviométriques et hydrométriques, et à l'aide d'une analyse statistique permet de connaître avec un certain degré d'erreur la nature de ce régime ainsi que le débit de pointe, qui sera l'objet du prochain chapitre.

# **CHAPITRE III**

**ETUDE**

**HYDROLOGIQUE.**

### Chapitre III : Etude hydrologique

#### Introduction

L'ensemble des aspects liés au processus de maturation de n'importe quel ouvrage hydraulique, allant du choix de débit jusqu'à l'étape de la réalisation, en passant par le dimensionnement des ouvrages, les aspects de la sécurité ainsi que la bonne exploitation des ouvrages hydrauliques sont conditionnés par une évaluation correcte et juste de la crue. Cette logique est fondamentale, surtout, s'il s'agit de préserver les vies humaines et de réduire la vulnérabilité aux inondations des populations, des biens et des activités exposés à la crue.

Dans ceux qui suivent on va entamer notre première étape qui constitue la partie la plus délicate des études relatives aux crues et aux dimensionnements précis d'ouvrages.

L'étude hydrologique a pour but de :

- Déterminer les paramètres morphologiques du bassin versant.
- L'étude des pluies maximales journalières.
- Déterminer les caractéristiques de la crue (débit maximal) pour différentes périodes de retour.

Il faut tout d'abord délimiter le bassin versant et en suite déterminer les courbes de niveaux, le réseau hydrographique et les courbes hypsométriques..., Cette délimitation se fait à l'aide d'un SIG (système d'information géographique) à base des MNT (modèle numérique de terrain) en utilisant le logiciel ArcGIS 10.2.2.

### III.1. Caractéristiques principales du bassin versant

#### III.1.1. Bassin versant

Le bassin versant en un point ou plus précisément dans une section droite d'un cours d'eau, est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de la dite section, tous les écoulements prenant naissance à l'intérieur de cette surface doivent traverser la section droite considérée pour poursuivre leur trajet vers l'aval [6].

le bassin versant qui peut être considéré comme un système, est une surface élémentaire hydrologiquement close, c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que

tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire. La forme du bassin a une influence sur l'écoulement, En effet un bassin étroit aura un temps de réponse supérieure à celui d'un autre bassin plus large à parité des autres caractéristiques. La cuvette du Hodna, d'une superficie de 8 500 km<sup>2</sup>, qui sert de niveau de base aux oueds du bassin, occupe en son milieu de bas fond-plat une superficie de 1 100 km<sup>2</sup>, c'est cela que l'on appelle «le Chott El-Hodna».

Surface d'épandage des crues, le Chott a une forme elliptique, une eau salée et s'étend sur 77Km de long et 19 km de large. Son alimentation est assurée par au moins 22 cours d'eau principaux auxquels il faut ajouter des sources d'eau douce. Il se met en eau uniquement en hiver, sec et salé en été, des croûtes de sel couvrent toute son étendue.

### **III.1.2. Caractéristique géographiques du bassin versant**

Le site de B.V se situe à environ de 7 Km de chef lieu l'amont de commune de BOUSSADA , définie par les coordonnées UTM de la carte d'état major d' EDDIS et UTM de la carte d'état major de BOUSSADA au 1/50000 N°31XXIII-5 OUEST+1/50000 N°31XXIII-5 OUEST

**Longitude X = 607.50km.**

**Latitude Y = 3902 km.**

**Altitude Z = 500 m.**

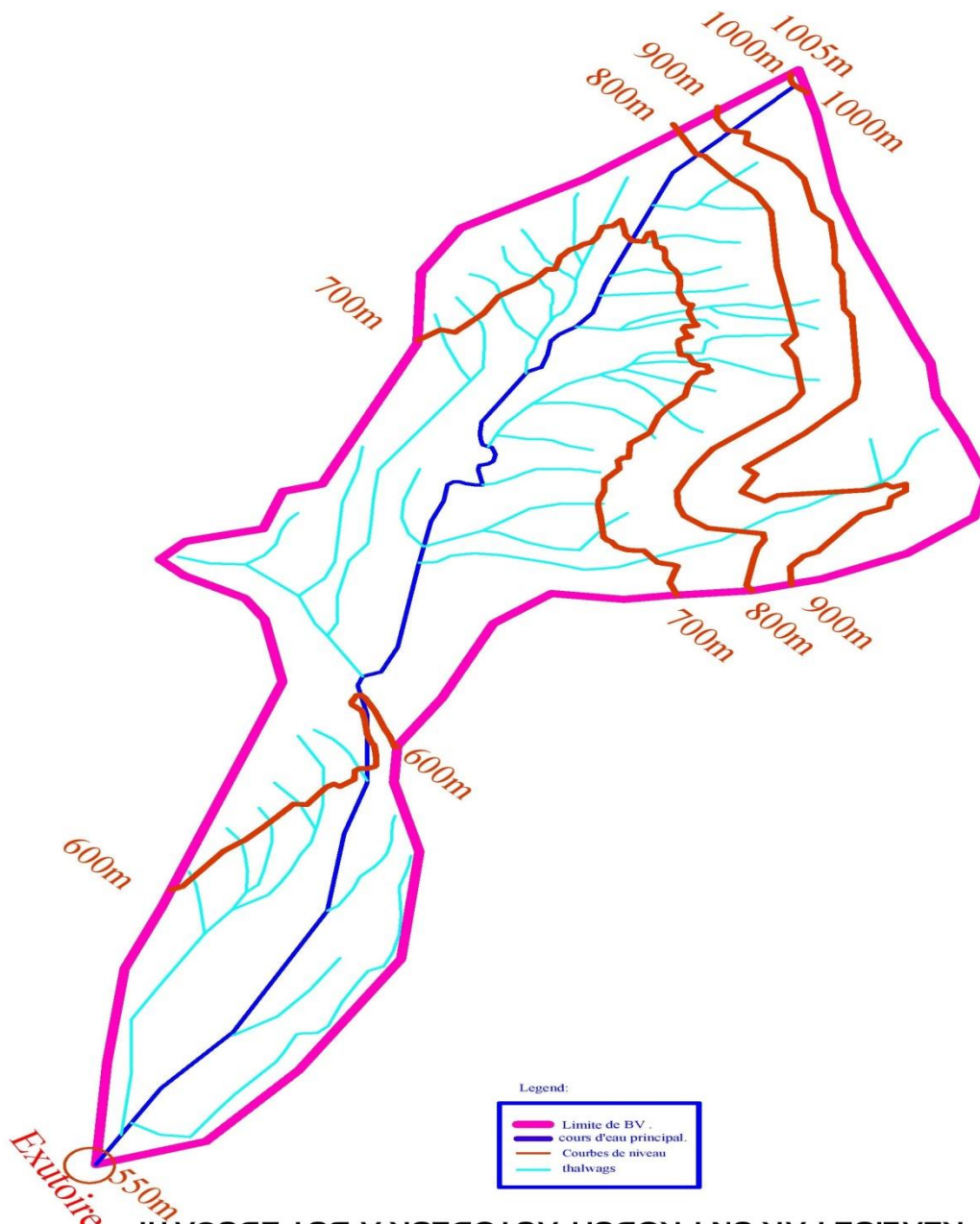


Figure III-1: Bassin versant d'Oued El Batin.

### III.1.3. Caractéristiques géométriques du bassin versant

Les caractéristiques géométriques du bassin versant ont été déterminées directement en utilisant le logiciel ArcGis.

Surface du bassin versant :  $S = 3.93 \text{ km}^2$  .

Périmètre du bassin versant :  $P = 11.49 \text{ km}$

Longueur du thalweg principal :  $L_{cp} = 2.630 \text{ km}$

### III.1.4. Caractéristiques morphologiques du bassin versant

#### III.1.4.1. Indice de compacité

L'indice de compacité  $K_c$  d'un bassin versant est défini comme étant le rapport entre le périmètre du bassin et la circonférence du cercle ayant la même superficie que celle du bassin versant et qui sert à déterminer la forme du bassin versant. Il dépend de la surface du bassin et de son périmètre.

Nous Avons :

$$K_c = \frac{\text{périmètre du bassin versant}}{\text{périmètre du cercle de même superficie}} \quad (\text{III.1})$$

$$\text{On a: } S = \pi \cdot R^2 \Rightarrow R = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (\text{III.2})$$

Avec:

**S**: superficies (Km<sup>2</sup>)

**R**: rayon (Km)

$$P_c = 2\pi R \quad (\text{III.3})$$

$$\text{Donc : } P_c = 2\pi \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

$$K_c = \frac{P}{P_c} = \frac{P}{2\sqrt{S\pi}} \Rightarrow K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}} \quad (\text{III.4})$$

$$\text{A.N : } K_c = 1,62$$

**Avec :**

**K<sub>c</sub>** : Indice de compacité (sans dimension).

**S** : Surface du bassin versant [Km<sup>2</sup>].

**P** : Périmètre du bassin versant [Km].

**P<sub>c</sub>** : Périmètre du cercle [Km].

D'après la formule de  $K_c$  on distingue trois cas :

$K_c = 1$  : Lorsque le bassin est parfaitement circulaire.

$K_c = 1,12$  : Lorsque le bassin est carrée.

$K_c > 1,12$  : Lorsque le bassin est relativement allongé.

Dans notre cas nous avons Comme :  $K_c > 1,12$ .

⇒ On peut dire que le bassin a une forme allongée

### III.1.4.2. Coefficient d'allongement

Il est obtenu par la formule suivante :

$$Ca = \frac{L^2}{S} \text{ (III.5)}$$

**Avec :**

L : La longueur du talweg principal.

S : La superficie du bassin versant.

Nous aurons, donc :  $Ca = 6.45$

Plus KP est grand, plus le bassin versant est allongé, plus le temps de concentration

(le temps que met une goutte d'eau tombée sur le point le plus loin en amont du bassin versant pour arriver à l'exutoire) est grand et plus la crue est moins violente.

### III.1.4.3. Rectangle équivalent :

La notion de rectangle équivalent a été introduite dans l'étude géomorphologique des bassins et elle permet la comparaison des bassins entre eux de point de vue de l'influence de la forme sur l'écoulement, en possédant la même superficie et le même périmètre que le bassin considéré et par conséquent le même indice de compacité.

Les dimensions sont tirées comme suit :

$$S=L.l \quad P/2=L+l \text{ (III.6)}$$

Avec : L : longueur de rectangle équivalent.

l : largeur de rectangle équivalent.

Donc :

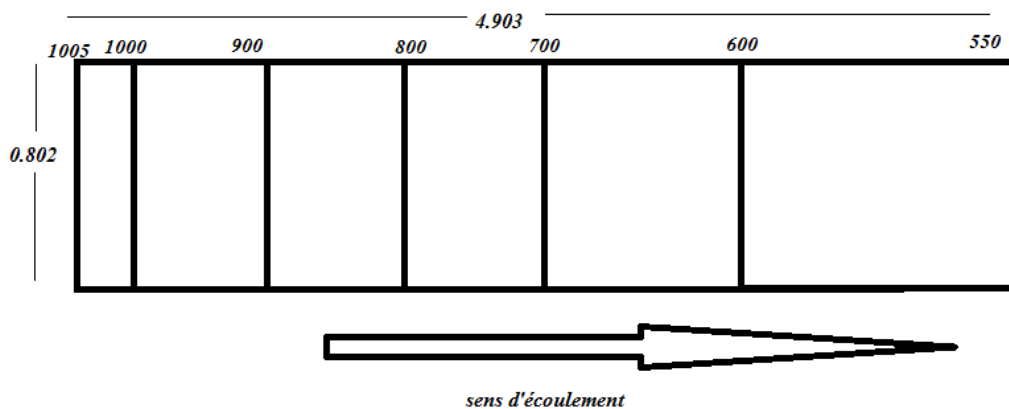
$$L, l = \frac{K_c \sqrt{S}}{1.128} \left[ 1 \pm \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{K_c} \right)^2} \right] \text{ (III.7)}$$

$$\text{AN : } L = 4.903 \text{ Km}$$

$$l = 0.802 \text{ Km}$$

*Table III-1: Calcul du rectangle équivalent.*

<b>courbe hypsométrique</b>	<b>FROM (m)</b>	<b>TO(m)</b>	<b>Surface(km<sup>2</sup>)</b>	<b>Pourcentage(%) )</b>	<b>Li(km)</b>
1	550	600	0.830	21.11	2.247
2	600	700	1.580	40.18	3.100
3	700	800	0.700	17.80	2.064
4	800	900	0.360	9.16	1.480
5	900	1000	0.460	11.70	1.673
6	1000	1005	0.002	0.05	0.110



*Figure III-2: Rectangle équivalent.*

### **III.1.5. Paramètres du relief**

Le relief possède une influence directe sur les facteurs climatiques et une influence indirecte sur la formation des écoulements de surface. Il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation. C'est un élément capital dans le comportement hydraulique d'un bassin.

Le relief joue un rôle essentiel sur le régime de l'écoulement. Il est indiqué par les courbes de niveau et est caractérisé par la courbe hypsométrique.

Une pente plus forte provoque un écoulement rapide, donc un temps de concentration plus court et une montée plus rapide des crues. Notre but recherché est la détermination de la classe de relief.



**III.1.5.1. Courbe hypsométrique**

Elle représente les surfaces dominées au-dessus de chaque niveau et par conséquent, caractérise en partie le relief. On utilise aussi la courbe de distribution, c'est-à-dire, la proportion en pourcentage de la surface totale du bassin comprise entre des courbes de niveau.

Table III-2: Coordonnées de la courbe hypsométrique.

Altitude (m)	Altitude moyenne $H_i$ (m)	Surface $S_i$ (km <sup>2</sup> )	Pourcentage (%)	pourcentage cumulé (%)	$S_i.H_i$ (Km <sup>2</sup> .m)
550-600	575	0.830	21.11	21.11	477.250
600-700	650	1.580	40.18	61.29	1027.000
700-800	750	0.700	17.80	79.09	525.000
800-900	850	0.360	9.16	88.25	306.000
900-1000	950	0.460	11.70	99.95	437.000
1000-1005	1002.5	0.002	0.05	100.00	2.0050
somme	575	3.932	100.00		2774.26

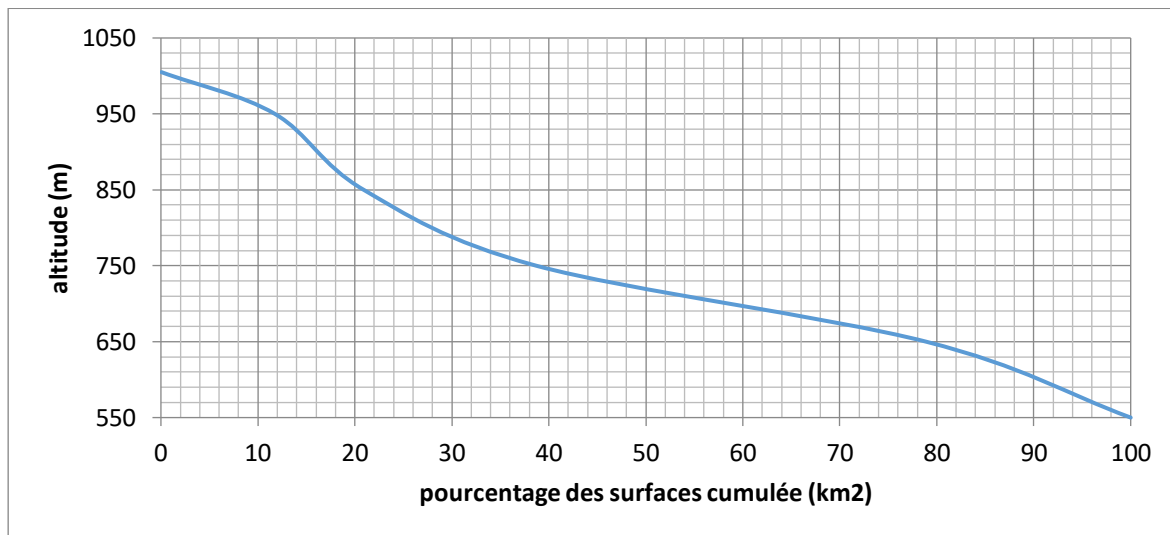


Figure III-3: Courbe hypsométrique du bassin d'Elbaten.

D'après la courbe hypsométrique du bassin, nous pouvons tirer et calculer les différentes altitudes. Le tableau suivant récapitule les altitudes déterminées.

$$\text{Avec : } H_{moy} = \sum \frac{S_i * H_i}{S} \text{ (III.8)}$$

Table III-3: Tableau récapitulatif des résultats précédents.

Altitudes	Valeur (m.NGA)
HMoyenne	706
HMédiane	720
H95%	580
H5%	970
Hmax	1005
Hmin	550

**III.1.5.2. Pente moyenne du bassin versant :**

$$I_m = \frac{\Delta H(0.5L_1 + L_2 + L_3 + \dots + 0.5L_n)}{\bar{S}} \quad \text{(III.9).}$$

$\Delta H$  : Dénivelés entre deux courbes de niveaux successives

$L_1L_2\dots L_n$ : les longueurs des courbes de niveaux (Km).

$S$  : superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

Les résultats des mesures sont illustrés dans le tableau.2.

Table III-4: Evaluation de la pente moyenne.

Contour	longueur (km)
600	1.35
700	2.8
800	2.3
900	2.9
1000	0.94

La pente moyenne de bassin est :  $I_m = 0.22$

**III.1.5.3. Les indices :**

Le but de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin versant et de permettre, ainsi des comparaisons et des classifications. Les indices de pente se déterminent à partir de la connaissance de la répartition hypsométrique sur le bassin.

### a. Indice de la pente globale :

A partir de la courbe hypsométrique, on déduit les altitudes de fréquences 5% et 95% de la surface du bassin versant.

$$L'indice de pente global sera : I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \quad (\text{III.10})$$

Avec : L : longueur du rectangle équivalent

$$\left. \begin{array}{l} H_{5\%}=970\text{m} \\ H_{95\%}= 580\text{m} \\ L=4.903\text{km} \end{array} \right\} \Rightarrow \mathbf{I_g=7.95\%}$$

D'après la classification de O.R.S.T.O.M ( $0.05 < I_g < 0.1$ ), on peut dire que le relief de B.V est assez fort (R6).

### b. Indice de pente moyenne du bassin versant :

L'indice de pente moyenne est le rapport entre la dénivelée et la longueur du rectangle équivalent.

$$I_{pm} = \frac{\Delta}{L} = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{L} \quad (\text{III.11})$$

$$\left. \begin{array}{l} H_{\max}=1005\text{m} \\ H_{\min}= 550\text{m} \\ L=4.903\text{km} \end{array} \right\} \Rightarrow \mathbf{I_{pm}=9.28\%}$$

### c. Dénivelé spécifique :

La dénivelé spécifique est définie par :

$$D_s = I_g \cdot \sqrt{S} \quad (\text{III.12})$$

$$\mathbf{D_s= 157.60m}$$

On à  $100 < D_s < 250$  donc : Relief assez modéré.

### d. Indice de pente M.ROCHE Ip :

Ip est la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent, et pondérée par les surfaces comprises entre 2 courbes de niveau Hiest Hi-1. Il est donné par la formule suivante :

$$I_{MR} = \frac{1}{\sqrt{Lr}} \sum \sqrt{Si(Hi - Hi - 1)} \quad (III.13)$$

$I_p$  : Indice de pente de roche (%).

$S_i$  : surface partielle comprise entre deux courbes de niveau consécutives

$H_i$  et  $H_{i-1}$  (Km<sup>2</sup>).

$L_r$  : longueur de rectangle équivalent (km).

Le calcul de pente de roche se fait a l'aide du **Tableau suivant**.

*Table III-5: Détermination de la pente M.Roche  $I_p$ .*

Altitudes (m)	$H_i - H_{i+1}$ (m)	$S_i$ (Km <sup>2</sup> )	$S_i$ (%)	$S_i$ cumulées (km <sup>2</sup> )	$S_i$ (%) Cumulées	$\sqrt{S_i(H_i - H_{i-1})}$
550-600	50	0.830	21.11	0.830	21.11	5.76
600-700	100	1.580	40.18	2.410	61.29	12.57
700-800	100	0.700	17.80	3.110	79.09	8.37
800-900	100	0.360	9.16	3.470	88.25	6.00
900-1000	100	0.460	11.70	3.930	99.95	6.78
1000-1005	5	0.002	0.05	3.932	100.00	0.10
somme		3.93	100.00			39.58

A.N :  $I_p = 17.87\%$

### III.1.6. Caractéristiques hydrographiques du bassin versant

#### III.1.6.1. Le chevelu hydrographique

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.

Le réseau hydrographique de Bou-Saada est marqué par deux oueds, c'est l'oued Maitar issu du versant sud de djebel Mobakhria, et l'autre oued Bou-Saada est issu du djebel Kardada. Et les eaux pluviales qui traversent ces deux Oueds se déversent dans le chott du Hodna.

#### III.1.6.2. Profil en long de l'axe de l'oued :

L'oued d'El Baten présente un profil en long assez régulier .Ce profil est tracé à partir de la carte des MNT en tenant compte de l'altitude et de la longueur de cours d'eau à l'exutoire. Le profil est dessiné dans la **Figure III.6**.

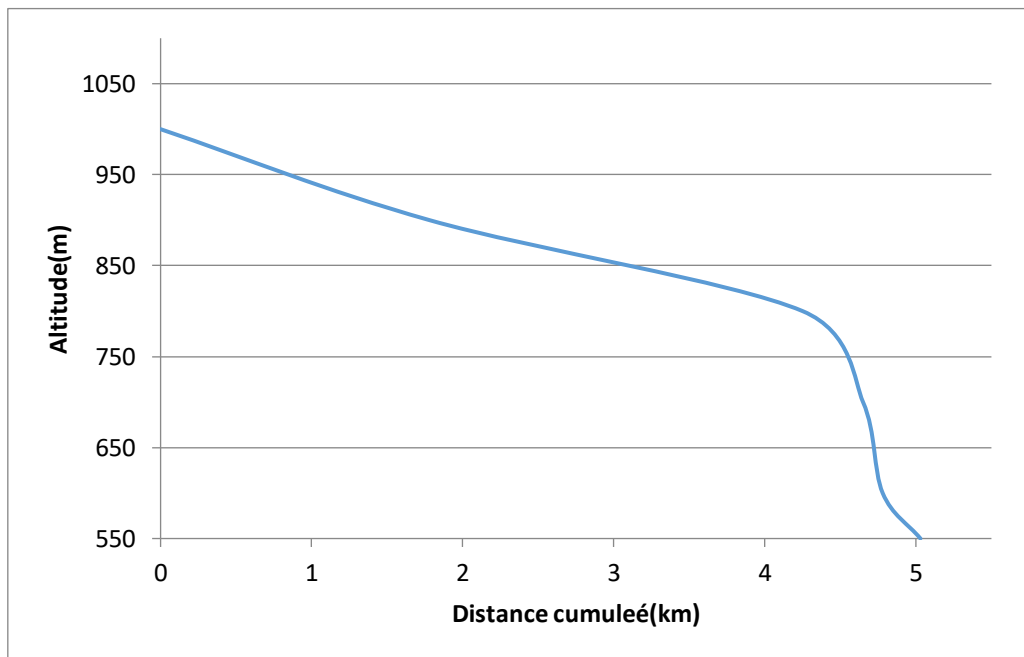


Figure III-4: Profil en long.

#### III.1.6.3. Pente moyenne de cours d'eau principal $I_c$ :

Elle exprime le rapport entre la dénivelée et la longueur comprise entre deux points suffisamment éloignés du cours d'eau principal. Il est donné par la formule suivante.

$$I_c = \frac{\Delta H}{\Delta L} \text{ (III.14)}$$

Avec :

$\Delta H$  :Dénivelée entre deux points suffisamment distants (m).=1005-550

$L_{cp}=\Delta L$  : Distance entre ces deux points (km).=11.49

A.N : Ic=3.959 %

### III.1.6.4. Densité de drainage :

Elle est définie pour un bassin versant donnée de surface « S », comme la longueur totale des cours d'eaux de tous les ordres sur la surface drainée, et est exprimée en Km/Km<sup>2</sup>.

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S} \text{ (III.15)}$$

Avec :

$$\sum_{i=1}^n L_i : \text{somme des longueurs de tous les cours d'eau d'ordre } i \text{ (km)} = 144.460 \text{ Km.}$$

S : surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

$$\text{AN: } D_d = 6.47 \text{ Km/Km}^2$$

### III.1.6.5. Le coefficient de torrentialité Ct:

$$C_t = D_d \cdot F = D_d \cdot N / S \text{ (III.16)}$$

Avec :

Dd : la densité de drainage.

N : Nombre des talwegs d'ordre 1. Avec : N=38.

S : Surface du bassin versant.

$$\text{AN : } C_t = 9.67.$$

### III.1.6.6. Temps de concentration :

C'est le temps que met une particule d'eau provenant de la partie la plus éloignée du bassin pour arriver à l'exutoire.

- **La formule de KIRPICH**

$$\text{1<sup>er</sup> formule : } T_c = 0,6615 L_{cp}^{0,77} \cdot I_g^{0,385} = 5.10 \text{ heures.}$$

$$\text{2<sup>eme</sup> formule : } T_c = 0,945 \frac{L_{cp}^{1,155}}{D^{0,385}} = 0.56 \text{ heures.}$$

**Avec :**

L<sub>cp</sub> : longueur du cours d'eau principal (Km)

I<sub>g</sub> : indice de pente globale (%).

D : dénivelé entre les extrémités du cours d'eau principal (m).

On adopte la valeur de 2<sup>eme</sup> formule t<sub>c</sub>=0.56 heures

- **La formule de GIANDOTTI**

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L_{cp}}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{\min}}}$$

**Tc=1.54 Heures**

**Avec :**

L<sub>cp</sub> : Longueur du cours d'eau principal (Km)

S : La superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>)

H<sub>moy</sub>: Altitude moyenne du bassin versant (m)

H<sub>min</sub> : Altitude minimale du bassin versant (m)

- **Formule de CALIFORNIA**

$$T_c = \left( \frac{0.87 \cdot L_{cp}^3}{H_{\max} - H_{\min}} \right)^{0.386}$$

**Tc=0.60 Heures**

**Avec :**

H<sub>max</sub> : Altitude maximale du bassin versant (m).

H<sub>min</sub> : Altitude minimale du bassin versant (m).

L<sub>cp</sub> :longueur du cours d'eau principal (Km).

- **Formule de GOPTCHENKO**

$$T_c = \left( \frac{L_{cp}}{1,19 \cdot S^{0,14} I_b^{0,33}} \right)$$

**Tc=0.79 Heures**

**Avec :**

L<sub>cp</sub> : longueur de cours d'eau principal (km).

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

I<sub>b</sub>: indice de pente brute (‰).

- **Formule de SOGREA**

$$T_C = 3 \left( \frac{S \cdot L_{cp}}{(10 \cdot I_{C.P})^{\frac{3}{2}}} \right)^{\frac{1}{4}}$$

**Tc = 0.87 Heures**

**Avec :**

$L_{cp}$  : longueur de cours d'eau principale (km).

$S$  : surface du bassin versant (km<sup>2</sup>).

$I_{cp}$  : pente moyenne de cours d'eau principal (%).

On adopte alors une valeur moyenne de **Tc=0.87 Heures**

### III.1.6.7. Vitesse de ruissellement

La vitesse de propagation moyenne dans le bassin versant est :

$$Vr = \frac{Lp}{Tc} \text{ (Km/h). (III.18)}$$

{  $Lp$  : Longueur du cours d'eau principal (Km) = 5.033  
 {  $Tc$  : Temps de concentration (h) = 0.87 heures

**AN : Vr =5.78 Km/h.**

*Table III-6: Récapitulatif des caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant.*

Désignation		Symbole	Unités	Valeur
Superficie		S	km <sup>2</sup>	3.93
Périmètre		P	km	11.49
Longueur du thalweg principal		L	km	2.630
Pente du thalweg principal		Ic	%	3.959
Indice de compacité Gravius		Kc	-	1.62
Coefficient d'allongement		Ca	-	6.45
Rectangle équivalent	longueur	Lr	km	4.903
	largeur	lr	Km	0.802
Altitudes	maximale	Hmax	m	1005
	moyenne	Hmoy	m	706
	médiane	Hmed	m	720



	minimale	Hmin	m	550
Pente moyenne de B.V		Im	%	22.19
Indice de pente globale		Ig	%	0.08
Indice de pente moyenne		Im	%	4.13
Indice de pente de M Roche		Ip	%	17.87
Densité de drainage		Dd	Km/Km2	6.47
Coefficient de torrentialité		Ct	-	9.67
Temps de concentration		Tc	h	0.87
Vitesse de ruissellement		Vr	Km/h	5.78

### III.2. Caractéristiques climatiques :

#### III.2.1. Température de l'air :

Les températures sont élevées avec des amplitudes thermiques journalières et annuelles très élevées. La température maximale moyenne mensuelle est de 14°C au mois de janvier et de 40°C au mois de juillet. Le minima est respectivement de 2°C et 24°C.

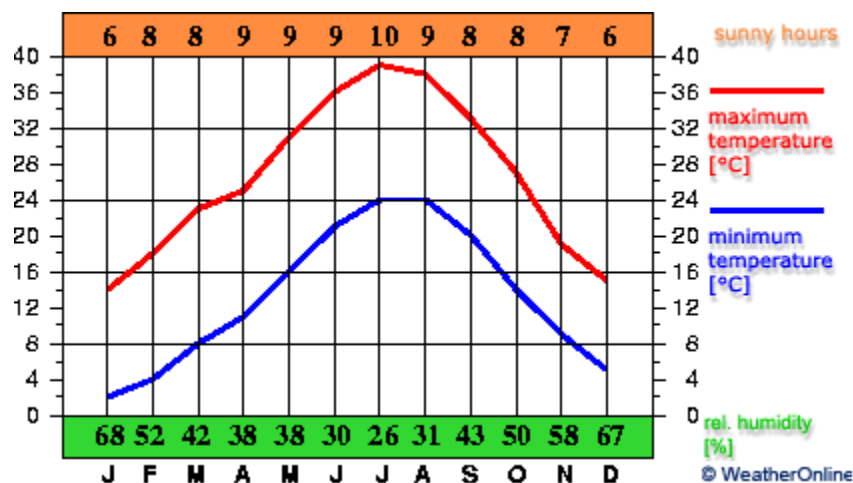


Figure III-5: : Moyenne mensuelle des températures minimales et maximales à Bou Saada.

#### III.2.2. Pluviométrie

L'analyse du régime pluviométrique est la partie climatologique la plus importante qui constitue un élément essentiel de l'hydrologie appliquée dans des études de protection des

villes contre les crues. Notre zone d'étude dispose de deux stations hydropluviométriques dont les périodes sont suffisamment longues pour pouvoir estimer au mieux les paramètres hydrologiques requis tant à l'échelle annuelle et mensuelle qu'à l'échelle plus fine de l'ordre d'une journée, voire des intensités de courtes durées.

### III.2.2.1. Caractéristiques des stations pluviométriques :

On a deux stations pluviométriques avec des caractéristiques différentes :

Table III-7: Stations pluviométriques.

Station	Code	source	Coordonnées			Années de service	N
			X (km)	Y (km)	Z (m)		
<b>KSOB BARRAGE</b>	051005	A.N.R.H	668.7	282.65	600	1942-2010	68 ans
<b>AIN KHERMAN</b>	050702	A.N.R.H	631.2	240.45	500	1913-2011	98 ans

Source : A.N.R.H

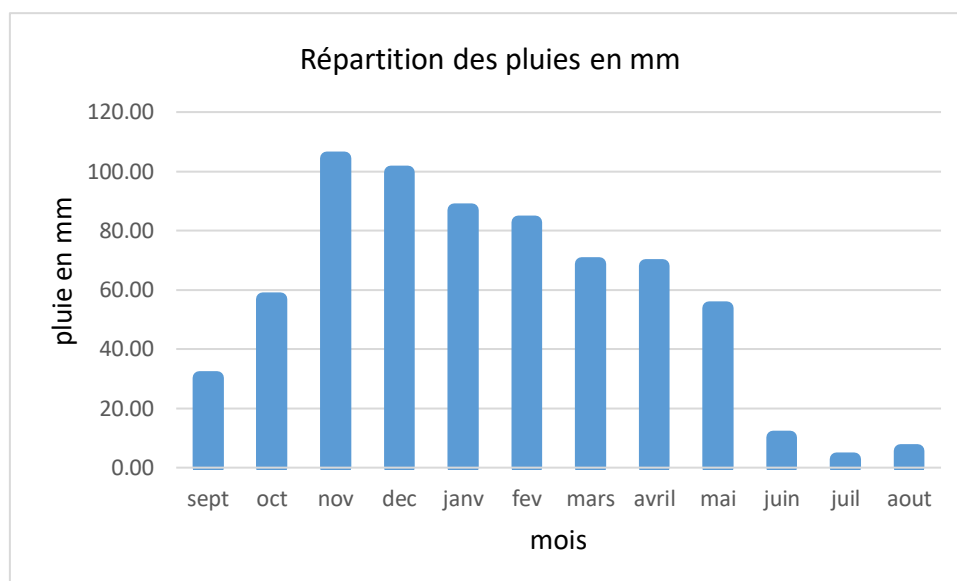
La station de AIN KHERMAN est la plus proche du site avec une période d'observation de 98ans.

### III.2.2.2. Répartition mensuelle des précipitations dans le bassin

La répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle à la station AIN KHERMAN est la suivante:

Table III-8: Répartition mensuelle des précipitations.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	M A
<b>Pluie moyenne (mm)</b>	21.53	22.32	16.54	13.70	13.96	12.01	14.87	19.25	23.50	8.44	4.76	9.99	180.87
<b>(%)</b>	11.90	12.34	9.15	7.58	7.72	6.64	8.22	10.64	12.99	4.67	2.63	5.52	100



*Figure III-6 : Répartition mensuelle des pluies.*

### III.2.2.3. Etude des précipitations maximales journalières :

Dans l'objectif de déterminer les pluies maximales probables, on a établi à partir des mesures de la station de Ain Kherman, une série de pluies maximales journalières. Le travail sur cette dernière se fera de la manière suivante :

- Calcul des paramètres statistiques de la série.
- Ajustement à une loi statistique (choix de la loi adéquate).
- Calcul des quantiles pour différentes périodes de retour.
- Calcul des pluies et intensités de courte durée.

La série des pluies maximales journalières enregistrées à la station pluviométrique 050702 a été choisie comme étant la plus représentative des maxima journaliers pouvant se produire dans la zone d'étude.

*Table III-9 : Pluies maximales journalières prise de la station 050702 (Source ANRH).*

Année	Pluie max jour (mm)	Année	Pluie max jour (mm)	Année	Pluie max jour (mm)
1985	23	1996	24,6	2007	22,4
1986	32,8	1997	17	2008	26,4
1987	42,8	1998	40,5	2009	26,1
1988	53	1999	18,4	2010	37,7

1989	36,1	2000	16,2	2011	22,4
1990	24,7	2001	50,4	2012	24,6
1991	18,2	2002	23,9	2013	30,3
1992	50	2003	21,4	2014	32,8
1993	47	2004	26,1	2015	28,2
1994	20,9	2005	39,3	2016	46,2
1995	37,1	2006	31,7	2017	77,6

Les caractéristiques de notre série pluviométrique sont illustrées dans le tableau suivant :

*Table III-10: Caractéristique de la série pluviométrique (32 ans).*

<b>Caractéristiques</b>	<b>Formule</b>	<b>Valeurs</b>
Moyenne des Pmaxj en (mm)	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n=33} X_i}{n}$	32.42
Ecart type « $\sigma_X$ »; Pour n > 30 ans	$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n=33} (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$	13.25
Coefficient de variation « Cv »	$C_V = \frac{\sigma_X}{\bar{X}}$	0.41

### **Choix de la loi d'ajustement**

Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométriques, l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de :

- La loi de probabilité.
- La taille de l'échantillon.
- Certaines caractéristiques de l'échantillon.

Toutefois, de nombreuses études comparatives, empiriques et théoriques, ont été menées afin de déterminer dans quelles circonstances une méthode d'estimation est la plus efficace pour une loi donnée.

Les lois d'ajustement choisies sont :

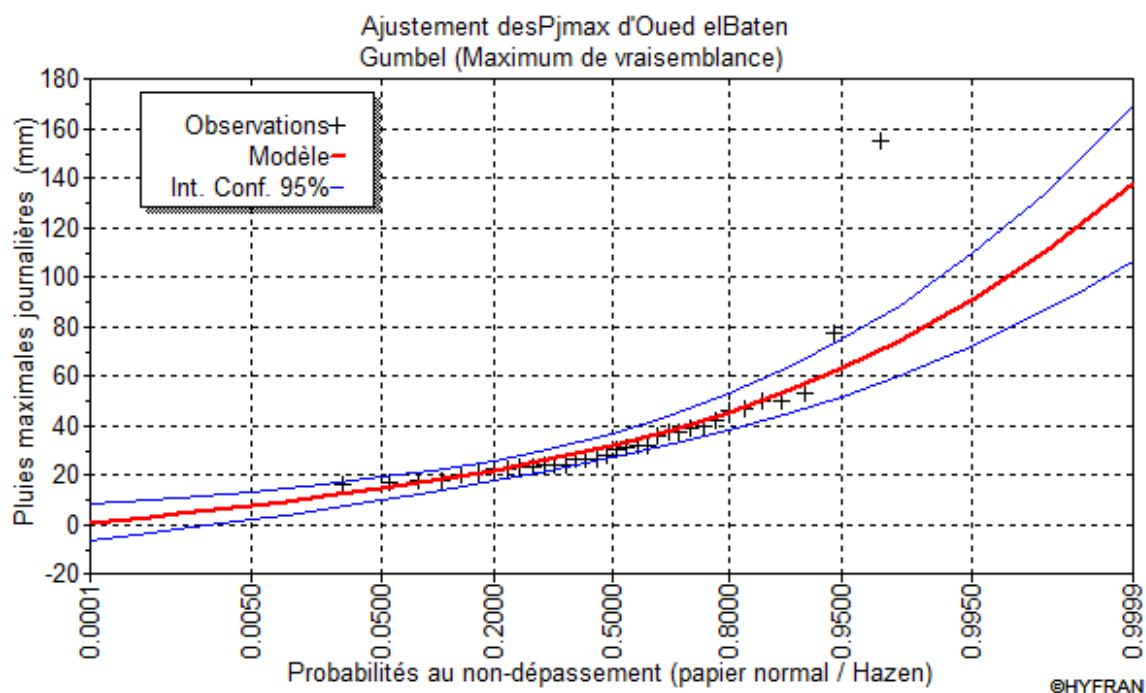
- la loi de GUMBEL (droite de HENRY).
- la loi de log-normale (droite de GALTON).

❖ **Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL**

L'ajustement des pluies maximales journalières sera effectué à l'aide du logiciel « HYFRAN » disponible au centre de calcul de l'E.N.S.H de Blida, comme le montre la (figure).

*Table III-11: Résultat de l'ajustement à la loi de GUMBEL.*

<b>Période de retour (ans)</b>	<b>Probabilité de fréquence (q)</b>	<b>Pluie max jour en (mm)</b>	<b>Ecart type</b>	<b>Intervalle de confiance</b>
1000	0.999	110	12.2	82.0 184
100	0.99	82.5	8.45	64.5 121
50	0.98	74.1	7.34	58.9 105
20	0.95	63.0	5.89	51.1 84.0
10	0.9	54.3	4.80	44.8 69.2
5	0.8	45.3	3.73	37.8 54.9
2	0.5	31.8	2.40	26.3 36.2



*Figure III-7: Représentation graphique de la loi de Gumbel.*

*Table III-12: Comparaison des caractéristiques de la loi de Gumbel et de l'échantillon*

Paramètres	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	Aucun	16.0
Maximum	Aucun	156
Moyenne	34.3	35.6
Médiane	31.8	29
Ecart-type	15.4	24.8
Coefficient de variation Cv	0.448	0.696
Coefficient d'asymétrie Cs	1.14	3.66
Coefficient d'aplatissement Ck	2.4	16.1

❖ **Ajustement de la série pluviométrique à la loi de log-normal**

La loi de Galton s'appelle également loi log-normale ou loi gausso-logarithmique car son expression est proche de celle de la loi normale à une anamorphose près de type Logarithmique sur la variable.

Table III-13: Résultat de l'ajustement à la loi Log-normal.

Période de retour (ans)	Probabilité de fréquence (q)	Pluie max jour en (mm)	Ecart type	Intervalle de confiance
1000	0.999	133	26.0	82.0 184
100	0.99	92.9	14.5	64.5 121
50	0.98	81.8	11.7	58.9 105
20	0.95	89.3	7.04	51.1 84.0
10	0.9	57.0	6.22	44.8 69.2
5	0.8	46.4	4.35	37.8 54.9
2	0.5	24.5	2.10	20.3 28.6

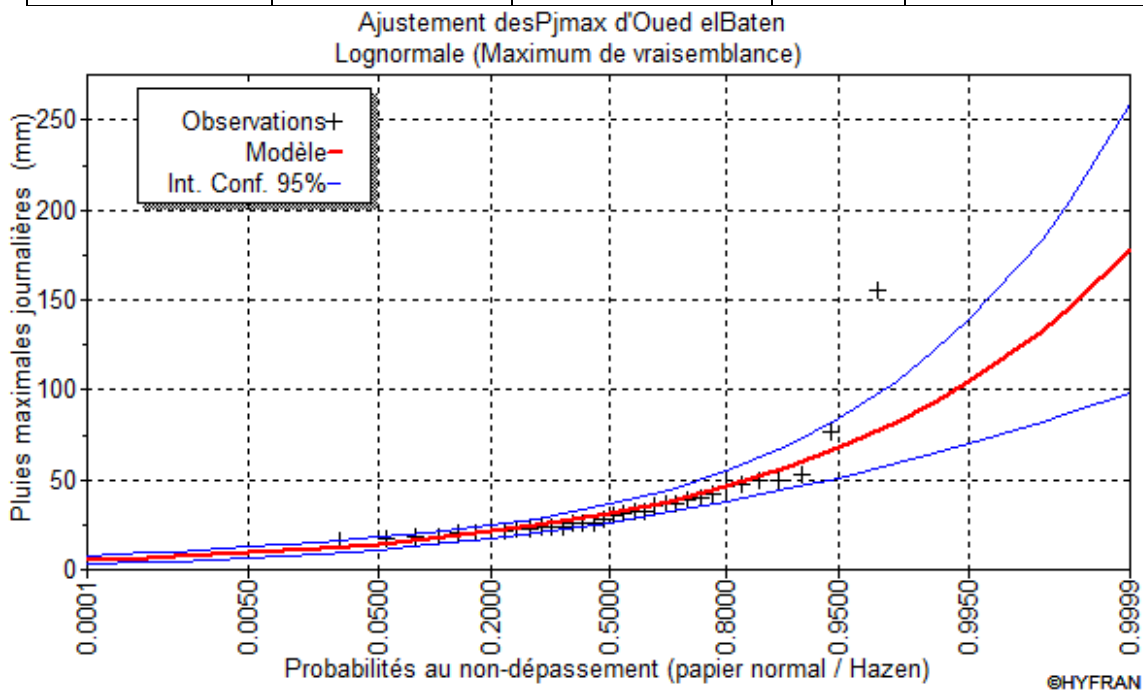


Figure III-8: Représentation graphique de la loi Log-normal.

Table III-14: Comparaison des caractéristiques de la loi de Galton et de l'échantillon.

Paramètres	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	0.00	16.0
Maximum	Aucun	155
Moyenne	34.9	35.6
Médiane	31.3	29.0
Ecart-type	17.3	24.8
Coefficient de variation Cv	0.495	0.696
Coefficient d'asymétrie Cs	1.61	3.66
Coefficient d'aplatissement Ck	7.91	16.1

❖ **Le Test visuel :**

Le test visuel est lié directement à l'ajustement graphique. L'allure des points sur Le graphique Gausso-logarithmique (log-normal) nous informe à priori d'accepter ou de rejeter la loi : La droite théorique qui coupe l'axe des ordonnées sur une valeur négative ne pourrait avoir un sens physique (La lame précipitée est une grandeur physique non négative). Toute sinuosité, mauvaise courbure ou cassure de pente est considérée comme un mauvais ajustement. Elle permet aussi de comparer entre les lois suivant les intervalles de confiance. Dans notre cas les deux lois s'ajustent bien et nous n'avons pas de résultat illogique.

❖ **Interprétation des graphiques :**

Si on analyse les deux graphiques précédents (figure, ), on remarque que les deux lois pourraient très bien s'ajuster et on ne peut pas vraiment choisir celle qui s'ajusterait le mieux, parce que graphiquement elles donnent presque la même qualité d'ajustement ce qui nous oblige à effectuer un test d'adéquation.

❖ **Test d'adéquation du  $\chi^2$  (Pearson) :**



Afin de trancher sur la loi à choisir on va comparer les variables,  $\chi^2_{calculer}$  et  $\chi^2_{théorique}$  à un risque de 5% autrement dit à un seuil de signification de 95%.

On a  $\chi^2_{calculer} < \chi^2_{théorique}$  donc les deux lois s'ajuste avec notre série mais on opte pour la loi qui donne le maximum des  $P_{j,max}$  donc la loi de Gumbel.

### III.2.3. Pluies de courtes durées de différentes fréquences et leurs intensités

Elle est utilisée pour l'estimation des crues, la pluie qui donne la crue critique est la pluie de durée égale au temps de concentration d'où la formule de MONTANARI applicable pour les pluies de courte durée dont l'équation est :

$$P_t = P_{j,max} \left(\frac{T}{24}\right)^b \quad (\text{III.19})$$

$P_t$  (%) : Pluie de courte durée de même fréquence que  $P_{j,max}$  (mm).

$P_{j,max}$ : Pluie maximale journalière pour une fréquence donnée (mm).

$T$  : Temps de l'averse égale à celui de temps de concentration en heures.

$b$ : Exposant climatique ( $b = 0,34$  selon les études régionales de l'ANRH).

Les intensités maximales  $I_t$  de durée  $t$ (h) calculées par la relation :

$$I_t = \frac{P_{j,max}}{24} \cdot \left(\frac{T}{24}\right)^{b-1} \quad (\text{III.20})$$

Table III-15: Pluies de courtes durées de différentes fréquences et leurs intensités.

Période de retour (ans)	1000		100		50		10		5		2		
	Fréquence (%)		0.1		1		2		10		20		50
Pluie max journalier		110		82.5		74.1		54.3		45.3		31.8	
durée (heure)	Pt (mm)	It(mm/h)	Pt (mm)	It(mm/h)	Pt (mm)	It(mm/h)	Pt (mm)	It(mm/h)	Pt (mm)	It(mm/h)	Pt (mm)	It(mm/h)	
	0.25	23.3	93,2	17.5	69,9	15,7	62,8	11,5	46,0	9,6	38,4	6,7	26,9
0.5	29.5	59,0	22.1	44,2	19,9	39,7	14,6	29,1	12,1	24,3	8,5	17,1	

### Chapitre III : Etude hydrologique

1	37.3	37,3	28.0	28,0	25,2	25,2	18,4	18,4	15,4	15,4	10,8	10,8
2	47.3	23,6	35.4	17,7	31,8	15,9	23,3	11,7	19,5	9,7	13,7	6,8
3	54.2	18,1	40.7	13,6	36,5	12,2	26,8	8,9	22,3	7,4	15,7	5,2
4	59.8	15,0	44.9	11,2	40,3	10,1	29,5	7,4	24,6	6,2	17,3	4,3
5	64.5	12,9	48.4	9,7	43,5	8,7	31,9	6,4	26,6	5,3	18,7	3,7
6	68.7	11,4	51.5	8,6	46,3	7,7	33,9	5,6	28,3	4,7	19,8	3,3
7	72.4	10,3	54.3	7,8	48,7	7,0	35,7	5,1	29,8	4,3	20,9	3,0
8	75.7	9,5	56.8	7,1	51,0	6,4	37,4	4,7	31,2	3,9	21,9	2,7
9	78.8	8,8	59.1	6,6	53,1	5,9	38,9	4,3	32,5	3,6	22,8	2,5
10	81.7	8,2	61.3	6,1	55,0	5,5	40,3	4,0	33,6	3,4	23,6	2,4
11	84.4	7,7	63.3	5,8	56,8	5,2	41,6	3,8	34,7	3,2	24,4	2,2
12	86.9	7,2	65.2	5,4	58,5	4,9	42,9	3,6	35,8	3,0	25,1	2,1
13	89.3	6,9	67.0	5,2	60,2	4,6	44,1	3,4	36,8	2,8	25,8	2,0
14	91.6	6,5	68.7	4,9	61,7	4,4	45,2	3,2	37,7	2,7	26,5	1,9
15	93.8	6,3	70.3	4,7	63,2	4,2	46,3	3,1	38,6	2,6	27,1	1,8
16	95.8	6,0	71.9	4,5	64,6	4,0	47,3	3,0	39,5	2,5	27,7	1,7
17	97.8	5,8	73.4	4,3	65,9	3,9	48,3	2,8	40,3	2,4	28,3	1,7
18	99.8	5,5	74.8	4,2	67,2	3,7	49,2	2,7	41,1	2,3	28,8	1,6
19	101.6	5,3	76.2	4,0	68,4	3,6	50,2	2,6	41,8	2,2	29,4	1,5
20	103.4	5,2	77.5	3,9	69,6	3,5	51,0	2,6	42,6	2,1	29,9	1,5
21	105.1	5,0	78.8	3,8	70,8	3,4	51,9	2,5	43,3	2,1	30,4	1,4
22	106.8	4,9	80.1	3,6	71,9	3,3	52,7	2,4	44,0	2,0	30,9	1,4
23	108.4	4,7	81.3	3,5	73,0	3,2	53,5	2,3	44,6	1,9	31,3	1,4
24	110	4,6	82.5	3,4	74,1	3,1	54,3	2,3	45,3	1,9	31,8	1,3

Tc=0.87	35.6	40,9	26.7	30,7	24,0	27,6	17,6	20,2	14,7	16,9	10,3	11,8
---------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

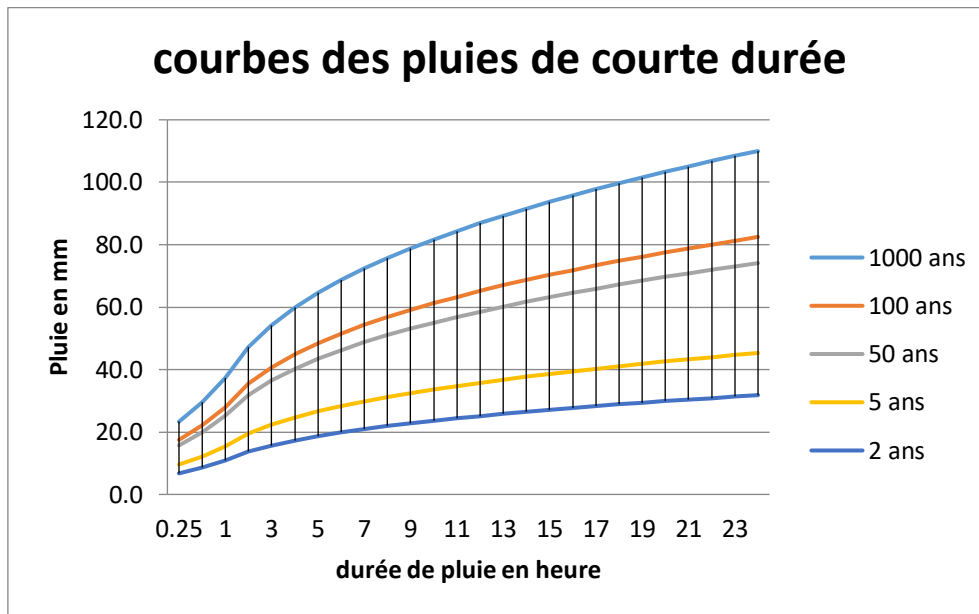


Figure III-9: Représentation des courbes de Pluies de courtes durées de différentes fréquences.

### III.2.4. Etude des apports

Vu l'inexistence d'une station hydrométrique sur le cours d'eau pour l'évaluation des apports, nous avons utilisés les formules empiriques les plus employées en Algérie.

#### III.2.4.1. Apport liquide

De nombreuses estimations des apports existent en Algérie, quelques-unes entre elles sont employées pour approcher au mieux la valeur de l'apport moyen annuel.

##### ❖ Formule de SAMIE

L'expérience a montré que la relation simple s'ajuste convenablement pour l'apport moyen annuel des petits bassins en donnant la pluie efficace :

$$L_e = P^2 \cdot (293 - 2.2\sqrt{S}) \quad (\text{III.21})$$

$$A = L_e \cdot S \quad (\text{III.22})$$

Où :

P : précipitations moyennes interannuelles en m :  $P = 0.262m$

S : Superficie du Bassin versant. En  $Km^2$ .

### ❖ Formule de Coutagne :

$$L_e = P(0.16 - 0.00145\sqrt{S}) = 0.041 \text{ (III.23)}$$

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

Où

P : la pluie moyenne annuelle.(m)

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

Le : la lame d'eau écoulée (m)

### ❖ Formule dite 'Algérienne' :

$$L_e = P \cdot (1 - 10^{-kP^2}) \cdot 10^3 = 6.946 \text{ (III.26)}$$

Où :  $k = 0.18 - 0.01 \cdot \log(S) = 0.17$

P : précipitation moyenne interannuelle en m

$$A = L_e \cdot S$$

### ❖ Formule de l'INRH (Sogreah 1986/89) :

$$L_e = 720 \cdot \left(\frac{P-150}{1000}\right)^{1.85} = 12.54 \text{ (III.27)}$$

$$A = L_e \cdot S = 0.493 \text{ Hm}_3 \text{ (III.28)}$$

Où : A : Apport moyen annuel en Hm<sub>3</sub>

P : Précipitation moyenne annuelle en mm

### ❖ Formule de J. Deri:

Appliquée sur plus de 65 petits bassins versants et en se basant sur les données hydrométriques de l'ANRH, l'auteur de cette formule a développé une méthodologie axée sur les corrélations multiples. L'apport moyen d'écoulement est exprimé pour les bassins moyens ( $S < 1000 \text{ km}^2$ ) :

$$A = 0.915 * P^{2.684} * S^{2.683} * Dd^{0.5} = 0.113 \text{ (III.29)}$$

P = Pluie annuelle en m, S = Superficie du bassin en km<sup>2</sup>

**Tableau III.19** Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant

méthode ou formule	Lame écoulée en mm	Apport moyen Hm3
SAMIE	19.81	0.779
Coutagne	41	1.611
ALGERIENNE	6.946	0.273
SOGREAH/INRH	12.54	0.493
J.DERI	/	0.113

On prend la valeur moyenne des apports **0.654 Hm<sup>3</sup>/an.**

### ❖ Module de l'écoulement

Il est donné par :

$$M_e = \frac{A_0}{T} \text{(III.30)}$$

$A_0$  : Apport moyen annuel (l).

T : Temps d'une année en secondes.

$$M_e = 87.39 \text{ l/s(III.31)}$$

### ❖ Module de l'écoulement relatif

$$\text{On a: } M_0 = \frac{M_e}{S} \text{(III.32)}$$

$M_e$ : Module de l'écoulement (l/s);

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

$$M_0 = 22.24 \text{ l/s/Km}^2 \text{(III.33)}$$

### ❖ Lame d'eau écoulée

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

$A_0$  : Apport moyen annuel (m<sup>3</sup>).

$$L_e = \frac{A_0}{S} \text{ (III.34)}$$

$$L_e = 14.758 \text{ mm}$$

### ❖ Coefficient de l'écoulement:

Il est donné par :  $C_e = \frac{L_e}{P_{moy}}$  (III.35)

$$C_e = 0.06$$

### III.2.5. Etudes des crues

Les crues sont des écoulements variables dans lesquelles les débits atteignent des valeurs importantes. Leur étude a pour but de déterminer les Hydrogrammes des crues fréquentielles sur le bassin versant et de définir les débits maximums probables correspondants.

L'estimation des crues révèle une grande importance pour la sécurité de l'ouvrage à construire. Les paramètres définissant une crue sont :

- Le débit maximum (débit de pointe).
- Le volume.
- Le temps.
- La forme (Hydrogrammes de crues).

La construction des hydrogrammes de crues passe d'abord par l'estimation des débits maximum fréquentiels.

#### III.2.5.1. Détermination des débits maximums fréquentiels

En l'absence de données pour les débits maximums, pour la détermination des débits de pointe, nous allons procéder à utiliser les formules empiriques puis la méthode de GRADEX.

### ❖ Formules empiriques et semi empiriques

Ces formules sont basées sur l'expérimentation ou sur certaine information propre à certaines régions pour lesquelles elles ont été déterminées. Ces formules empiriques sont à prendre avec précaution dans le sens où si elles sont valables dans une région, elles ne sont pas dans d'autres et donnent souvent des valeurs sous-estimées ou surestimées (Touabia, 2003), Le tableau suivant récapitule les résultats trouvés par les différentes formules empiriques.

#### ➤ Formule de Mallet-Gauthier

$$Q_{\text{max, p}\%} = \frac{2 \cdot K \cdot \log(1 + A \cdot P_{\text{moy}}) \cdot S \cdot \sqrt{1 + 4 \log T - \log S}}{\sqrt{L}} \text{ (III.36)}$$

Avec :

$Q_{\max, p\%}$  : Débit maximum pour une fréquence donnée ( $m^3/s$ ).

$P_{moy}$  : Pluie moyenne interannuelle (m).

$S$  : Surface du bassin versant ( $Km^2$ ).

$L$  : Longueur du talweg principal (Km).

$K$  : constante dépendant des caractéristiques géographiques et climatiques du bassin :  $1 < K < 3$ , on prend  $K=2$  (BV de surface moyenne et pente moyenne).

$T$  : Période de retour (an).

$A = 25$  pour le régime hydrologique méditerranéen.

### ➤ Formule de Possenti

$$Q_{\max, p\%} = \frac{\mu \cdot P_{\max, p\%} \cdot S}{L} \quad (\text{III.37})$$

Avec :

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

$S$  : Superficie du bassin versant ( $km^2$ ).

: Coefficient  $700 < \mu < 800$ , on prend  $\mu = 750$ .

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

### ➤ Formule de Sokolovsky

$$Q_{\max, \%} = \frac{0.28(P_{tc} - H_0) \alpha \cdot F \cdot S}{T_c} \quad (\text{III.38})$$

Avec :

$P_{tc}$  : Précipitation de probabilité  $P\%$  correspondant au temps de concentration (mm). Calculé par la formule de Montanari:

$$P_{tc} = P_{j, \max} \left( \frac{T_c}{24} \right)^{0.34} \quad (\text{III.39})$$

$S$  : Superficie du bassin ( $Km^2$ ).

$T_c$ : Temps de concentration (heures).

$H_0$  : Perte d'eau initiale, au Nord algérien  $H_0 = 7 \text{ mm}$ .

F : Coefficient de forme de la crue :

$$\left[ F = \frac{12}{4 + 3\gamma} \right] \text{ (III.40)}$$

- Pour un bassin boisé avec un sol peu perméable :  $2 \leq \gamma \leq 2.5$ .

On prend  $\gamma = 2,25$  ; d'où :  $F = 1.12$ .

$\alpha$  : Coefficient de ruissellement de la crue pour une période donnée.

$$\alpha_p = \frac{\sqrt{X_p} - \sqrt{H_0}}{\sqrt{X_p} + \sqrt{H_0}} \text{ (III.41)}$$

Avec :

$X_p$  : précipitation de fréquence donnée qui correspond au temps de concentration.

$H_0$  : perte d'eau initiale.

Les résultats de calcul de toutes les formules sont représentés dans le tableau suivant:

*Table III-16: Récapitulatif des débits maxima de crue (m<sup>3</sup>/s).*

<b>Période de retour (ans)</b>	5	10	50	100	1000
<b>Formule de MALLET- GAUTHIER</b>	9.30	10.91	13.95	<b>15.08</b>	18.31
<b>Formule de SOKOLOVSKY</b>	12.82	17.29	28.84	<b>35.03</b>	58.39
<b>Formule de POSSENTI</b>	26.53	31.80	43.40	<b>48.31</b>	64.42

### III.2.5.2. Hydrogramme de crue

Détermination des hydrogrammes de crues probables par la méthode de Sokolovski, L'hydrogramme de crue est une identité de la crue, il détermine ses caractéristiques principales qui sont :

- Le volume.
- La durée.
- Le débit maximum (débit de pointe).

Pour tracer l'hydrogramme de crue, nous sommes tenus de suivre la méthode de Sokolovski qui le divise en deux parties non symétriques, calculé à partir des temps de montée et de ladécru.

a) Pour le temps de montée



$$Q_m = Q_{\max} \left( \frac{T}{T_m} \right)^2 \quad (\text{III.50})$$

$T_m = T_c$  : Temps de montée.

b) Pour le temps de décrue

$$Q_d = Q_{\max} \left( \frac{T_d - T}{T_d} \right)^3 \quad (\text{III.51})$$

$Q_m$  : Débit instantané de la montée (m<sup>3</sup>/s).

$Q_d$  : Débit instantané de la décrue (m<sup>3</sup>/s).

$t_m$  : Temps de la montée de la crue en heures.

$t_d$  : Temps de la décrue en heures.

$Q_{\max}$  : Débit maximum de la crue de fréquence considérée en (m<sup>3</sup>/s).

Pour les crues d'averses, c'est à dire les crues engendrées par la pluie, cette méthode prend :

$t_m = t_c$  (pour les petits bassins versants), avec  $t_c$  qui est le temps de concentration du bassin versant (heures).

$t_d = \delta * t_m$ .

Où  $\delta$  : coefficient de forme de l'hydrogramme de crue.

*Table III-17: Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue  $\delta$ .*

Description du cours d'eau	Valeur de $\delta$
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants dénudés et faiblement perméables.	2,0 – 2,5
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants brisés ou perméables, moyens cours d'eau avec terrasses de lit majeur normales.	3,0 – 4,0
Grands et moyens cours d'eau avec des terrasses de débordements étendues.	4,0 – 7,0

On prend  $\delta = 3$

$t_d = 3 * 0.87 = 2.61$  heures.

Donc le temps de base  $t_b = t_d + t_m = 3.48$  heures.

Table III-18: Calcul de l'hydrogramme de crue.

Période de retour (ans)	1000	100	50	10
Fréquence (%)	0.1	1	2	10
Débit max	58.39	35.03	28.84	17.29
durée (heure)	débit de crue en fonction de temps			
0	0,00	0,00	0,00	0,00
0,04	0,12	0,07	0,06	0,04
0,08	0,49	0,30	0,24	0,15
0,12	1,11	0,67	0,55	0,33
0,16	1,97	1,18	0,98	0,58
0,2	3,09	1,85	1,52	0,91
0,24	4,44	2,67	2,19	1,32
0,28	6,05	3,63	2,99	1,79
0,32	7,90	4,74	3,90	2,34
0,36	10,00	6,00	4,94	2,96
0,4	12,34	7,40	6,10	3,65
0,44	14,94	8,96	7,38	4,42
0,48	17,77	10,66	8,78	5,26
0,52	20,86	12,51	10,30	6,18
0,56	24,19	14,51	11,95	7,16
0,6	27,77	16,66	13,72	8,22
0,64	31,60	18,96	15,61	9,36

### Chapitre III : Etude hydrologique

0,67	34,63	20,78	17,10	10,25
0,68	35,67	21,40	17,62	10,56
0,72	39,99	23,99	19,75	11,84
0,76	44,56	26,73	22,01	13,19
0,8	49,37	29,62	24,39	14,62
0,84	54,43	32,66	26,89	16,12
<b>0,87</b>	<b>58,39</b>	<b>35,03</b>	<b>28,84</b>	<b>17,29</b>
0,88	57,72	34,63	28,51	17,09
0,92	55,10	33,06	27,21	16,32
0,96	52,56	31,53	25,96	15,56
1	50,09	30,05	24,74	14,83
1,04	47,71	28,62	23,56	14,13
1,08	45,40	27,24	22,42	13,44
1,12	43,17	25,90	21,32	12,78
1,16	41,01	24,60	20,26	12,14
1,2	38,92	23,35	19,23	11,53
1,24	36,91	22,14	18,23	10,93
1,28	34,97	20,98	17,27	10,35
1,32	33,10	19,86	16,35	9,80
1,36	31,29	18,77	15,46	9,27
1,4	29,55	17,73	14,60	8,75
1,44	27,88	16,73	13,77	8,26
1,48	26,27	15,76	12,98	7,78
1,52	24,73	14,83	12,21	7,32
1,56	23,24	13,95	11,48	6,88

### Chapitre III : Etude hydrologique

1,6	21,82	13,09	10,78	6,46
1,64	20,46	12,27	10,10	6,06
1,68	19,15	11,49	9,46	5,67
1,72	17,90	10,74	8,84	5,30
1,76	16,71	10,03	8,25	4,95
1,8	15,57	9,34	7,69	4,61
1,84	14,49	8,69	7,15	4,29
1,88	13,45	8,07	6,64	3,98
1,92	12,47	7,48	6,16	3,69
1,96	11,53	6,92	5,70	3,42
2	10,65	6,39	5,26	3,15
2,04	9,81	5,88	4,84	2,90
2,08	9,01	5,41	4,45	2,67
2,12	8,26	4,96	4,08	2,45
2,16	7,55	4,53	3,73	2,24
2,2	6,89	4,13	3,40	2,04
2,24	6,26	3,76	3,09	1,85
2,28	5,67	3,40	2,80	1,68
2,32	5,13	3,08	2,53	1,52
2,36	4,61	2,77	2,28	1,37
2,4	4,14	2,48	2,04	1,23
2,44	3,69	2,22	1,82	1,09
2,48	3,28	1,97	1,62	0,97
2,52	2,91	1,74	1,44	0,86
2,56	2,56	1,53	1,26	0,76

### Chapitre III : Etude hydrologique

2,6	2,24	1,34	1,11	0,66
2,64	1,95	1,17	0,96	0,58
2,68	1,68	1,01	0,83	0,50
2,72	1,44	0,86	0,71	0,43
2,76	1,23	0,74	0,61	0,36
2,8	1,03	0,62	0,51	0,31
2,84	0,86	0,52	0,43	0,25
2,88	0,71	0,43	0,35	0,21
2,92	0,58	0,35	0,28	0,17
2,96	0,46	0,28	0,23	0,14
3	0,36	0,22	0,18	0,11
3,04	0,28	0,17	0,14	0,08
3,08	0,21	0,13	0,10	0,06
3,12	0,15	0,09	0,08	0,05
3,16	0,11	0,06	0,05	0,03
3,2	0,07	0,04	0,04	0,02
3,24	0,05	0,03	0,02	0,01
3,28	0,03	0,02	0,01	0,01
3,32	0,01	0,01	0,01	0,00
3,36	0,01	0,00	0,00	0,00
3,4	0,00	0,00	0,00	0,00
3,44	0,00	0,00	0,00	0,00
3,48	0,00	0,00	0,00	0,00

Les hydrogrammes de crues pour différentes périodes de retour sont représentés par la figure suivante :

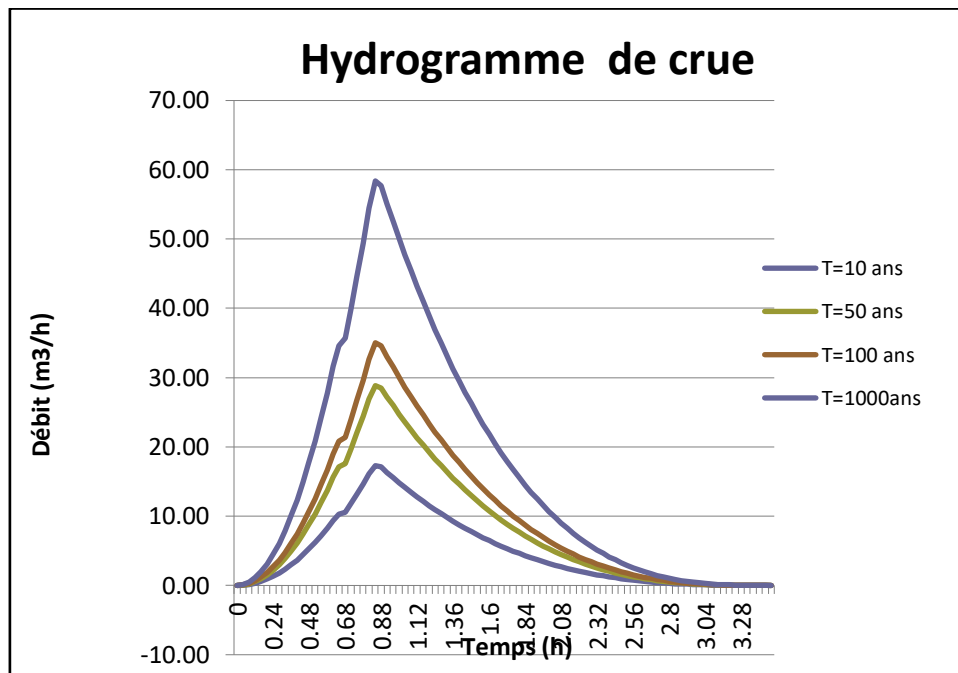


Figure III-10: Hydrogramme de crue.

### Conclusion

Dans ce chapitre on a déterminé le débit de dimensionnement qui est de **35.03m³/s**.

# **CHAPITRE IV**

**CALCUL**

**HYDRAULIQUE.**

## Chapitre IV : calcul hydrologique

### Introduction

Le calcul hydraulique s'inspire de la règle des valeurs extrêmes (débit et vitesse d'écoulement) ; donc les canaux doivent satisfaire les conditions de l'évacuation rapide et continue de toutes les quantités des eaux dans le but d'assurer une protection suffisante contre les inondations. L'écoulement à surface libre est un phénomène beaucoup plus compliqué que l'écoulement en charge parce que la présentation d'une surface libre entraîne les variations des section liquides suivant la longueur du courant même en cas d'obstacles insignifiants. Les courants à surface libre peuvent être permanents, non permanents, uniformes ou non uniformes.

### IV.1. Généralités

#### IV.1.1. Écoulement à surface libre

Il est défini comme un écoulement de liquide avec une surface qui est en contact avec l'air libre. La pression atmosphérique, il est défini comme un écoulement de liquide avec une surface qui est en contact avec l'air libre est la pression atmosphérique. (Dewals, 2002)

#### IV.1.2. Canaux à ciel ouvert

On appelle canal, un système de transport dans lequel l'eau s'écoule et dont la surface libre est soumise à la pression atmosphérique. Ils peuvent être des canaux naturels ou artificiels, caractérisés par une pente «  $i$  » et un coefficient de rugosité «  $n$  ». Degoutte, G., 2006

#### IV.1.3. Différents types de canaux

On distingue deux catégories de canaux :

##### 1) Les canaux naturels

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

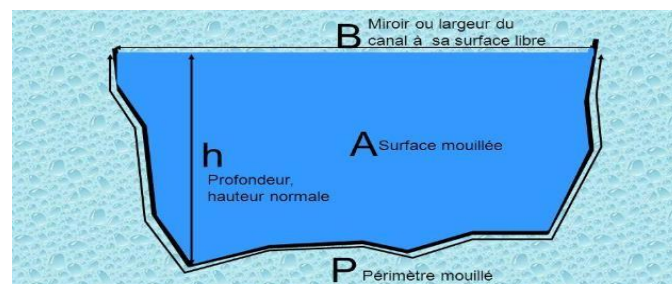


Figure IV-1: canal naturel

Source(<https://hydroassini.blogspot.com/2019/02/diametre-hydraulique.html>)



– **Section mouillée  $S_m$**

Partie de la section du canal limitée par les parois et la surface libre.

– **périmètre mouillé  $P_m$**

Longueur de la surface d'écoulement en contact avec le lit (fond + berges), c'est-à-dire le périmètre de la section d'écoulement moins la largeur au miroir.

– **largeur au miroir  $B$**

Largeur de la section d'écoulement au niveau de la surface libre. La pression du fluide à cette interface est égale à celle de l'atmosphère.

– **tirant d'eau**

Profondeur maximale d'une section d'écoulement ;

**2) Les canaux artificiels**

Ce sont des cours d'eau réalisés par l'homme sur (ou sous) terre tels que: les canaux découverts construits au ras du sol (canaux de navigation, d'adduction et d'évacuation, d'irrigation et de drainage) ou les canaux couverts dans lesquels les liquides ne remplissent pas toute la section (tunnels hydrauliques, aqueducs, drains, égouts). Les propriétés hydrauliques des canaux artificiels sont généralement assez régulières. L'application de la théorie hydraulique donne souvent des résultats satisfaisants. (François Serre, 1953)

**IV.1.4. Types d'écoulements**

**IV.1.4.1. Variabilité dans le temps**

**a) Ecoulement permanent**

Les caractéristiques de l'écoulement (Vitesse, profondeur, débit) restent constantes dans une section du canal, et ne change pas par rapport au temps

C'est-à-dire :  $\frac{dv}{dt} = \frac{dQ}{dt} = \frac{dh}{dt} = \frac{du}{dt} = 0 \quad \dots\dots(IV.1)$

Il se divise en :

- ✓ Uniforme
- ✓ Nonuniforme

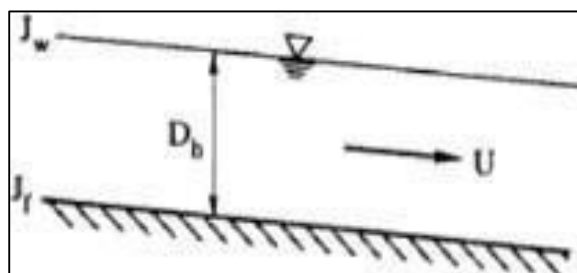


Figure IV-2: Schéma d'un écoulement permanent

**b) Écoulement nonpermanant**

On dit un écoulement permanent lorsque les paramètres suivants: vitesse, débit et profondeur se varient dans le temps en grandeur et en direction.

C'est-à-dire :  $\frac{dv}{dt} \neq \frac{dQ}{dt} \neq \frac{dh}{dt} \neq \frac{du}{dt} \neq 0$  .....(IV.2)

- ✓ Uniforme
- ✓ Non uniforme : peut-être graduellement ou rapidement variée.

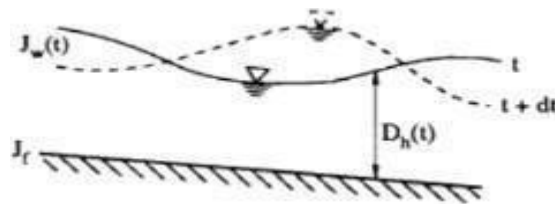


Figure IV-3: Schéma d'un écoulement non permanent

**IV.1.4.2. Variabilité dans l'espace**

❖ **Régime uniforme**

Un écoulement est uniforme si les paramètres suivants : vitesse, pente, rugosité, profondeur et section restent invariables dans l'espace.

C'est-à-dire :  $\frac{dv}{dt} = \frac{di}{dt} = \frac{dh}{dt} = \frac{ds}{dt} = 0$  .....(IV. 3)

❖ **Régime non uniforme**

Un écoulement est non uniforme si les paramètres suivants : vitesse, pente, rugosité, profondeur et section se varient dans l'espace.

C'est-à-dire :  $\frac{dv}{dt} \neq \frac{di}{dt} \neq \frac{dh}{dt} \neq \frac{ds}{dt} \neq 0$  .....(IV. 4)

❖ **Régime non uniforme graduellement varié**

Régime d'écoulement où la variation de hauteur dans la direction d'écoulement est très faible, typiquement si « x » désigne une longueur d'écoulement et Δh une variation de hauteur, on a Δh/x << 1.

❖ **Régime non uniforme rapidement varié**

Régime d'écoulement où la variation de hauteur dans la direction d'écoulement est très importante, En effet à l'approche d'une singularité ou bien en cas de ressaut hydraulique, l'écoulement peut entrer dans un régime rapidement varié.

## IV.2. Dimensionnement des canaux

Pour un écoulement lentement variable, on peut admettre qu'en toute section la pente de la ligne de charge est celle d'un régime uniforme.

### ❖ Les conditions de l'écoulement uniforme

- Le débit de l'eau dans chaque section des tronçons proposés est constant.
- Le canal est prismatique.
- La profondeur  $h$  du courant est constante en longueur.
- La pente de chaque section est constante.
- La rugosité des parois est constante.
- Les résistances locales sont absentes.

### ❖ Les formules de calcul principales

La formule de calcul principale pour un écoulement permanent uniforme de l'eau est la formule de Chézy.

### ❖ Détermination du coefficient de Chézy

En utilisant la formule empirique de MANING-STRICKLER pour détermination de coefficient de Chézy :

**Avec:**

**$K_s$**  : Coefficient de rugosité de STRICKLER ( $m^{1/3} / s$ ).

**$R_h$**  : Le rayon hydraulique (m).

**$I$**  : Pente de fond du canal (m/m).

Tableau IV-1: Coefficient de Strickler pour divers types de canaux. ( Armando Lencastre )

Nature des parois	Valeur de $K$ en $m^{1/3}/s$
Béton lisse	75-90
Canal en terre, non enherbé	60
Canal en terre, enherbé	50
Rivière de plaine, sans végétation arbustive	35-40
Rivière de plaine, large, végétation peu dense	30
Rivière à berges étroites très végétalisées	10-15
Lit majeur en prairie	20-30
Lit majeur en vigne ou taillis	10-15
Lit majeur urbanisé	10-15
Lit majeur en forêt	<10

❖ **Vitesse d'érosion**

Afin d'éviter toutes ruptures du fond et des berges des canaux sur l'action dynamique d'un courant d'eau, la vitesse de celui-ci ne doit pas être supérieure à la vitesse limite maximale. Les valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés sont données dans le tableau suivant :

Tableau IV-2: Valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés.

Lit	Vitesse $V_{er}$ (m/s)
Revêtement en branches	1.5-2.0
Pavage de pierre à une couche	2.5-4.0
Pavage de pierre à deux couches	3.5-5.0
Gabions	4.0-6.0
Revêtement en béton	6.0-10.0

**IV.3. Les paramètres géométriques**

**IV.3.1. Le choix de la section de meilleure conductivité**

Le profil de meilleure conductivité est le profil qui véhicule le débit maximum.

Pour un canal de pente  $J_u$  et de coefficient de rugosité  $n$ , la section qui véhicule le débit maximum  $Q_{max}$  est celle où le rayon hydraulique  $R_h$  est maximal et la section  $S$  est minimale.

Parmi toutes les formes de section, la semi-circulaire est celle qui satisfait au rayon hydraulique maximum.

On a:

$$S_m = \pi.r^2/2 \dots \dots \dots (IV.10)$$

$$P_m = \pi.r \dots \dots \dots (IV.11)$$

$$R_h = r/2 = h/2 \dots \dots \dots (IV.12)$$

Avec :

**S<sub>m</sub>**: section mouille (m<sup>2</sup>).

**P<sub>m</sub>** : périmètre mouille (m).

**R<sub>h</sub>** : rayon hydraulique (m).

Mais cette forme plus coûteuse que la forme trapézoïdale et rectangulaire qui présente des simplicités de réalisation. A cet effet notre choix portera sur la section trapézoïdale et la section rectangulaire dont ses caractéristiques sont :

❖ **Canal à section trapézoïdale :**

La géométrie d'un canal à section trapézoïdale permet de véhiculer un débit maximum par rapport les autres sections en plus la variation de la hauteur d'eau est faible pour changement de débit.

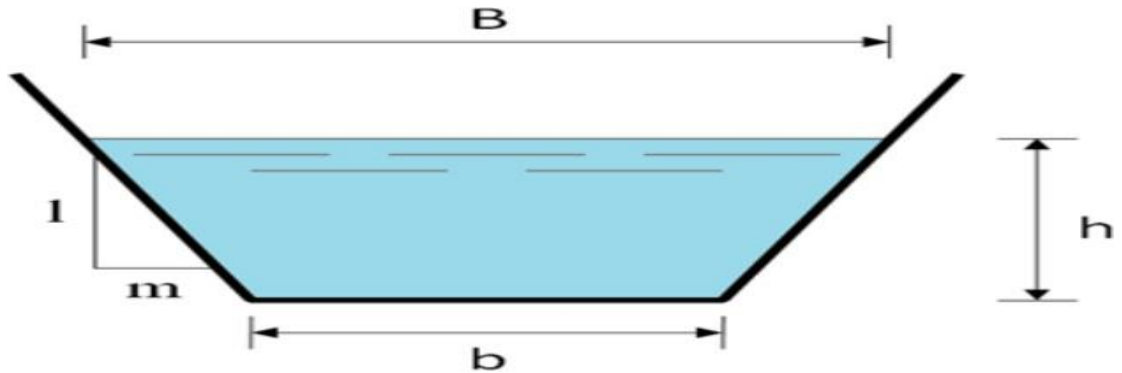


Figure IV-4: Canal à forme trapézoïdale

Source([https://fr.wikipedia.org/wiki/Diam%C3%A8tre\\_hydraulique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Diam%C3%A8tre_hydraulique))

Où :

**m** : Le fruit des talus,  $m = \cotg \varphi$ .

**h** : Le tirant d'eau maximum (pour  $Q_{max}$ ), en mètres.

**B** : La largeur supérieure du canal, en mètre.

**b** : La largeur inférieure du canal, en mètre.

Tableau IV-3: Paramètres géométriques d'un canal à section trapézoïdale.

Désignation	Expression	Définition
B	$2h(\sqrt{1+m^2}-m)$	La largeur supérieure du canal
b	$b + 2mh$	La largeur inférieure du canal
S	$h(b + mh)$	La surface mouillée
P	$b + 2h\sqrt{1+m^2}$	Le périmètre mouillé
R <sub>h</sub>	$\frac{h(b + mh)}{b + 2h\sqrt{1+m^2}}$	Rayon hydraulique

m	cotg $\varphi$	talus, d'après la nature du terrain
---	----------------	-------------------------------------

❖ **Forme des profils en travers:**

Les canaux en terre ou revêtus sont presque toujours trapézoïdaux (parfois rectangulaires) et épousent des pentes de talus variables selon la nature de terrain.

Tableau IV-4: Quelques ordres de grandeur de fruit de talus.

Nature de terrain	Fruit de talus « m »
Rocheux	0,25
Rocheux plus ou moins désagrégé	0.5
Argile dur	0,75
Gravier talus de déblais ordinaire	1
Terrain ordinaire	1.5
Argilo-sablonneux	2
Très sablonneux	3

❖ **Canal à section rectangulaire**

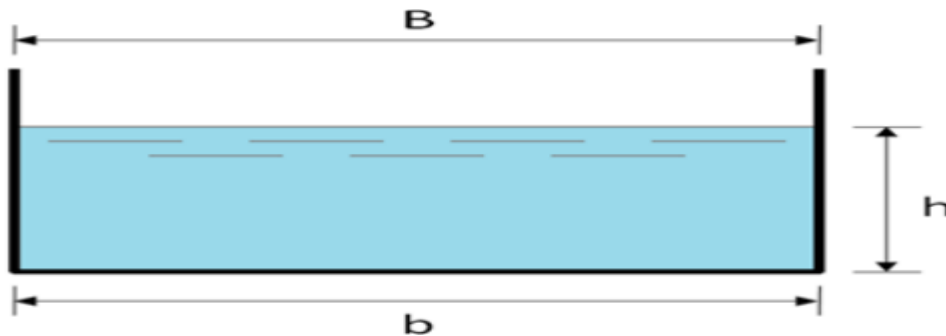


Figure IV-5: Canal à forme rectangulaire

Source(<https://hydroassini.blogspot.com/2019/02/diametre-hydraulique.htm>)

Où :

**h** : Le tirant d'eau maximum (pour  $Q_{max}$ ), ( m).

**B** : La largeur supérieure du canal (m).

**b** : La largeur inférieure du canal (m).

$$B = b$$

parce que  $m = 0$ .

On définit la surface mouillée  $S_m$  et le périmètre mouillé  $P_m$  par:

$$S_m = hxb \dots \dots \dots (IV.13)$$

$$P_m = b+2xh \dots \dots \dots (IV.14)$$

**IV.3.2. Calculs du rayon hydraulique maximal**

On a:

$$R_h = \frac{S}{P} \dots \dots \dots (IV.15)$$

**D'où :**

- Le rayon hydraulique sera maximum pour une valeur de P minimale.
- Le périmètre soit min pour dP=0.

**On a :**

$$dS = h db + (b + m.h) dh = 0 \dots \dots \dots (IV.16)$$

$$dP = db + 2(1 + m^2)^{0.5} dh = 0 \dots \dots \dots (IV.17)$$

➤ Ces deux équations donnent:

$$b = 2h(1 + m^2)^{0.5} - m \dots \dots \dots (IV.18)$$

$$\beta = 2 \times (\sqrt{1 + m^2} - m) \dots \dots \dots (IV.19)$$

**IV.3.3. Calcul de la profondeur normale  $h_n$**

La détermination de la profondeur normale  $h_n$  s'effectuera en se basant sur la méthode itérative.

On tire la valeur de ( $h_n$ ) sera déduite à partir de l'équation générale de l'écoulement uniforme de MANING-STRICKLER suivante :

$$Q = K_s * S * R_h^{2/3} * I^{1/2} \dots \dots \dots (IV.20)$$

**Avec:**

**S** : Section mouillée ( $m^2$ ).

**K<sub>s</sub>**: Coefficient de rugosité de STRICKLER ( $m^{1/3} / s$ ).

**R** : Rayon hydraulique (m)

**I** : Pente du canal (m/m)

Donc, on fixe la valeur de (H) et on donne des valeurs à (b) et on détermine Q jusqu'à une valeur de débit très proche ou égale au Q<sub>n</sub>.

Par suite, on trace la courbe Q □ f (B) et on détermine la valeur de b(m) correspondante à Q<sub>n</sub>,

c'est-à-dire, on cherche  $b(m)$  pour le débit  $Q_{max}$ .

**IV.3.4. Calcul de la profondeur critique  $h_{cr}$**

Le calcul de la profondeur critique nécessite l'utilisation de plusieurs méthodes. Parmi ses méthodes on cite la méthode graphique, la méthode itérative et la méthode d'AGROSKINE.

**1) L'énergie spécifique**

L'énergie spécifique  $H_s$  ou « charge spécifique » dans une section transversale mouillée est la valeur moyenne de l'énergie des molécules du liquide de cette section par unité de poids du liquide, cette énergie étant rapportée à l'axe horizontal passant par le point le plus bas de la section.

La charge moyenne de la section par rapport à un plan de référence donnée (choisie), est la différence entre la ligne de charge et le fond du canal dans une section donnée.

Donc on construit le graphe :  $H_s = f(h)$  sachant que :

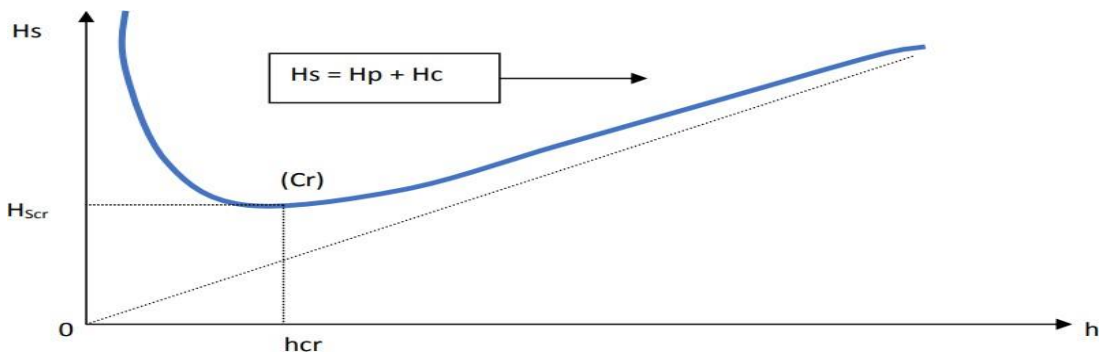
$$H_s = E_p + E_c \dots\dots\dots(IV.20)$$

Avec :

**$H_s$**  : Energie spécifique

**$E_p$**  : Energie potentielle est égale à  $h$  ; ( $E_p = h$ ).

**$E_c$**  : Energie cinétique ; ( $E_c = V^2/2g$ ).



**Figure IV. 6 :** l'énergie spécifique en fonction de profondeur

**2) Méthode analytique d'AGROSKINE**

La méthode d'AGROSKINE utilise la formule suivante :

➤ La condition de criticité est:

$$\frac{\alpha \times Q^2 \times B_{cr}}{g \times S_{cr}} = 1 \dots\dots\dots(IV.21)$$

$\alpha$  : coefficient d'énergie cinétique dans la pratique on prend  $\alpha = 1$ .



**B** : largeur du plan d'eau en surface.

**g** : l'accélération gravitaire prise égale à **9.81 m /s<sup>2</sup>**.

**3) Méthode itérative**

Cette méthode consiste à tirer la valeur de **h<sub>cr</sub>** qui correspond à **Q<sup>2</sup>/g** Donc on tire la valeur de **(S<sup>3</sup>/B) = Q<sup>2</sup>/g** et on tire par un tableur la valeur de **h<sub>cr</sub>** qui lui correspond.

**IV.3.5. Calcul de la pente critique**

La valeur de la pente de fond dépend essentiellement de la topographie et de la constitution du terrain. Cette pente, généralement faible. La pente critique correspondant à la profondeur critique. Elle est donnée par la formule suivante :

$$Q = C \cdot S \cdot \sqrt{R_c I_c} \dots \dots \dots (IV.22)$$

Donc :

$$I_{cr} = \frac{Q^2}{C^2 \cdot S_{cr}^2 \cdot R_h} \dots \dots \dots (IV.23)$$

**IV.3.6. Nombre de Froude**

C'est le rapport entre les forces de gravité et celles d'inertie où :

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}} \dots \dots \dots (IV.24)$$

Le rôle du nombre de Froude est de permettre le classement des écoulements comme suit :

- Écoulement fluvial                      **Fr < 1**                      => **h<sub>cr</sub> < h<sub>n</sub>**
- Écoulement torrentiel                      **Fr > 1**                      => **h<sub>cr</sub> > h<sub>n</sub>**
- Écoulement critique                      **Fr = 1**                      => **h<sub>cr</sub> = h<sub>n</sub>**

**IV.4. Calcul de la ligne d'eau**

**Equation de la ligne d'eau**

L'équation de la surface libre de la ligne d'eau, est une équation liée à l'abscisse et à l'ordonnée de chaque point de la ligne d'eau pour un débit et une pente du canal donnée.

En se basant sur l'équation d'énergie IV.25

$$H = Z + V^2 / 2g + h \dots \dots \dots (IV.25)$$

Et sur l'équation de la continuité :

$$Q = V \cdot S \dots \dots \dots (IV.26)$$

Dérivant l'équation (IV.24) par rapport à x, on trouve :

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dZ}{dx} + \frac{d}{dx} \left( \frac{(Q/S)^2}{2g} \right) + \frac{dh}{dx} \dots\dots\dots (IV.27)$$

Comme :  $\frac{dz}{dx} = -J_j \dots\dots\dots (IV.28)$

$$\frac{dH}{dx} = -J_e = -\frac{(Q/S)^2}{C^2 \cdot R_h} \dots\dots\dots(IV.29)$$

On trouve :

$$\frac{dh}{dx} = J_f \frac{1 - \frac{(Q/S)^2}{C^2 \cdot R_h \cdot J_f}}{1 - \frac{(Q/S)^2}{g \cdot S / B}} \dots\dots\dots(IV.30)$$

**Les différentes formes de courbe de remous**

Les courbes représentant la ligne d'eau d'un tel mouvement sont généralement appelées courbes de remous. D'après la formule (IV.5) on a :

$$\frac{Q}{\sqrt{I}} = S \cdot C \cdot \sqrt{R_h} = K \dots\dots (IV.31)$$

$$S_n \cdot C_n \cdot \sqrt{R_h} = K_n \dots\dots\dots(IV.32)$$

Donc l'équation (IV.30) devient :

$$\frac{dh}{dx} = J_f \frac{1 - \left(\frac{K_n}{K}\right)^2}{1 - Fr^2} \dots\dots(IV.33)$$

Avec :

$$Fr^2 = \frac{(Q/S)^2}{g \cdot S / B} \dots\dots(IV.34)$$

$J_f = i$  = pente de fond

D'autre part :

$$\frac{dh}{dS} = J_f \frac{1 - \left(\frac{h_n}{h}\right)^2}{1 - Fr^2} \dots\dots\dots(IV.35)$$

Pour les différentes valeurs de pente du fond et pour un débit constant on a :

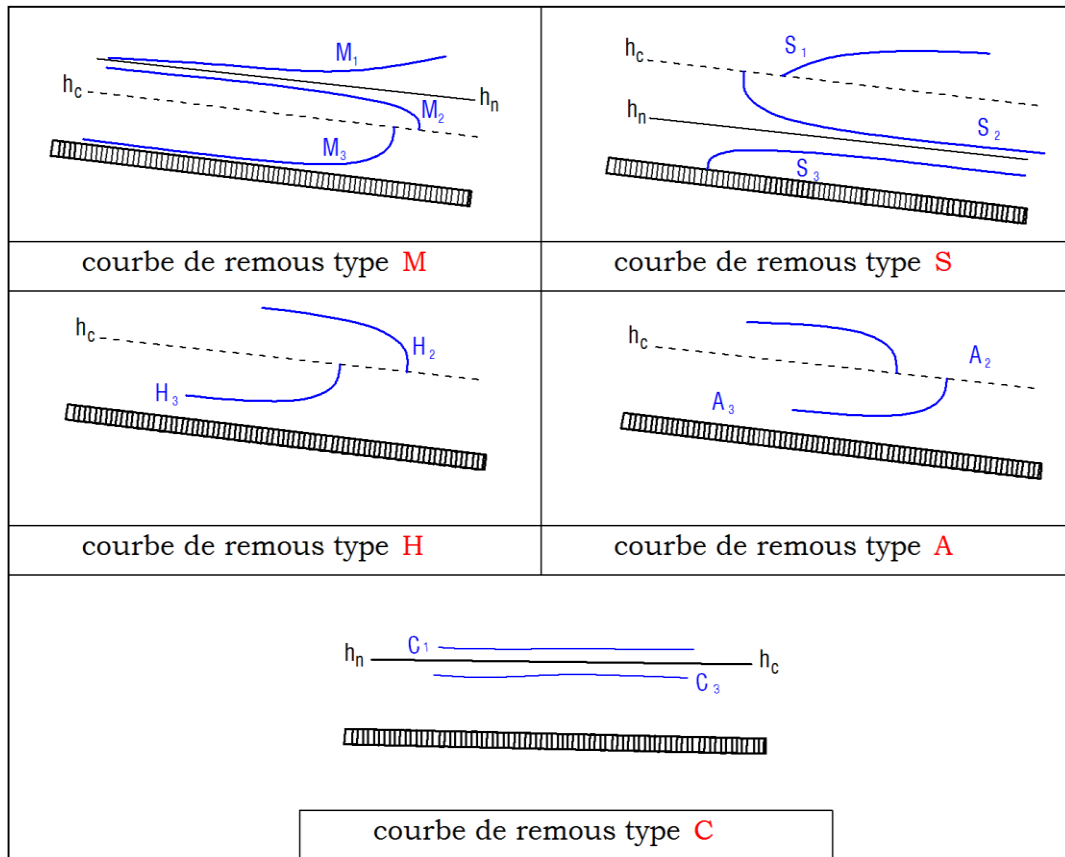


Figure IV-6: Différentes formes de courbes de remous.

Tableau IV-5: Différentes formes de courbes de remous.

Conditions	$(Kn/K) = (hn/h)$	signe de numérateur	$Fr=(hc/hn)$	signe de dénumérateur	signe de $dh/dx$	nom de courbe
$i > 0$	$< 1$	+	$< 1$	+	+	M1
$i < ic$	$< 1$	+	$> 1$	-	-	
$hn > hc$	$> 1$	-	$< 1$	+	-	M2
	$> 1$	-	$> 1$	-	+	M3
$i > 0$	$< 1$	+	$< 1$	+	+	S1
$i > ic$	$< 1$	+	$> 1$	-	-	S2
$hn < hc$	$> 1$	-	$> 1$	-	+	S3
$i > 0$	$< 1$	+	$< 1$	+	+	C1
$i = ic$	$< 1$	+	$> 1$	-	-	C2
$hn = hc$	$> 1$	-	$> 1$	-	+	C3
$i = 0$		-	$< 1$	+	-	H2
$hn \rightarrow 00$		-	$> 1$	-	+	H3
$i < 0$		-	$< 1$	+	-	A2
$hn 00$		-	$> 1$	-	+	A3

#### IV.4.1. Calcul de la surface d'eau

Pour le tracé de la surface d'eau, on doit passer par l'intégration de l'équation N° (IV.35)

On peut distinguer pour cela 3 méthodes de calcul :

- La méthode par approximations successive.
- La méthode par intégration directe.
- La méthode par intégration graphique.

#### IV.5. Calcul du ressaut

Le ressaut hydraulique c'est un phénomène de dissipation d'énergie, il est inversible et se produit si un écoulement passe brusquement du régime sur critique  $F_r > 1$  (amont), au régime sous critique  $F_r < 1$  (aval). Il se manifeste par une brusque surélévation (discontinue) du niveau d'eau ( $h_2 - h_1$ ), sur une très courte distance. Il est accompagné par des mouvements très turbulents avec des instabilités à la surface. Le ressaut provoque une dissipation importante de l'énergie mécanique ( $H_{RH} = H_{S2} - H_{S1}$ ), donc il se représente sous la forme d'une barre d'écume déferlante enroulée.

Les principales caractéristiques d'un ressaut sont les suivantes :

- Hauteurs conjuguées ( $h''$  et  $h'$ ).
- Hauteur de ressaut ( $h'' - h'$ ).

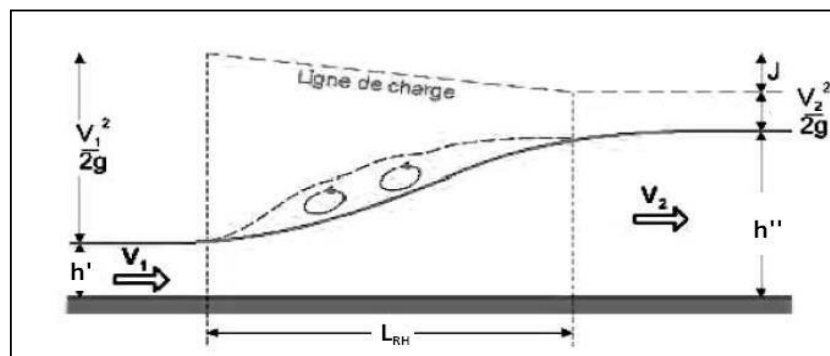


Figure IV-7: Schéma d'un ressaut hydraulique.

- La longueur approximative du ressaut ( $L_{RH}$ )

Selon le nombre de FROUDE " $Fr$ ", un ressaut peut correspondre à différents types d'écoulement. On peut avoir donc:

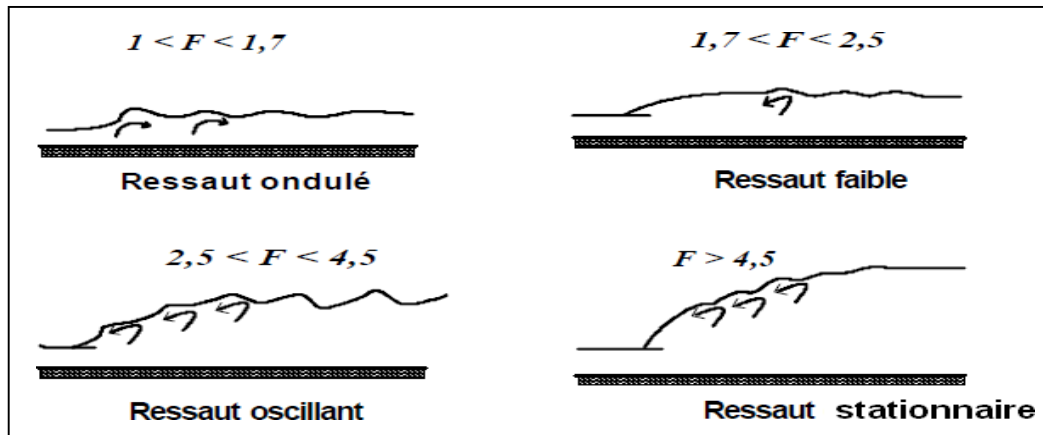


Figure IV-8: Typologie des ressauts

Source(<https://slideplayer.fr/slide/11388321/>)

Tableau IV-6: Différents types de ressaut.

type de ressaut	valeurs de Fr	Observation
Prés ressaut (ressaut ondulé)	1 ÷ 1,7	La surface présente des ondulations, les hauteurs conjuguées sont trop proches de la hauteur critique $h_{cr}$
Un ressaut faible	1,7 ÷ 2,5	Des petits rouleaux apparaissent
Un ressaut oscillant	2,5 ÷ 4,5	le tantôt vers le fond, tantôt vers la surface du canal
Un ressaut stationnaire	4,5 ÷ 9	Forte dissipation d'énergie
Un ressaut fort	> 9	jet rapide est perturbé par la retombée des rouleaux et induit des ondes importantes vers l'aval,

Si le nombre de FROUDE "Fr" est supérieur à 4,5; et suivant la vitesse d'écoulement; un bassin d'amortissement est projeté à fin de minimiser la longueur du ressaut, d'assurer une efficacité de contrôle et sans provoquer des effets indésirables dans le lit du canal. C'est seulement en réalisant ces objectifs que le potentiel d'énergie mécanique peut être contrôlé entièrement et économiquement, sans imposer de restriction sur l'écoulement à l'amont et à l'aval du dissipateur.

### IV.6. Définition du logiciel HEC-RAS[3]

Le logiciel **HEC-RAS VERSION 4.1.0** développé par *US ARMY CORPS OF ENGINEERS*, c'est un logiciel intégré pour l'analyse hydraulique n régime, fluvial et torrentiel, ainsi que le transport solide et la simulation de phénomènes d'érosion- sédimentation, il permet de simuler les écoulements à surface libre. Il est présentement utilisé dans plusieurs firmes d'ingénierie et organismes gouvernementaux.

L'application du modèle HEC-RAS est basée sur la subdivision du réseau hydrographique (ramifié) en plusieurs sections (profils en travers ou coupes) perpendiculaires à l'écoulement.

#### IV.6.1. Données nécessaire pour l'application du code de calcul HEC-RAS

##### ❖ Les données géométriques

Les données géométriques nécessaires, consiste à l'établissement de la connectivité de l'information pour le système de rivière (schéma de système de rivière), les données des sections transversales, et les données d'ouvrage hydraulique existants ou projets (ponts, levées, structures latérales, déversoirs, etc.).

La saisie des données géométriques se fait en deux étapes distinctes :

##### ❖ Le traçage du schéma de système de rivières.

Le schéma de système de rivière est un diagramme représentatif du réseau hydrographique d'une manière plus ou moins réelle en prenant en considération les méandres (sinuosités) de la rivière. Il est tracé tronçon par tronçon, de l'amont vers l'aval (dans le sens d'écoulement positif).

La saisie des données pour les sections en travers du cours d'eau et les ouvrages hydrauliques. Ces données incluent:

❖ **Les coordonnées X et Y de la section** : chaque point de la section en travers doit être identifié par sa distance par rapport à un point de référence et son élévation.

❖ **La distance à la section suivante** : c'est la longueur décrivant la distance entre la section courante et la prochaine section aval. Ces distances sont définies pour la rive gauche, le canal principal, et la rive droite.

❖ **Les valeurs de rugosité n de Manning** : la valeur de la rugosité ou le coefficient de Manning n est indiqué pour la rive gauche, le canal principal, et la rive droite. Nous avons utilisé des valeurs de n suivant les repères dans le levé topographique. Ces valeurs sont tirées du manuel d'utilisation de HEC-RAS.

❖ **Situation des rives du canal principal (lit mineur)** : les stations des rives du canal principal, sont employées pour séparer le lit mineur des deux parties du lit majeur en rive gauche, et rive droite.

❖ **Coefficients de contraction et d'expansion** : les coefficients de contraction et d'expansion sont utilisés pour évaluer la quantité de perte d'énergie qui se produit en raison d'une contraction ou d'une expansion d'écoulement.

### ❖ **Estimation de la rugosité $n$ de Manning**

Les valeurs de rugosité choisies pour le lit (lit mineur) et les terrasses d'inondations (lit majeur) de l'oued sont généralement considérées biaisées (avec une certaine marge d'erreur) pour toute variable hydraulique ou hydrologique du modèle hydraulique étudié. Le choix d'une valeur de  $n$  est considéré comme un art plutôt qu'une science et il n'existe pas de règle solide et précise permettant à l'ingénieur hydraulicien de définir avec exactitude (avec un degré de confiance élevé) la valeur de  $n$  pour une situation hydraulique donnée. Les facteurs qui affectent la rugosité des lits d'oued comprennent :

- Matériaux de lits et dimension moyenne de particules solides ;
- Irrégularités des surfaces des lits d'oued ;
- Formes des lits d'oued (comme les rides, dunes, chutes et autres);
- Caractéristiques d'érosion et de sédimentation;
- Tendances à la formation de méandres;
- Obstacles à l'écoulement (arbres déracinés, souches d'arbres, remblais et autres);
- Changement dans la géométrie entre les sections d'oueds;
- Végétation sur les terrasses d'inondations et le lit mineur de l'oued.

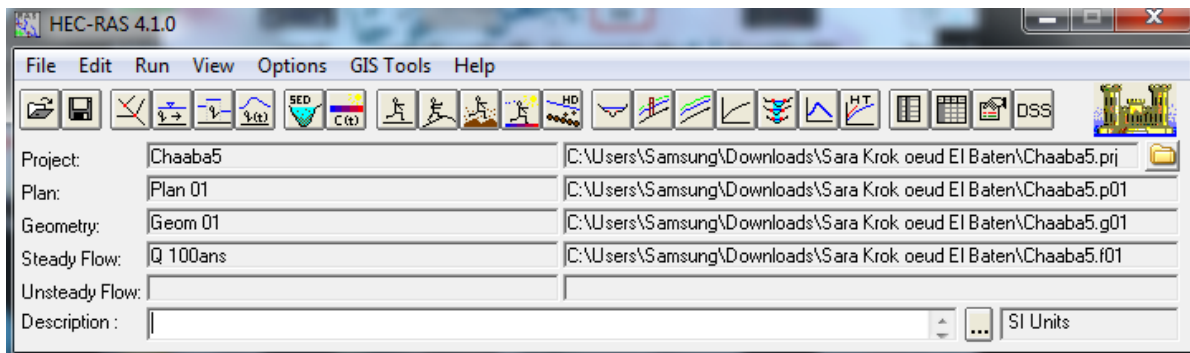
Il est vraiment très difficile de tenir compte de tous ces paramètres dans une seule et unique valeur représentant le coefficient de rugosité de Manning. Pour estimer le coefficient  $n$  des terrasses d'inondations, l'ingénieur hydraulicien se base généralement sur les valeurs relatives à la végétation, l'occupation des sols ou les deux ensembles.

Des tests de contrôle doivent être réalisés pour évaluer l'effet de la variation de la valeur de rugosité  $n$  sur le résultat hydraulique final. Une bonne estimation est celle s'écartant de 20% environ de la "vraie" valeur de  $n$ . en plus de l'expérience acquise, tous les moyens techniques, comme les tables, la formule ou technique Cowan ou d'autres approches pour

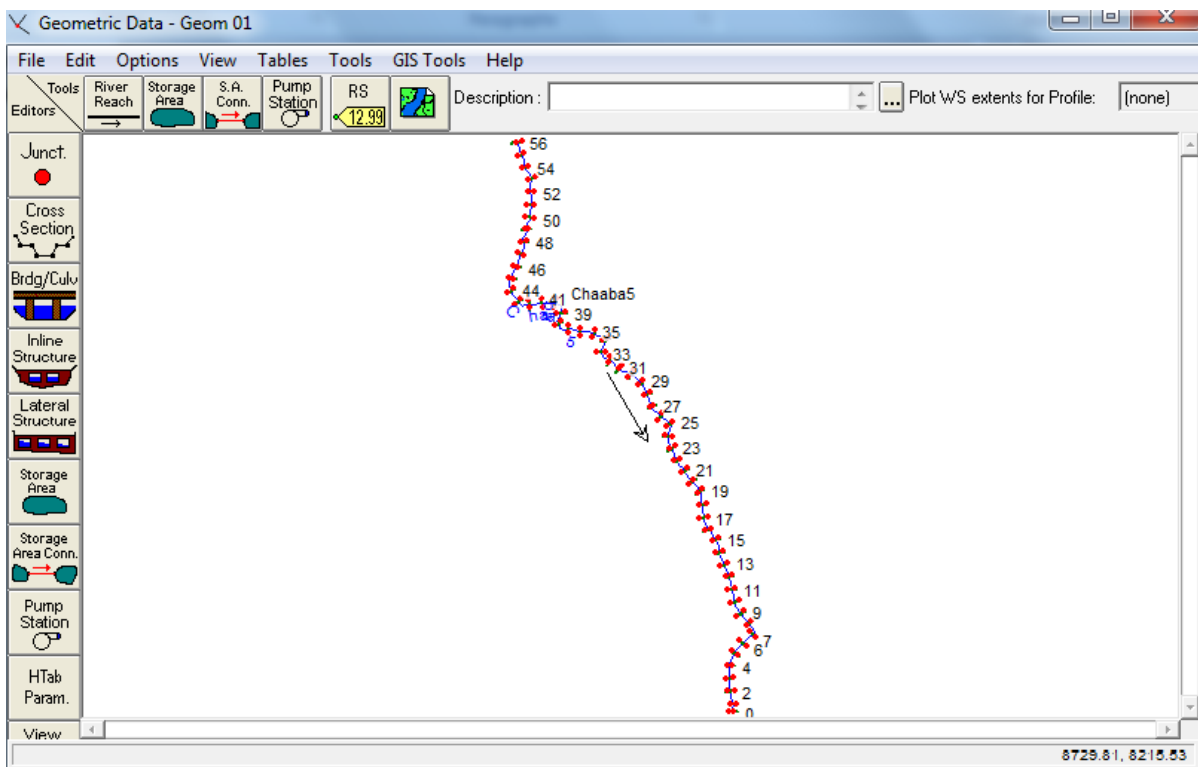


estimer les valeurs de  $n$  les plus plausibles pour le tronçon d'oued considéré et ce en tenant compte des différents ouvrages en place. Une moyenne arithmétique ou pesée de toutes les estimations, obtenues à partir de ces techniques, peut être utilisée et appliquée comme valeur de rugosité adoptée. Par exemple, les valeurs de rugosité  $n$  des terrasses d'inondations ou même du lit mineur d'oued estimées à partir des tables, peuvent être modifiées en utilisant les observations et visites *in situ* de terrains et même des images aériennes récentes (ou images satellitaires Google, par exemple) montrant la densité et les changements dans la végétation locale.

Les sections géométriques introduites dans le modèle HEC-RAS sont extraites du logiciel **Autocad Civil 3D 2017**,



*Figure IV-9: Fenêtre d'accueil du logiciel HEC-RAS*



*Figure IV-10: Définition du tracé de l'oued et des sections.*

❖ **Les données de l'écoulement et les conditions aux limites:**

Après avoir saisi les données géométriques de chaque section, l'étape suivante de la modélisation hydraulique par **HEC-RAS** est de spécifier les débits d'entrée et toutes les conditions aux limites nécessaires pour pouvoir exécuter le calcul des profils de la surface de l'eau en chaque section du système de rivière.

**a. Données d'écoulement:**

Les données d'écoulement sont saisies de l'amont à l'aval pour chaque tronçon. Une valeur d'écoulement est écrite à l'extrémité en amont du système de rivière. Le débit appliqué est le résultat de la simulation hydrologique retenue en utilisant le modèle **HEC-RAS** pour le débit de 100 ans.

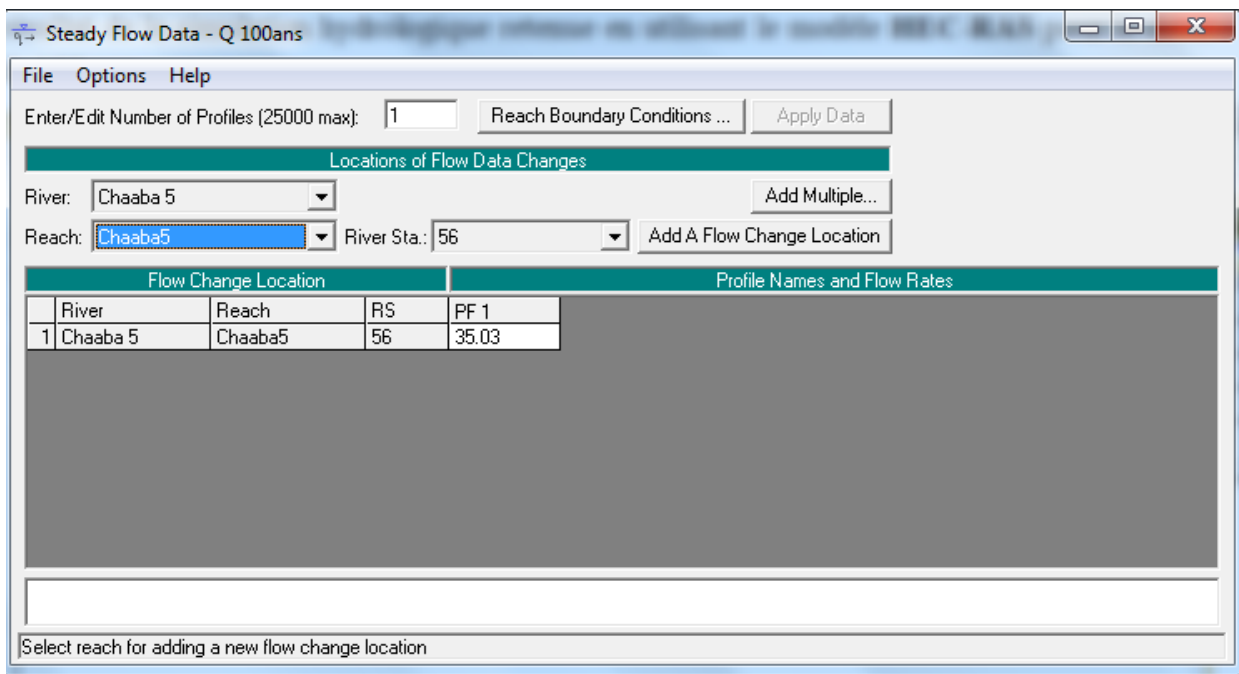


Figure IV-11: Définition de la crue et des conditions aux limites.

**b. Conditions aux limites:**

Les calculs peuvent être effectués pour plusieurs débits simultanément, soit en régime torrentiel, soit en régime fluvial, ou pour les deux régimes d'écoulements. Dans ce dernier cas, **HEC-RAS** utilise l'équation de quantité de mouvement pour déterminer les changements de régime torrentiel fluvial, caractérisé par un ressaut.

**IV.7. Calcul avant l'aménagement de l'oued:**

Pour un cours d'eau naturel, la géométrie du lit est souvent très complexe. Un cours d'eau doit laisser transiter un débit qui varie en fonction du temps. En général, celui-ci peut varier

d'une année sur l'autre d'une façon extrêmement variable en fonction des précipitations enregistrées. Le calcul de certaines sections de l'oued ; où des inondations ont eu lieu lors des fortes chutes de pluie, s'est basé sur les données locales de l'agglomération.

### a. Calcul des paramètres hydrauliques de quelques sections avec leurs extrêmes :

Tableau IV-7: Paramètres hydrauliques des quelques sections avec le minimum et le maximum.

Paramètres	altitude du lit d'oued	altitude du plan d'eau calculé	altitude qui correspond à la hauteur critique	altitudes de la ligne d'énergie	la pente de la ligne d'énergie	vitesse d'écoulement	la section mouillée	largeur au miroir	nombre de Froude
Unité	m	m	m	m	m/m	m/s	m <sup>2</sup>	m	
Minimum	490.1	491.2	491.2	491.388	0.017675	3.69	6.05	5	1.13
Maximum	609.192	610.272	610.542	610.567	0.277840	5.79	9.47	8	1.81
1	609.192	610.272	610.542	610.567	0.050021	5.79	6.05	5	1.78
2	599.831	600.871	601.151	601.163	0.060667	5.73	6.11	5.3	1.79
3	588.479	589.469	589.759	589.757	0.037881	5.66	6.19	5.7	1.81
4	581.298	582.388	582.558	582.635	0.033999	4.86	7.20	6	1.48
5	574.806	576.016	576.076	576.243	0.025039	4.47	7.83	5.8	1.29
6	570.085	571.335	571.305	571.536	0.020096	3.95	8.87	6.4	1.13
7	566.37	567.56	567.55	567.758	0.277840	3.89	9.00	6.9	1.14
8	514.168	515.328	515.328	515.524	0.028798	3.85	9.10	7.2	1.14
9	508.786	509.916	509.926	510.110	0.020430	3.81	9.19	7.5	1.15
10	504.87	506.07	506.06	506.269	0.021763	3.91	8.96	6.8	1.14
11	500.8	501.98	501.97	502.177	0.017675	3.88	9.04	7	1.14
12	497.52	498.66	498.66	498.854	0.021635	3.82	9.16	7.4	1.14
13	493.465	494.595	494.595	494.787	0.018080	3.77	9.3	7.6	1.13
14	490.1	491.2	491.2	491.388	0.031520	3.69	9.47	8	1.13

**b. Résultats de la simulation**

Les résultats de simulation par le logiciel **HEC-RAS** nous ont permis de déterminer la zone inondable pour le débit de projet

Un plan du cours d'eau en trois dimensions du modèle géométrique ainsi que le profil en long du tronçon simulé sont présentés respectivement dans les figures IV. 13 , IV. 14 et IV. 15 et

IV.16 , IV.17, IV18, IV.19 pour l'évènement hydrométéorologique considéré.

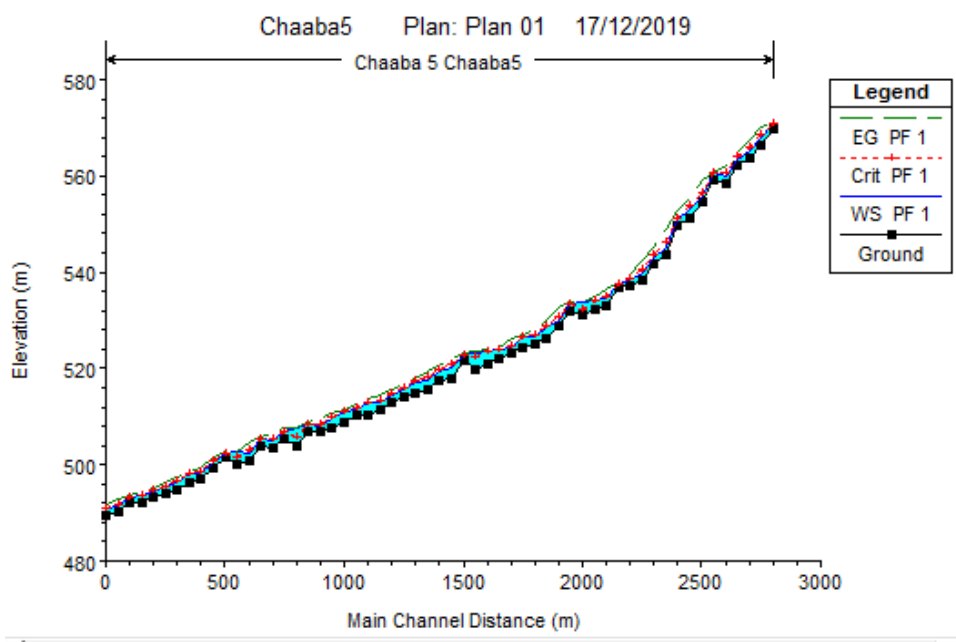


Figure IV-12: Profil en long du tronçon simulé avec la ligne de surface d'eau d'Oued El Baten .

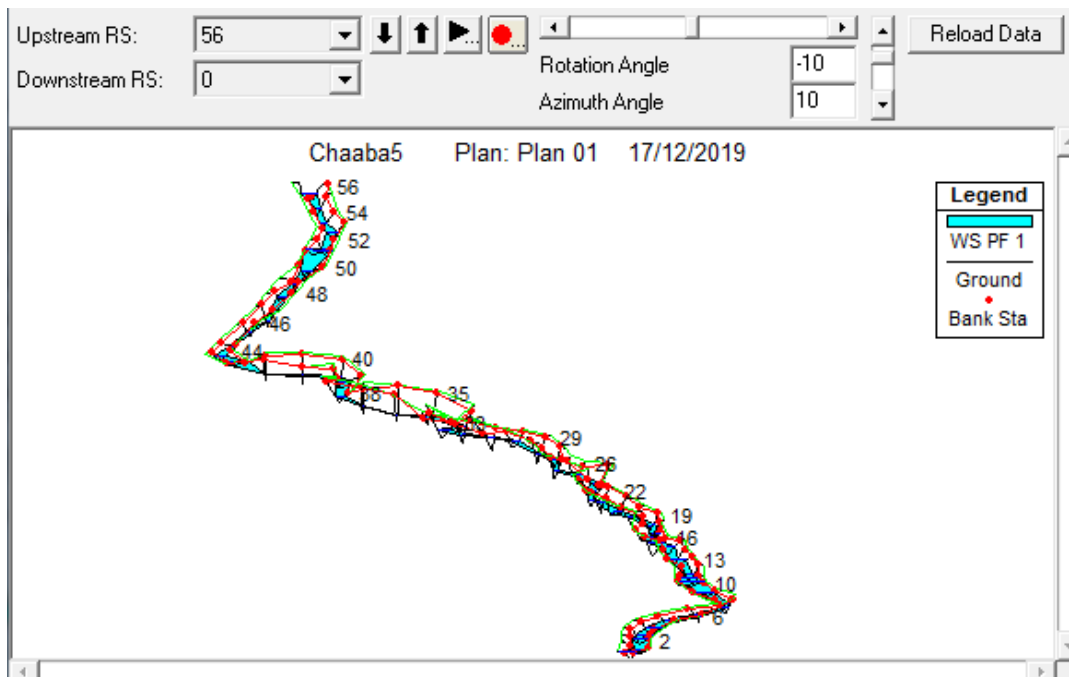


Figure IV-13: Vue en Plan en 3D de la partie d'Oued El Baten (chaaba5), après la simulation.

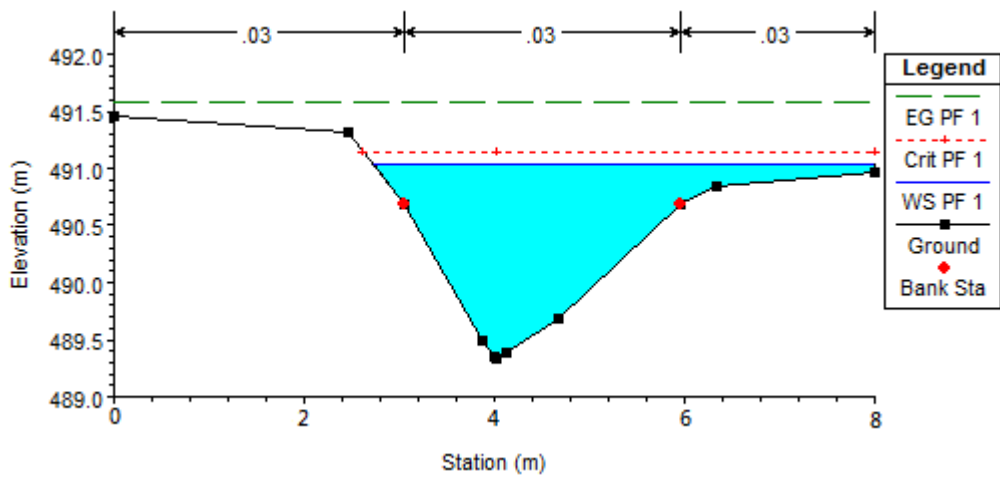


Figure IV-14: Section en travers (RS0) du canal et résultats de simulation.

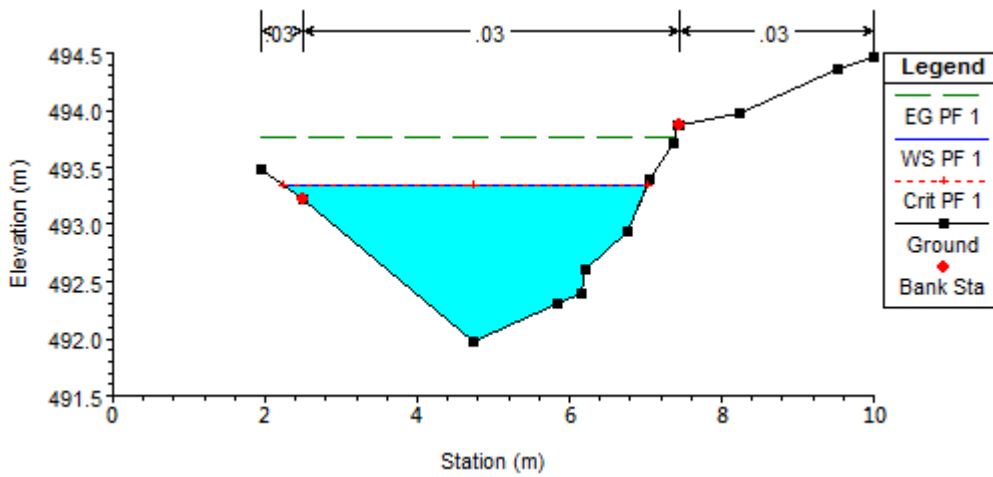


Figure IV-15: Section en travers (RS2) du canal et résultats de simulation.

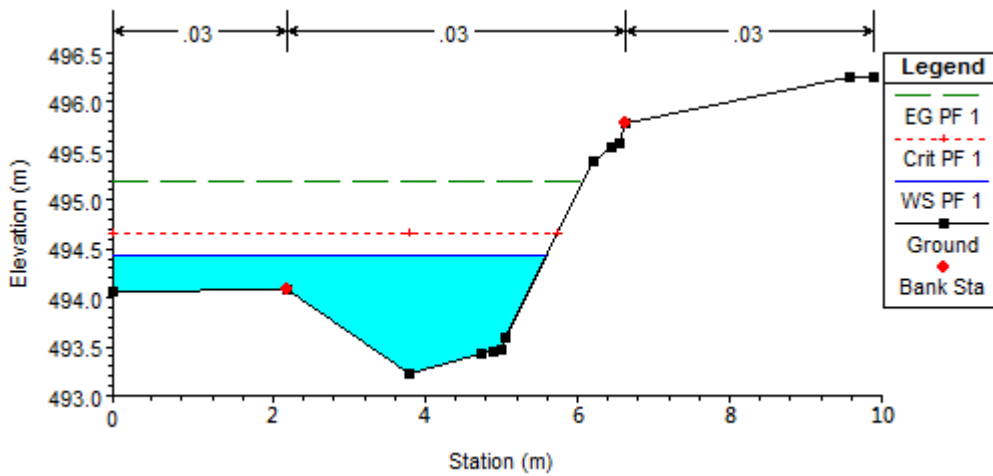


Figure IV-16: Section en travers (RS4) du canal et résultats de simulation.

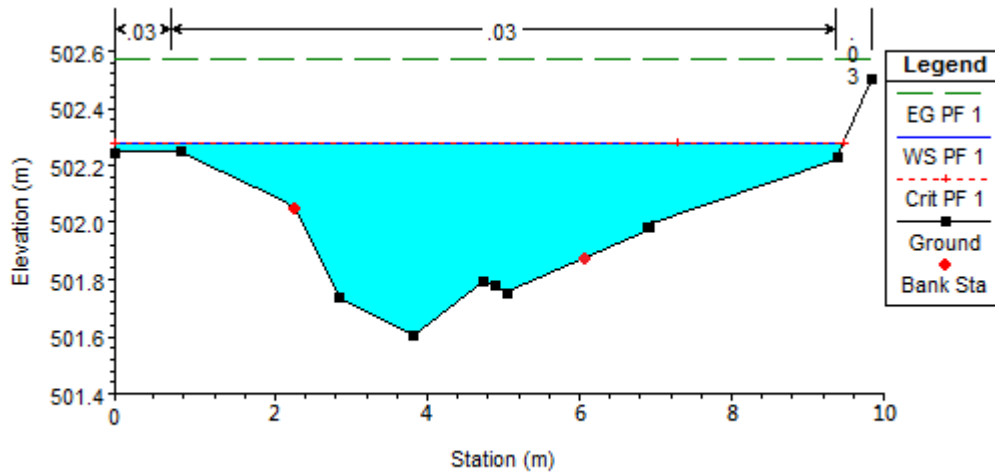


Figure IV-17: Section en travers (RS10) du canal et résultats de simulation.

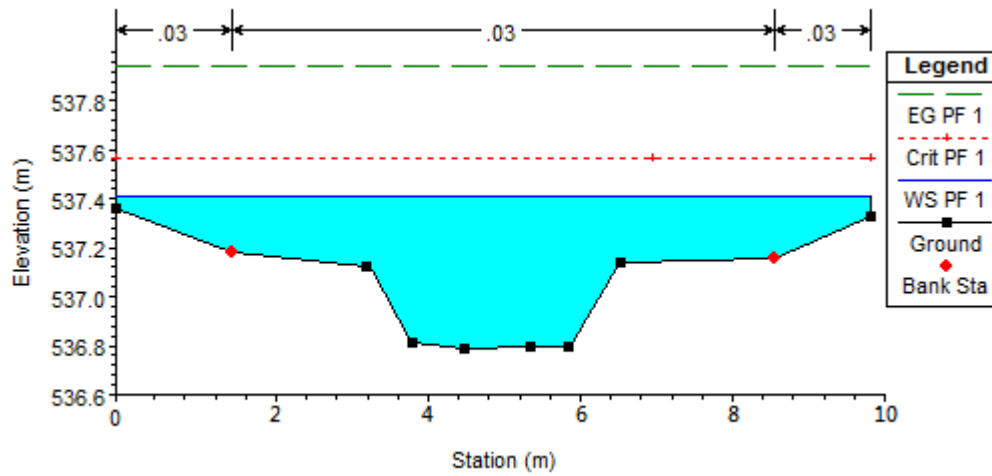


Figure IV-18: Section en travers (RS43) du canal et résultats de simulation.

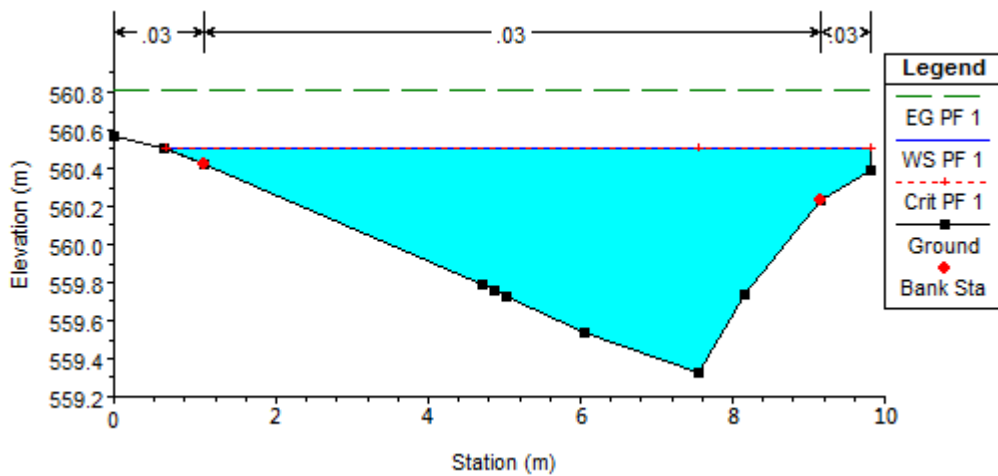


Figure IV-19: Section en travers (RS51) du canal et résultats de simulation.

### **IV.8. Interprétation:**

- ✓ La vitesse d'écoulement moyenne dans l'Oued est entre 3.69 et 5.79m/s.
- ✓ La hauteur d'eau moyenne varie entre 0.99 m et 1.25m.
- ✓ Le nombre de Froude varie entre 1.13 et 1.25

### **Conclusion:**

Ce chapitre nous a permis, d'une part, de modéliser l'écoulement sur le cours d'eau d'oued El Baten (chaaba 5) ainsi que connaître leurs comportements quand ils seront soumis à une crue centennale, d'autre part, de localiser les zones envahies par les inondations et la connaissance des différents paramètres hydrauliques.

Comme nous avons constaté que la majorité de la surface au voisinage des cours d'eaux a été inondé par la crue centennale.

À ce titre, le prochain chapitre sera consacré à l'étude des aménagements structurels adéquats, pour faire face aux catastrophes sociales et économiques.

# **CHAPITRE V**

**ETUDE DES VARIANTES  
D'AMENAGEMENT.**



## Chapitre V : Etude des variantes d'aménagement

### Introduction

Une fois la situation du risque est décrite dans les chapitres qui précèdent, celui là consiste à proposer plusieurs variantes d'aménagement afin de choisir la meilleure solution qui pourra à priori participer à la réduction des conséquences des écoulements provoquant les inondations au sein de la ville d'El BATEN.

### V.1. Processus d'aménagement dans le cadre de l'étude

Les variantes ont été sélectionnées dans le souci de protéger les localités de la ville d'El BATEN contre les inondations, par l'évacuation des eaux des crues vers l'exutoire, en respectant toutes les conditions d'écoulement, de stabilité des berges et n'oubliant pas l'impact de cet aménagement sur l'environnement ainsi que l'aspect financier . Donc le choix de la variante adéquate sera déterminé en se basant sur plusieurs aspects pertinents.

#### V.1.1. Objectif d'aménagement

Les objectifs recherchés dans cette étude d'aménagement sont :

- Améliorer les conditions d'écoulement des eaux superficielles afin d'éviter tout débordement sur les routes et submersion des terres agricoles;
- Proposer des ouvrages adéquats à l'écoulement des eaux superficielles en période de crue pour protéger le voisinage du cours d'eau du risque d'inondation;

#### 1. Améliorer les conditions d'écoulement des eaux superficielles:

La maîtrise ruissellements est à prendre en compte sur tous le bassin versant, et tous les types d'espaces exposées au risque. Il doit être favorisé les phénomènes d'infiltration au travers la végétation forestière pratiques culturales, et une maitrise de l'urbanisation et de l'imperméabilisation.

2. Augmentation de la capacité du cours d'eau en envisagent plusieurs techniques d'aménagement:

#### ❖ Le recalibrage des cours d'eau:

C'est une technique s'appliquant aux tronçons des cours d'eau dont la section est jugée insuffisante, elle permet d'élargir et d'approfondir les sections des cours d'eau pour augmenter leur capacité d'évacuation des eaux et assurer une section mouillée répondant aux critères de protections désirées.

### ❖ **Curage:**

Il permet une nette amélioration des conditions d'écoulement suite à l'élimination de tous les obstacles et les dépôts entravant l'écoulement des eaux dans le cours d'eau pour diminuer la rugosité et accroître la débitante.

### ❖ **Reprofilage**

C'est une opération qui consiste en la modification et l'homogénéisation du profil en long du cours d'eau (pente), toujours dans le but d'accroître sa capacité d'évacuation. Autrement dit, le reprofilage consiste à uniformiser la pente du cours d'eau, en modifiant la zonation du profil en long. Cette opération nécessite la suppression de la végétation rivulaire et des embâcles du lit.

### ❖ **Réalisation des canaux:**

Permet de régénérer le couloir initial de l'oued. Cette solution est indispensable dans le cas où le lit de l'oued et son domaine hydraulique ont été complètement occupés des bâtiments ou par la voirie.

### ❖ **Protection des berges:**

Qui comprend tout ouvrage visant à maintenir la stabilité des terres en dépit de l'action de l'eau. Les berges sont en effet attaquées par des courants perturbateurs générés par les crues.

De même, les terres glissent par suite de l'infiltration de l'eau après le retrait de la crue. La protection des berges est également nécessaire au voisinage de certains ouvrages.

### **V.1.2. Les formules de dimensionnement des canaux**

Pour le dimensionnement on utilise la formule de Manning-Strickler, donnée par la relation suivante :

$$Q = \frac{1}{n} R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S_m^{\frac{1}{2}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (V. 1)$$

Avec :

Q : débit de dimensionnement (m<sup>3</sup>/s).

- n : rugosité du canal.
- S<sub>m</sub> : section mouillée du canal (m<sup>2</sup>).
- I : pente du tronçon de cours d'eau (m/m).

- $R_h$ : rayon hydraulique (m) tel que  $R_h = S_m / P_m$ .
- $P_m$ : périmètre mouillé (m).

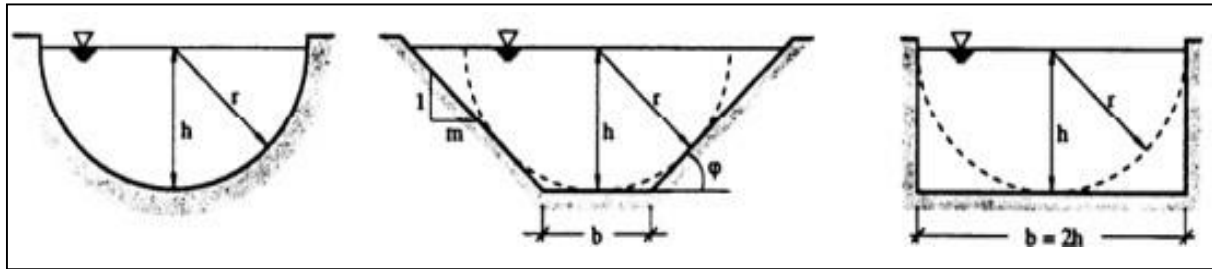


Figure V-1: Schémas explicatifs des différents canaux.

Table V-1: Paramètres hydrauliques pour différentes formes de canaux.

La forme	Section mouillée	Périmètre mouillé	Rayon hydraulique
Demi-circulaire	$0.5 (\pi * r^2)$	$\pi * r$	$0.5r$
Trapézoïdale	$(b+2mh)h$	$b+2h(1+m^2)^{1/2}$	$[(b+2mh)h] / [b+2h(1+m^2)^{1/2}]$
Rectangulaire	$b*h$	$b+2h$	$b*h / (b+2h)$

### V.1.3. Choix des paramètres de dimensionnement La pente du projet

Le choix de la pente du projet relève d'une grande importance avant de procéder au calcul hydraulique.

Dans notre cas, nous allons choisir la pente moyenne de chaque tronçon.

#### a) Le coefficient de rugosité

La rugosité du canal dépendant de la nature du revêtement, les valeurs de la rugosité de certain revêtement à titre d'exemple est donnée dans le tableau suivant :

Table V-2: Valeurs de coefficient de rugosité

Caractéristiques du lit ou du revêtement	Valeur de la rugosité n
Canal en béton cyclopéen	0.03
Canal en pierres sèches	0.025
Canal en terre droit et uniforme	0.017
Canal a revêtement en béton	0.014

Source : Table de rugosité de Manning

#### b) Vitesse d'érosion :

Afin éviter les ruptures du fond et des berges des canaux sur l'action dynamique d'un courant d'eau, la vitesse de celui-ci ne doit pas être supérieure à la vitesse limite maximale.

Table V-3: Valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolident.

Lit	Vitesse Ver (m/s)
Pavage de pierre à une couche	2.5-4.0
Gabions	4.0-6.0
Revêtement en béton	6.0-10.0
Béton amélioré	>10

(H.Haroun,2018)

**c) Revanche des canaux**

Dans les canaux à surface libre ,il faut toujours prévoir une revanche de sécurité au- dessus de la ligne d'eau calculée afin de tenir compte de l'accumulation de dépôt solide, de croissance de la végétation, des vagues provoquées par le vent, etc.

Table V-4: : Revanches utilisées (Freeboard) (degoutte,2008)

Débit (m3/s)	0.75<	0.75 à 1.5	1.5 à 8.5	8.5>
Revanche (m)	0.45	0.6	0.75	0.9

**V.2. Description des variantes proposées pour l'étude :**

Le but de cette étude, est de limiter la progression du lit de l'oued vers les habitations limitrophes et d'éviter le débordement des eaux lors des crues. Ces raisons, nous poussent à projeter la canalisation qui garantira la protection contre les crues, mais aussi il faut que cette variante, soit faisable techniquement et économiquement et qu'elle soit bien adaptée avec le terrain et ces conditions aussi bien topographiques que géologiques. Pour cette étude, nous proposons deux variantes :

- Un canal en béton armé de forme rectangulaire.
- Un canal en béton cyclopéen.

Un calcul hydraulique de chaque variante sera fait par le logiciel HEC-RAS pour chaque tronçon du cours d'eau, et une description des variantes d'aménagement proposés pour pouvoir choisir la variante la plus adaptée de point de vue technico- économique.

**V.2.1. Première variante : Protection avec un canal en béton armé à section**

**rectangulaire :**

Cette variante consiste à construire un canal rectangulaire ouvert en béton armé pour pouvoir maîtriser le sens d'écoulement du cours d'eau afin d'évacuer les eaux des crues et de protéger les riverains contre les inondations. Le canal permet de minimiser les sections. Un canal en béton présente :

- Une durée de vie plus importante.
- Une forme étroite bien adaptée à la ville.
- Les meilleures caractéristiques hydrauliques.
- Une durée de réalisation très courte, et assure une meilleure protection.



Figure V-2: Schéma explicatif de canal rectangulaire ouvert.

**V.2.1.1. Dimensionnement et paramètres d'écoulement :**

Le tableau suivant donne les résultats de dimensionnement et les paramètres d'écoulement d'aménagement du canal :

Table V-5: Dimensions et paramètres d'écoulement de l'aménagement d'Oued El Baten (canal rectangulaire en béton armé).

Tronçons	L	N	b	Heau	Hcr	Sm	Pm	RH	V	NFr	régime
	m	s/m <sup>1/3</sup>	m	m	m	m <sup>2</sup>	m	M	m/s		
1	173	0,014	5	0.61	1.35	3.05	6.22	0.49	10.48	4.69	torrentiel
2	221	0,014	5.3	0.59	1.32	3.12	6.48	0.48	10.20	4.65	torrentiel
3	153	0,014	5.7	0.55	1.28	3.13	6.8	0.46	10.17	4.81	torrentiel
4	198	0,014	6	0.61	1.26	3.66	7.22	0.50	9.57	3.91	torrentiel
5	156	0,014	5.8	0.71	1.27	4.11	7.22	0.57	8.50	3.22	torrentiel

6	165	0,014	6.4	0.72	1.22	4.60	7.84	0.58	7.60	2.86	torrentiel
7	171	0,014	6.9	0.68	1.18	4.69	8.26	0.56	7.46	2.89	torrentiel
8	195	0,014	7.2	0.66	1.16	4.75	8.52	0.55	7.37	2.89	torrentiel
9	179	0,014	7.5	0.64	1.14	4.8	8.78	0.54	7.29	2.91	torrentiel
10	238	0,014	6.8	0.68	1.19	4.62	8.16	0.56	7.57	2.93	torrentiel
11	221	0,014	7	0.67	1.17	4.69	8.34	0.56	7.46	2.91	torrentiel
12	198	0,014	7.4	0.64	1.14	4.73	8.68	0.54	7.39	2.95	torrentiel
13	201	0,014	7.6	0.64	1.13	4.86	8.88	0.54	7.20	2.87	torrentiel
14	164	0,014	8	0.63	1.1	5.04	9.26	0.54	6.95	2.79	torrentiel

• **Interprétation :**

Les résultats de simulations ont montré un régime torrentiel le long de l'oued, et une vitesse varie de 6.95 m/s à 10.48 m/s, cette valeur de vitesse reste admissible pour un béton armé.

• **Simulation :**

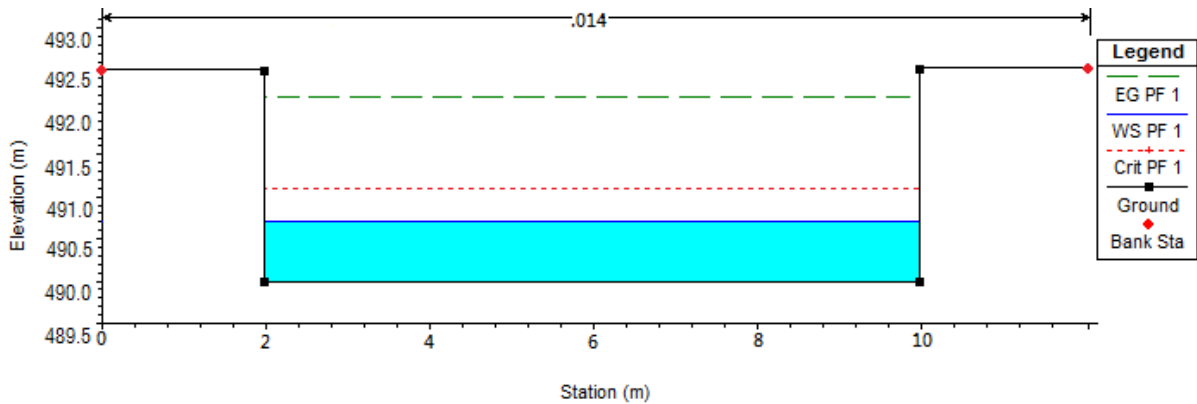


Figure V-3: Section aménagée (dernier tronçon).

**V.2.1.2. Estimation du coût de la variante :**

On prend une épaisseur de 20 cm pour le béton armé et pour le béton de propreté on prend une épaisseur de 5 cm. l'estimation du cout de la variante est donnée dans le tableau suivant :

Table V-6: Devis de la variante (canal en béton armé).

Désignation des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA/ml)
<b>Terrassement</b>	Déblai	m <sup>3</sup> /ml	7.07	450	3181.5
	Remblai	m <sup>3</sup> /ml	3.36	300	1008
<b>Béton de propreté</b>		m <sup>3</sup> /ml	0.4	6000	2400
<b>Béton armé</b>		m <sup>3</sup> /ml	2.52	420000	105840
<b>Total</b>					<b>112429.5</b>

### V.2.2. Deuxième variante: Protection avec un canal en béton cyclopéen :

Le **béton cyclopéen** ou **gros béton** est un béton contenant des gros blocs de pierre, des moellons, des galets, etc.

Il diffère du béton ordinaire par le diamètre maximum des granulats utilisés (gros graviers de 40 mm ou plus) et un faible dosage en ciment. De point de vue économique, le béton cyclopéen est beaucoup moins cher par rapport au béton ordinaire car il n'est pas armé et faiblement dosé en ciment.

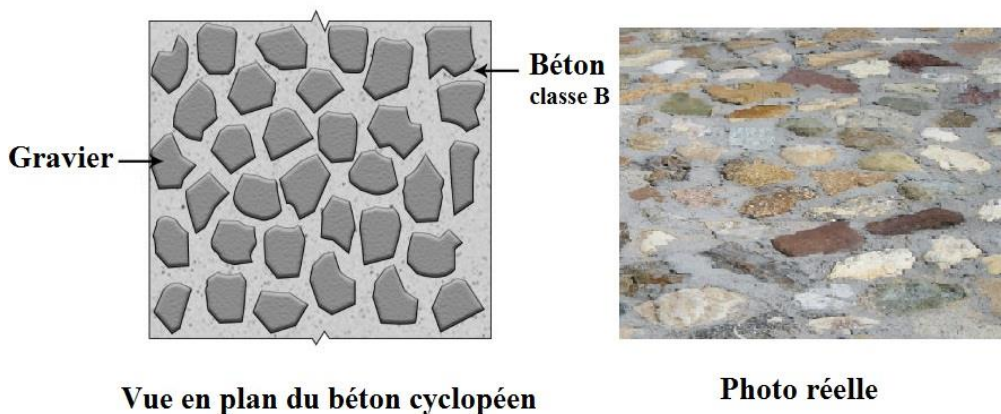


Figure V-4: Schéma explicatif du béton cyclopéen

#### V.2.2.1. Dimensionnement et paramètres d'écoulement :

Pour la deuxième variante nous avons proposé la projection d'un canal rectangulaire en béton cyclopéen dosé à 300 kg/m<sup>3</sup>, le tableau suivant résumera les dimensions et les paramètres d'écoulement de la variante :

## Chapitre V: Etude des variantes d'aménagement

Table V-7.: Dimensions et paramètres d'écoulement de l'aménagement d'Oued EL BATEN (canal rectangulaire en Béton cyclopéen).

Tronçons	L	N	b	Heau	Hcr	Sm	Pm	RH	V	NFr	régime
	m	s/m <sup>1/3</sup>	m	m	m	m <sup>2</sup>	m	m	m/s		
1	173	0,03	5	1.08	1.35	5.4	7.16	0.75	5.61	1.99	torrentiel
2	221	0,03	5.3	1.03	1.32	5.45	7.36	0.74	5.54	2.01	torrentiel
3	153	0,03	5.7	0.97	1.28	5.52	7.64	0.72	5.48	2.05	torrentiel
4	198	0,03	6	1.08	1.26	6.48	8.16	0.79	5.40	1.66	torrentiel
5	156	0,03	5.8	1.23	1.27	7.13	8.26	0.86	4.91	1.41	torrentiel
6	165	0,03	6.4	1.25	1.22	8	8.9	0.89	4.37	1.25	torrentiel
7	171	0,03	6.9	1.18	1.18	8.14	9.26	0.87	4.30	1.26	torrentiel
8	195	0,03	7.2	1.14	1.16	8.20	9.48	0.86	4.26	1.27	torrentiel
9	179	0,03	7.5	1.11	1.14	8.32	9.72	0.85	4.20	1.27	torrentiel
10	238	0,03	6.8	1.19	1.19	8.09	9.18	0.88	4.32	1.26	torrentiel
11	221	0,03	7	1.17	1.17	8.19	9.34	0.87	4.27	1.26	torrentiel
12	198	0,03	7.4	1.12	1.14	8.28	9.64	0.85	4.22	1.27	torrentiel
13	201	0,03	7.6	1.11	1.13	8.43	9.82	0.85	4.15	1.25	torrentiel
14	164	0,03	8	1.07	1.1	8.56	10.14	0.84	4.09	1.26	torrentiel

- **Interprétation :**

Les résultats de simulations ont montré un régime torrentiel le long de l'oued, et une vitesse varie de 4.09 m/s à 5.61 m/s, cette valeur de vitesse reste admissible pour un béton cyclopéen.

- **Simulation :**



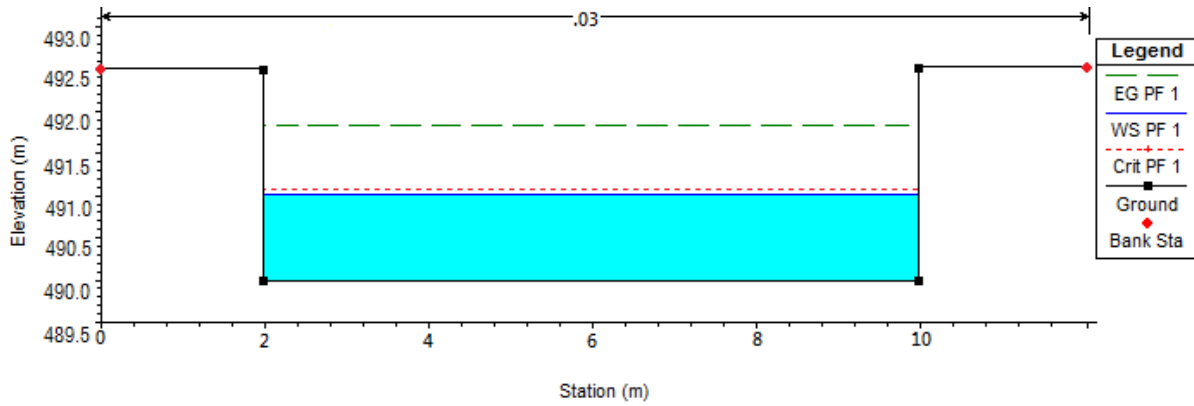


Figure V-5: Section aménagée (dernier tronçon).

### V.2.2.2. Estimation du coût de la variante :

L'estimation du cout de la variante est donnée dans le tableau suivant :

Table V-8: Devis de la variante (canal en béton cyclopéen).

Désignation des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA/ml)
<b>Terrassement</b>	Déblai	m <sup>3</sup> /ml	10.84	450	4878
	Remblai	m <sup>3</sup> /ml	5.7	300	1710
<b>Béton de propreté</b>		m <sup>3</sup> /ml	0.26	6000	1560
<b>Béton cyclopéen</b>		m <sup>3</sup> /ml	9.05	7000	63350
<b>Total</b>					<b>71498</b>

## V .3 Choix de la variante d'aménagement

### ❖ Critères d'évaluation:

Le choix de la variante se fera en fonction de plusieurs critères :

- **Efficacitéhydraulique:**correspondaupotentield'améliorationdelacapacitéhydraulique que peuvent apporter les mesures.
- **Difficultés de réalisation :** correspond au degré de difficulté de la réalisationtechnique
- **Enjeux environnementaux :** ce critère tient compte de l'utilisation du sol au voisinage (zone urbaine, agricole...) et des déficits ou richesses environnementaux actuels.
- **Durabilité :** correspond à la durée de vie de l'aménagement.
- **Entretien :** correspond à l'ampleur et à la fréquence des entretiens nécessaires.

➤ **Coût** : correspond à l'appréciation du coût de construction.

❖ **La variante choisie :**

Les deux variantes semblent pouvoir évacuer le débit de crue sans débordement mais d'un point de vue financier, la variante du canal en béton cyclopéen paraît plus économique et qui est facile à utiliser.

Remarque : On n'a pas mis le gabion comme variante parmi les nôtres et on l'avait rejeté dès le début à cause de la perméabilité importante du gabionnage qui influe sur la stabilité des fondations des constructions de la ville d'EL BATEN.

**Conclusion :**

Au cours de ce chapitre, nous avons proposé deux variantes d'aménagement pour la protection de la ville d'EL BATEN contre les inondations.

Par la suite, une étude technico- économique a été élaborée pour choisir la plus favorable. Le choix final consiste principalement à la projection d'un canal rectangulaire en béton cyclopéen le long de l'oued. Le coût du projet du système de protection contre les inondations de cette ville est de **188039740DA**.

**CHAPITRE VI :**  
**ORGANISATION DE**  
**CHANTIER.**

### Chapitre VI : Organisation de chantier

#### Introduction

L'organisation d'un chantier est l'ensemble des dispositions envisageables pour l'exécution, dans les meilleures conditions possibles, d'un travail afin de réduire les coûts de production.

Cette organisation offre ainsi, à l'homme et à la machine, un contexte favorable à l'optimisation et l'augmentation de la productivité.

Pour cela il faut :

- Définir avec précision les méthodes d'exécution, les modes opératoires permettant la mise en pratique des techniques modernes de construction avec un bon rendement.
- Repartir et coordonner les tâches le recrutement d'une main-d'œuvre spécialisée et compétente.
- Structurer, convenablement, les postes de travail pour lesquels on adoptera une mécanisation de plus en plus poussée.
- Constituer des équipes de travail efficaces et compétentes en nombre suffisant car les charges du personnel employé influencent l'évaluation des coûts

#### VI.1. Organisation de chantier

##### VI.1.1. Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier

Dans le cadre d'une organisation de chantier, il est important de fixer les rôles et responsabiliser les différentes personnes amenées à construire un ouvrage d'art.

- **Le maître de l'ouvrage :** C'est une personne physique ou morale pour laquelle s'exécutent les travaux, il définit le but à atteindre, et assure le financement.
- **Le maître d'œuvre :** C'est une personne physique ou morale désignée par le maître d'ouvrage pour recevoir l'ouvrage, et assure le contrôle lors d'exécution.
- **L'entreprise :** C'est la réunion des moyens mobiles et immobile et en personnel dont l'objectif est de réaliser les travaux.
- **L'entrepreneur :** C'est une personne physique ou morale, titulaire d'un marché de travaux conclu avec le maître d'ouvrage, chargée de l'exécution des travaux.

##### VI.1.2. Travaux préparatoires et installation de l'entreprise

L'implantation d'un chantier nécessite un terrain en dégagant de larges espaces autour de l'entreprise, afin de ménager les diverses aires de stockages et des pistes de circulation d'engins, suivie de leur occupation progressive par les locaux, engins, postes fixes de travail.

Nous pouvons distinguer les installations suivantes :

### VI.1.3. Installations destinées au personnel

En général, sont :

- **Abris-clos et vestiaire** : Local aéré, éclairé, chauffé en saison froide. Local avec armoires (surface minimum du local > 1.25 m<sup>2</sup> par personne).
- **Les réfectoires** prévoir un local de restauration dans le cas où le nombre de repas est supérieur à 25. Tables et sièges en nombre suffisant (surface minimum > 1.5 m<sup>2</sup> par personne). Garde-manger et chauffe gamelles installés dans l'abri ou dans un lieu couvert.
- **Les installations sanitaires** :
  - Lavabos ou rampes pour la toilette : 1 orifice au moins pour 5 travailleurs.
  - Local avec lavabos : un lavabo pour 10 personnes au plus.
  - Douches obligatoires pour tous travaux salissants : 1 pour 8 personnes.
- **Poste de secours** : Une Boîte de secours doit être mise à la disposition des travailleurs dans tous les types de chantiers. Recruter un infirmier est obligatoire pour 200 personnes.
- **Les bureaux de chantier** : Le nombre de bureaux à installer est indiqué par le maître d'œuvre et mentionner clairement dans son rapport.

### VI.1.4. Installations destinées au stockage des matériaux

Pour le stockage du ciment des silos métalliques et ou des baraquements en bois ou en métal seront utilisés .Les agrégats peuvent être stockés en plein air mais prévoir un croisement entre les différents types d'agrégats, pour éviter leur mélange ce qui facilitera le dosage du béton, et l'acier.

### VI.1.5. Installations destinées à la réparation des engins

En général, les grosses réparations ne se font pas sur le chantier lui-même, mais il importe de disposer d'un atelier suffisamment bien équipé afin d'assurer l'entretien courant et les réparations d'urgence des différents matériels.

### VI.1.6. Installation destinée pour la préfabrication

Pour cette installation, elle est constituée des hangars munis de matériel nécessaire permettant la réalisation des éléments de l'ouvrage tels que les poutres, dalles, conduites, murettes...etc.

### VI.2. Moyens duc hantier

#### VI.2.1. Moyens humains

En ce qui concerne les moyens humains pour la réalisation de l'ouvrage, on doit justifier la mise en œuvre du personnel compétant pour la réalisation des études préalables et pour la construction en précisant leurs titres et leurs compétences.

#### VI.2.2. Moyens matériels du chantier

On distingue le matériel général de terrassement et le matériel de bétonnage.

##### + Le matériel de terrassement

- **Compacteurs à pneus**

Est un engin de compactage anciennement à traction animale, aujourd'hui motorisé,



*Figure VI-1: Compacteur à pneus.*

caractérisé par des roues cylindriques lisses ou à relief dit « pied de mouton ».

(Source : <http://www.wbestroadmachine.fr>).

- **Compacteur**

Pour le compactage des sols fins, on utilise les compacteurs à rouleaux et on utilise les rouleaux vibrants lisses pour les sols granulaires et rocheux.



*Figure VI-2: Compacteur à rouleaux.*

(Source : <https://www.simplex.ca>).

En ce qui concerne le prélèvement et le transport des matériaux, les deux moyens couramment utilisés sont :

- **Décapeuse automotrice (grader)**

Est généralement utilisée pour l'arasement des sols. Cet engin possède une benne avec tiroir éjecteur pouvant se surbaïsser et qui, par l'effet du déplacement de la machine, permet d'extraire les matériaux. Ceux-ci seront ensuite transportés sur le lieu de déchargement pour finalement y être répandus en couches.

Ces engins travaillent généralement en duo car ils sont poussés (un tampon se trouve à l'arrière) par un bulldozer équipé d'une lame spéciale dite « pousse ». Ce type de scraper dit « poussé » est le plus répandu.

L'engin peut aussi être autonome, du type « automoteur ». Par le biais d'une chaîne élévatrice,



*Figure VI-3: Décapeuse automotrice.*

il se charge et se décharge par ses propres moyens.

(Source : <https://www.cableprice.co.nz>).

### • Pelle hydraulique

Cet engin de chantier est aussi connu sous le nom de pelleteuse, pelle ou excavatrice. Elle est constituée d'un châssis porteur à chenilles ou à pneus et surmontée d'une tourelle dotée d'une rotation continue de 360 degrés. Cette tourelle porte le moteur, les organes hydrauliques (pompes, moteur, vérins), le poste de conduite et l'équipement (flèche, balancier, godet).

Le poids d'une pelle hydraulique sur pneus peut atteindre jusqu'à 127 tonnes tandis que sur chenilles il peut atteindre jusqu'à 980 tonnes. La popularité des machines hydrauliques est due à leur très grande puissance ainsi qu'à la grande variété d'organes mécaniques pouvant utiliser cette puissance.

La pelleteuse est utilisée pour des travaux :

- De terrassement
- D'extraction (chargement de matériaux dans une carrière...)
- De réalisation et nettoyage de fossés et de talus...
- De fondations spéciales (forage, parois moulées...), la pelle sera équipée du matériel : mouton, sonnette...





Figure VI-4: Pelle hydraulique.

(Source : <https://www.i.auto-bild.de>).

- **Camions de chantier**

Les camions favorisent le mélange de plusieurs horizons, sont plus adaptés lorsque la zone d'emprunt est éloignée du site ou à un relief très marqué.



Figure VI-5: Camion de chantier.

Généralement, sont des véhicules lourds porteurs et tracteurs de terre et de marchandises.

(Source : <https://images.caradisiac.com>).

- **Chargeur à pneu ou à chenilles**

Ce sont des tracteurs sur lesquelles on monte à l'avant deux bras articulés actionnés par des



*Figure VI-6: chargeur pneumatique.*

vérins et portant un godet.

(Source : <https://www.batiactu.com>).

- **Le bulldozer**

Les tracteurs niveleurs à chenilles (dozer) se sont répandus dans tous les pays du monde depuis les années 1940-45. Leur silhouette est devenue familière sur de très nombreux chantiers et de nombreux conducteurs, se sont exercés à la conduite de ces engins. Ainsi tout terrassement doit commencer par le décapage de la terre végétale ou couche supérieure du sol qui contient des débris végétaux ; ce résultat est pratiquement obtenu au cours de la déforestation.

Le bulldozer est une pelle niveleuse montée sur un tracteur à chenille ou à pneus, dont le rôle est défrichage, déblayer les obstacles, nettoyage de l'oued, comblai les trous et de tresser les



*Figure VI-7: bulldozer.*

talus.

(Source : <https://upload.wikimedia.org>).

- **Le matériel de bétonnage**

Des bétonnières sont le plus souvent utilisées ce sont des machines servant à malaxer les différents constituants du béton (ciment, sable, gravier, eau) nécessaire pour la construction



*Figure VI-8: camion à bétonnière.*

des ouvrages en béton.

(Source : <https://besthqwallpapers.com>).

**VI.2.3. Devis quantitatif et estimatif du projet :**

Les estimations des prix des ouvrages et aménagements donnés :

- ◆ Prix unitaire des terrassements.
- ◆ Prix unitaire de fourniture et pose de (béton cyclopéen, toutvenant).

Le tableau suivant donne les montants de réalisation de la variante (canal en béton cyclopéen) retenue :

*Table VI-1: Le devis des différents travaux d'Oued EL BATEN.*

Désignation des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant (DA)
Montant (DA)				(DA)	
<b>Terrassement</b>	Déblai	m <sup>3</sup>	28509.2	450	12829140
	Remblai	m <sup>3</sup>	14991	300	4497300
<b>Beton cyclopéen</b>		m <sup>3</sup>	23801.5	7000	166610500
<b>Béton de propreté</b>		m <sup>3</sup>	683.8	6000	4102800
<b>Montant HT</b>					188039740
<b>TVA 19%</b>					35727550.6
<b>Total TTC</b>					<b>223767290.6</b>

**Le devis du projet est estimé à : : Deux cent vingt-trois millions sept cent soixante -sept mille deux cent quatre-vingt-onze DA.**

**VI.3. Planification**

**VI.3.1. Définition**

Elle consiste à chercher constamment la meilleure façon d'utiliser avec économie la main d'œuvre et les autres moyens de mise en œuvre pour assurer l'efficacité de l'action à entreprendre, elle consiste en :

- ✓ Installation des postes de travail
- ✓ Observations instantanées

- ✓ Analyse des tâches
- ✓ Chronométrage
- ✓ Définition des objectifs et des attributions
- ✓ Simplification des méthodes
- ✓ Stabilisation des postes de travail.

### VI.3.2. Les étapes de la planification

La planification est le processus de la ligne de conduite des travaux à réaliser, elle comprend les étapes suivantes :

- **Collecte des informations**

Ces informations concernant les plans d'architecture de la structure, le cahier de charge, la norme de travail, le rendement des engins et les prix des matériaux de constructions.

- **Décomposition de projet entaches**

Dans cette étape le projet sera décomposé en opérations.

- **Prévoir la relation entre les opérations**

Il existe deux relations essentielles entre les tâches lors de la réalisation ; l'une porte sur un enchaînement logique et l'autre sur un enchaînement préférentiel.

### VI.3.3. Les techniques de planification

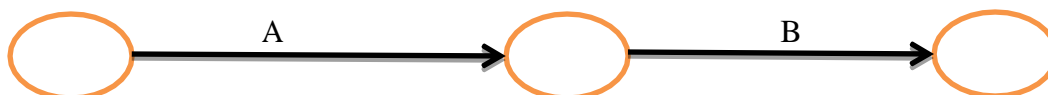
Il existe deux principales méthodes de planification :

- **Méthodes basées sur le réseau Définition du réseau**

Le réseau est une représentation graphique d'un projet qui permet d'indiquer la relation entre les différentes opérations qui peuvent être successives, simultanées, convergentes.

On distingue deux types de réseaux :

- **Réseau à flèches**



L'opération est représentée par une flèche et la succession des opérations par des nœuds

L'opération **A** précède l'opération **B**.

- **Réseau à nœuds**



L'opération est représentée par un nœud et la succession des opérations par des flèches.

L'opération (B) ne peut commencer que si l'opération (A) est complètement achevée.

- ✚ **Construction du réseau**

Pour construire un réseau il convient d'effectuer les opérations suivantes :

- **Etablissement d'une liste des tâches**

Il s'agit dans cette première phase de procéder à un inventaire très précis et détaillé de toutes les opérations indispensables à la réalisation d'un projet.

- **Détermination des tâches précédentes et succédantes**

Après avoir dressé la liste des tâches à effectuer, il n'est pas toujours facile de construire un réseau car il n'est pas aisé de dire si les tâches antérieures doivent être successives ou convergentes.

- Construction des graphes partiels.
- Regroupement des graphes partiels.
- Détermination des tâches de début de l'ouvrage et de fin de l'ouvrage.
- Construction du réseau.

- ✚ **Différentes méthodes basées sur le réseau**

Nous citons dans cette étude deux méthodes à savoir : la méthode C.P.M (Critical Path Method) et la méthode P.E.R.T (Program Evaluation and Review Technical).

- **Méthode du chemin critique (Critical Path Method : CPM)**

L'objectif de cette méthode est de réduire les temps de réalisation d'un ouvrage en tenant compte de trois phases :

**1ère phase :** l'effectif nécessaire pour effectuer le travail considéré.

**2ème phase** : analyser systématiquement le réseau, heure par heure, jour par jour.

**3ème phase** : adapter le réseau aux conditions ou contraintes fixées par l'entreprise.

Dans le cas des opérations qui se suivent, il est préférable d'opter pour la méthode C.P.M.

- **Méthode P.E.R.T (Méthode américaine-Program Evaluation and Review Technical)**

C'est-à-dire technique d'ordonnement des tâches et contrôle des programmes, c'est une méthode consistant à mettre en ordre sous forme de réseau plusieurs tâches qui grâce à leur chronologie et leur dépendance concourent toutes à l'obtention d'un produit fini.

- **Méthodes basées sur le graphique**

Il existe :

- **Méthode linéaire (ligne of balancetechnic)**

Cette méthode est destinée à la planification des projets de construction dont les travaux sont répétitifs.

- **Méthode à barres**

Cette technique consiste à déterminer deux réseaux et un diagramme à barres (plan de travail).

### Les paramètres de la méthode C.P.M

Le calcul se fait en aller et en retour. Pour le calcul d'un réseau à nœuds, le calcul se fait à l'aide d'une grille

La grille est comme suit :

<b>DCP</b>	<b>TR</b>
<b>DFP</b>	<b>DCPP</b>
<b>DFPP</b>	<b>MT</b>

Avec :

- **TR**: temps de réalisation;

- **DCP**: date de commencement au plus tôt;
- **DCPP** : date de commencement au plus tard;
- **DFP**: date de finition au plus tôt;
- **DFPP** : date de finition au plus tard;
- **MT**: marge totale.

**Les principales lois de la méthode C.P.M**

Pour calcul aller on a :  $DFP = DCP + tr$  (VII.2)

Pour la dernière cellule on procède ainsi :  $DFPP = DFP$  (VII.3)

$$DCPP = DCP$$

Pour calcul retour on a :  $DCPP = DFPP - tr$ . (VII.4)

Marge totale :

$$DFP = DCP + tr$$

$$DCPP = DFPP - tr. \quad (VII.5)$$

La marge totale d'une opération est toujours positive et c'est elle est nulle, on l'appelle la tache critique.

**Chemin critique (C.C)**

C'est le chemin le plus long qui donne la durée totale du projet (DTP) reliant les opérations possédant la marge totale nulle (0).

On peut avoir deux, ou plusieurs chemins critiques dans un réseau.

Donc pour retrouver un chemin critique il suffit de vérifier la double condition suivante :

$$C. C \Leftrightarrow \begin{cases} MT = 0 \\ \sum tr_{cc} = D. T. P \end{cases} \quad (VII.6)$$



Dans la méthode P.E.R.T, on utilise des formes géométriques comme le carré et le triangle.

### **La méthode de Tableau**

Il s'agit de faire le calcul en utilisant un tableau conçu pour le calcul de DTP et la définition du chemin et des tachescritiques.

### **Plannings desTravaux**

La méthode basée sur le graphique a pour objectif de donner le diagramme de GANTT Appelé couramment le planning des travaux, C'est la méthode des barres.

Le diagramme de Gantt, couramment utilisé en gestion de projet, est l'un des outils les plus efficaces pour représenter visuellement l'état d'avancement des différentes activités (tâches)

qui constituent un projet. La colonne de gauche du diagramme énumère toutes les tâches à effectuer, tandis que la ligne d'en-tête représente les unités de temps les plus adaptées au projet (jours, semaines, mois...). Chaque tâche est matérialisée par une barre horizontale, dont la position et la longueur représentent la date de début, la durée et la date de fin. Ce diagramme permet donc de visualiser d'un seul coup d'œil:

- Les différentes tâches à envisager
- La date de début et la date de fin de chaque tâche
- La durée est comptée de chaque tâche
- Le chevauchement éventuel des tâches, et la durée de ce chevauchement
- La date de début et la date de fin du projet dans son ensemble

En résumé, un diagramme de Gantt répertorie toutes les tâches à accomplir pour mener le projet à bien, et indique la date à laquelle ces tâches doivent être effectuées (le planning).

Il existe trois types de plan de travail :

- **Plan de travail au plus tôt**

Toutes les opérations commencent à leur date au plus tôt, l'entreprise opte pour ce type de planning lorsqu'elle est riche en moyens et travaille sur plusieurs chantiers.

- **Plan de travail au plus tard**

Toutes les opérations commencent à leur date au plus tard ; les tâches ne sont pas retardées, l'entreprise opte pour ce type de planning quand ses moyens sont limités (plus économique).

- **Plan de travail intermédiaire**

Les opérations commencent à une date intermédiaire, entre date au plus tôt et date au plus tard, l'entreprise opte pour ce type de planning quand elle est riche et travaille sur un seul chantier (moyens parfaits).

### **La partie pratique**

Avant de commencer il nous faut établir un phasage des travaux, dont plusieurs types de contraintes peuvent intervenir.

- Contraintes techniques d'un point de vue hydraulique;
- Contraintes techniques du point de vue réalisation génie civil;
- Importance des enjeux touchés par les inondations;

- Etalement des coutsd’investissement.

En termes de contraintes hydrauliques, il est conseillé de commencer s’il y a lieu en premier par la construction des ouvrages d’accumulation, et la réalisation des travaux d’aval en amont. Et en termes de génie civil, de prévoir les travaux dans la période de l’annéeoù le niveau d’eau est relativement bas.

**Attribution des durées pour les taches**

*Table VI-2: : Liste des opérations avec leurs durées.*

Désignationd’opération	Code	Durée (Jours)
<b>Installation du chantier</b>	<b>A</b>	<b>15</b>
<b>Travaux de terrassement sur tronçons 1et 2</b>	<b>B</b>	<b>45</b>
<b>Compactage sur tronçons 1et 2</b>	<b>C</b>	<b>20</b>
<b>Travaux de terrassement sur tronçons 3 et 4</b>	<b>D</b>	<b>50</b>
<b>Compactage sur tronçons 3 et 4</b>	<b>E</b>	<b>30</b>
<b>Exécution de lit du béton de propreté sur tronçons 1et 2</b>	<b>F</b>	<b>15</b>
<b>Exécution de lit du béton de propreté sur tronçons 3 et 4</b>	<b>G</b>	<b>20</b>
<b>Exécution de béton cyclopéen pour les tronçons 1et 2</b>	<b>H</b>	<b>25</b>
<b>Exécution de béton cyclopéen pour les tronçons 3 et 4</b>	<b>I</b>	<b>35</b>
<b>Remblai</b>	<b>J</b>	<b>30</b>
<b>Déménagement du chantier</b>	<b>K</b>	<b>15</b>

Dans le tableau suivant on présente chaque tache avec celles qu’elle précède dans le phasage des travaux :

*Table VI-3: : Succession des taches.*

Opération	Durée (Jours)	Précède
<b>A</b>	<b>15</b>	<b>B</b>
<b>B</b>	<b>45</b>	<b>C, D</b>
<b>C</b>	<b>20</b>	<b>F</b>
<b>D</b>	<b>50</b>	<b>E</b>
<b>E</b>	<b>30</b>	<b>G</b>
<b>F</b>	<b>15</b>	<b>H</b>
<b>G</b>	<b>20</b>	<b>I</b>

<b>H</b>	<b>25</b>	<b>J</b>
<b>I</b>	<b>35</b>	<b>J</b>
<b>J</b>	<b>30</b>	<b>K</b>
<b>K</b>	<b>15</b>	<b>#</b>

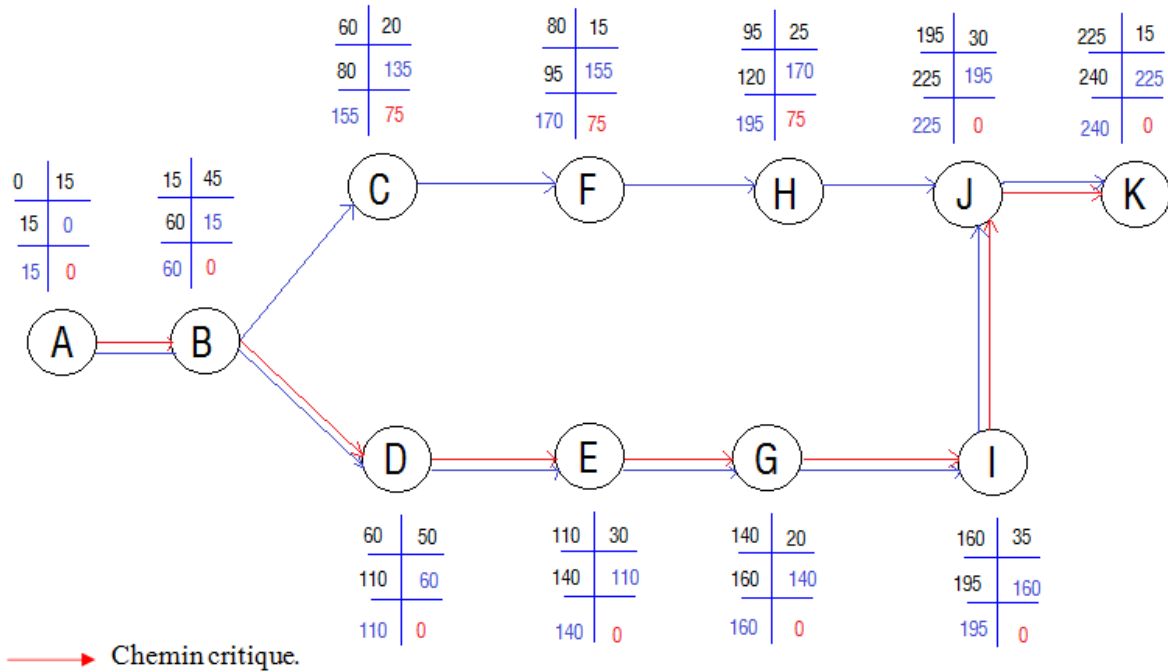
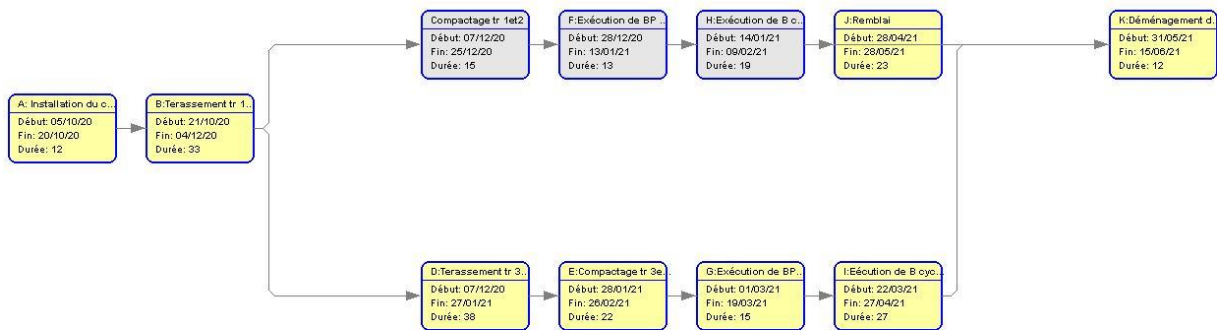


Figure VI-99: Réseau de planification des tâches par la méthode CPM.



Figure VI-10: : Diagramme de GANTT réalisé à partir du logiciel GANTTPROJECT.



*Figure VI-11: Diagramme de PERT réalisé à partir du logiciel GANTTPROJECT.*

### Protection et sécurité du travail

La protection et la sécurité du travail comprennent tout un système de mesure d'ordre social économique, technique, hygiénique, organisationnel et juridique. Ceux-ci garantissent l'assurance de la protection de la santé et de la capacité de travail des travailleurs. Les chantiers sont très dangereux et les accidents peuvent survenir à tous moments, c'est pour cela qu'on doit s'en prémunir.

Les différents organismes intéressés par les sécurités lors du travail et les services d'inspection ont édicté un certain nombre de règlements qui doivent s'appliquer aux chantiers.

Ces règlements contribuent à limiter au maximum les accidents de travail et les dégâts humains et matériels dus à ces accidents. En ce qui concerne la sécurité pendant la période de construction et de fonctionnement de l'ouvrage, la prévention contre les accidents de travail est indispensable.

### Causes des accidents de travail dans un chantier hydraulique

Généralement les accidents de travail imputables à des conditions dangereuses et actions dangereuses sont causés par deux facteurs :

#### Facteurs humains

- Manque de contrôle et négligence.
- La fatigue des travailleurs, manque de maîtrise et de responsable.
- Encombrement dans les différentes phases d'exécution des travaux de travail inadapté.

### **Facteurs matériels**

- Outillage, engins, et machines de travail.
- Nature des matériaux mis en œuvre.
- La difficulté posée lors de l'exécution du travail.
- Les installations mécaniques et électriques

### **Liste des conditions dangereuses**

- Installations non protégées.
- Installations mal protégées.
- Outillages, engins et machines en mauvais état.
- Protection individuelle inexistante.
- Défaut dans la conception et dans la construction.
- Matières défectueuses.
- Stockage irrationnel.
- Mauvaise disposition des lieux.
- Eclairages défectueux.
- Facteurs d'ambiance impropres.
- Conditions climatiques défavorables.

### **Liste des actions dangereuses**

- Intervenir sans précaution sur des machines en mouvement.
- Agir sans prévenir ou sans autorisation.
- Neutraliser les dispositifs de sécurité.
- Intervenir sans précaution sur des installations sous pression, sous tension.

- Ne pas utiliser l'équipement de protection individuelle.
- Mauvaise utilisation d'un outillage ou engin.
- Importance durant les opérations des tockage.
- Adopter une position peu sûre.
- Travailler dans une altitude inappropriée.
- Suivre un rythme de travail inadapté.
- Plaisanter ou se quereller.

### Mesures préventives pour éviter les causes des accidents

On distingue les deux types suivants :

#### Protection collective

L'entrepreneur ou bien le chef de chantier doit mettre en évidence les points suivants :

- Application stricte des règlements de sécurité.
  - Affectation rugueuse du personnel aux commandes des points clés d'une installation moderne de chantier.
  - Les appareils de levage doivent être établis sur une surface présentant une résistance suffisante.
  - Les câbles et les chaînes de levage ne doivent pas être soumis à des charges supérieures à celle fixée.
  - Les travaux ne doivent être exécutés que lorsque l'installation est mise hors tension et hors tout danger.
- Les abris doivent être aérés et climatisés.

#### Protection individuelle

Les équipements de protection individuelle peuvent être classés en une dizaine de familles en fonction - en particulier - de la zone corporelle protégée. Cette classification est d'ailleurs souvent retenue par les fournisseurs de ces produits.

- **Protection de la tête** : casques de chantier et spécifiques (pompiers), casquettes anti- heurts et accessoires (jugulaires, visières, bavolets de nuque), casques et bombes pour les cavaliers.
- **Protection des yeux** : lunettes, sur lunettes, masques;

- **Protection auditives** : bouchons d'oreilles (éventuellement moulés), arceaux, casques et coquilles actives ou passives, dispositifs de communication (radio);
- **Protection du visage** : écrans faciaux, masques et cagoules (soudage), visières ;
  - **Protection respiratoire** : masques jetables ou réutilisables, demi-masques et masques à cartouches filtrantes, appareils respiratoires, d'épuration, de ventilation;
- **Protection des mains** : gants, manchettes, pour tous risques et en toutes matières;
  - **Protection des pieds** : chaussures, bottes, cuissardes, waders, Sabots..., pour risques en tout genre;
- **Protection du corps** : vêtements professionnels génériques et spécifiques (ycomprissur bottes, coiffes de têtes...), contre le froid, la chaleur, les intempéries, sécurité-incendie, soudeur, risque chimique, vêtements haute visibilité ;
- **Protections spécifiques** : dispositifs pour Travailleur Isolé, détecteurs de gaz, ceintures de maintien, genouillères, vêtements de plongée...



Figure VI-12: équipements de la protection individuelle.

### Plan de sécurité adapté aux travaux de réalisation

Puisque les travaux de terrassement sont les travaux qui prennent beaucoup du temps dans la réalisation des aménagements contre les inondations, on a proposé un plan de sécurité adapté aux travaux de terrassement généraux, de soutènement et de fondation profonde. On a résumé ce plan dans le tableau suivant.



Table VI-4: : Un plan de sécurité adapté aux travaux de réalisation.

Objectifs visés	Mesures appropriées à envisager
1) Prévenir les risques d'accident par chutes, chutes des engins de terrassement.	<p><b>Disposition concernant :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-La réalisation du chantier de jour comme nuit.</li> <li>-Les zones interdites au public.</li> <li>- Les précautions particulières à prendre en cas de brouillard.</li> <li>-Réglementation de la circulation, signalisation interne aux chantiers, dépôts (panneaux, repérages, etc.....).</li> </ul>
2) Limiter les risques d'incidents lors de l'approvisionnement du chantier. Assurer la stabilité, la consolidation et la reprise des éléments stockés.	- Repérage des lignes électriques.
3) Prévenir les accidents lors de l'utilisation du matériel: De renversement des engins; De l'éboulement des terrains.	- Disposition à prendre pour le guidage des camions et des engins notamment lors des manœuvres en marche arrière.
4) Eviter les heurtes entre les engins et renversement des engins.	- Interdiction de dépassement et de stationnement.
5) Assurer la stabilité à la conservation et la reprise aisée des éléments stockés.	-Définition des lieux de stockage des divers matériaux. -Moyens de calage de chargement et de déchargement.
6) Eliminer les surcharges en bordure des fouilles.	- Mode de stockage des déblais et leur mode de déchargement.
7) Prévenir les chutes des objets.	- Examen des câbles soumis à des sollicitations particulières.
8) Prévenir des ruptures des organes de levage.	- Disposition et consignes particulières concernant l'entretien des matériels, des installations, les engins et les véhicules.
9) Heurts des personnes par les outils.	- Les travailleurs qui utilisent la pioche ou la pelle dans leurs activités doivent être tenus à une distance suffisant les uns des autres.

### **Conclusion :**

L'exécution d'un ensemble de travaux par gestion rationnelle de temps demande conjointement des moyens humains, techniques et matériels, afin d'aboutir à un but ultime qui est la livraison du projet dans les délais prévus, sans sortir des couts d'investissement initiaux. A l'issue de ce volet nous avons pu estimer le coût global du projet d'aménagement de l'oued EL BATEN à **223767290.6DA** pour un délai de réalisation de **34semaines et 02 jours**.

# **CONCLUSION GENERALE**

## Conclusion Générale

A travers cette étude, on a pris conscience de la nécessité d'entretenir Oued El Baten qui traverse la ville d'EL BATEN située à Boussada (W.Msila), pour mettre fin au problème d'inondation. On a scindé notre travail en trois étapes essentielles.

Nous avons d'abord estimé le débit de crue maximal à évacuer par les cours d'eau à travers l'estimation de l'hydrogramme de crues. En second lieu, nous avons déterminé les zones susceptibles à être inondées, par la simulation de l'écoulement dans les cours d'eau non aménagés par le logiciel HEC-RAS en se basant sur le modèle de Saint-Venant monodimensionnel et à l'aide le logiciel AutoCAD Civil 3D.

Finalement, nous avons choisi un aménagement adéquat après une analyse technico-économique pour choisir la variante finale qui répond à notre objectif d'étude. En effet, la variante choisie consiste en un canal rectangulaire en béton cyclopéen sur tout le long de l'oued. Le coût de ce projet est estimé à **223767290.6DA**, et comme tout projet celui-ci se doit être suivi afin de garantir un meilleur service et une longévité acceptable.

## Bibliographie

- CEMAGREF. (2004)** Guide des aménagements associant l'épandage des crues dans le lit majeur et leur écrêtement dans de petits ouvrages. Antony, Cemagref.
- Degoutte, G., 2006.** Aide-mémoire d'hydraulique a surface libre, Edition ENGREF, 66p.
- Graf, W., Altinakar, M. S., 1993.** Hydraulique fluviale, Tome 1. Ecoulement uniforme et non uniforme, Volume 16. Traité de Génie Civil de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- Laborde J.P., 2003.** Hydrologie de surface. Université de Nice-Sophia Antipolis. Laboratoire d'analyse spatiale. Nice.
- Musy, A., Higy, C., 1998.** Hydrologie appliquée, Edition H.G.A. Bucarest. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- Touaïbia, B., 2004.** Manuel pratique d'hydrologie. Guerouaou. Blida.
- TOUATI A, 2010.** Intérêt de la modélisation des hydrogrammes de crues dans la protection contre les inondations. Cas de quelques oueds du nord Algérien. Mémoire de fin d'étude, ENSH Blida.
- U.S. Army Corps of Engineers (2010a).** HEC-RAS River Analysis System Hydraulic reference manual, Hydrologic Engineering Center, CPD-69, Version 4.1.
- U.S. Army Corps of Engineers (2010b).** HEC-RAS River Analysis System – User's Manual, Hydrologic Engineering Center, CPD-68, Version 4.1.
- Yahiaoui A., B. Touaibia (2012).** Inondations Torrentielles Cartographie des Zones Vulnérables en Algérie du Nord (Cas de l'oued Mekerra, Wilaya de Sidi Bel Abbès). Thèse de Doctorat. Ecole Nationale Polytechnique. Algérie.