



## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

**Option : OUVRAGES HYDROTECHNIQUES**

**THEME :**

**AMÉNAGEMENT DES OUEDS POUR LA PROTECTION  
DE LA VILLE  
DE BEIDA BORDJ (W.SETIF)**

**Présenté par :**

**HADJEBAR ABDENOUR**

**Devant les membres du jury**

<b>Nom et Prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
<b>A.HADJ SADOUK</b>	<b>M.C.A</b>	Président
<b>A.ZAROUAL</b>	<b>M.C.A</b>	Examineur
<b>E.OSMANI</b>	<b>M.A.A</b>	Examineur
<b>N.SAIL</b>	<b>M.A.A</b>	Examineur
<b>B.BENLAOUKLI</b>	<b>M.C.A</b>	Promoteur

Septembre 2019

## DEDICACE

*La vie est un parcours dur, une succession d'évènements et de souvenirs, par fois bons et toute fois très touchants, mais elle reste toujours ce parcours qui nous identifie.*

*Je dédie mon travail tout d'abord*

*A ces deux perles rares qui rayonnent dans ma vie, à mes chers parents pour tous ce qui m'ont donné, j'avoue que je ne pourrais*

*jamais les remercier assez*

*A mes chers frères : Rabah et Mohamed*

*A ma chère sœur : Aldjia à qui je souhaite beaucoup de réussite*

*A toutes ces personnes qui m'ont entouré, aimé, soutenu et aidé sans que je leur demande :*

*Takfarinas, Ghilas, Alilou, Redouane, Toufik, Ililas, Sedik, Yacine, Smail*

*A tous mes amis dont je n'ai pas cité le nom*

## *Remerciement*

*Je remercie tout d'abord le bon Dieu de m'avoir aidé et donné la patience et le courage afin d'achever ce modeste travail.*

*Je remercie fortement mon promoteur Mr B.BENLOUAKLI de m'avoir orienté par ses conseils judicieux dans le but de mener à bien ce travail.*

*Mes remerciements et mon respect aux membres du jury qui me feront l'honneur d'évaluer mon travail.*

## ملخص :

الهدف من هذه الدراسة هو حماية مدينة بيضاء برج من الفيضانات التي يسببها نهر متلاغ. لقد قمنا أولا بالدراسة المتعلقة بتحديد الخصائص المناخية و الطبوغرافية للحوض وثانيا قمنا بالدراسة الهيدرولوجية لتحديد تدفق الفيضانات, تشخيص الأرضية كمية التدفق الهيدروليكية في الحالة الطبيعية للأودية مكننا لنا تحديد الحالات الشاذة ومختلف العوامل الهيدروليكية و الهندسية للتدفق, وفقا لهذا التشخيص اقترحنا حلولا التي كانت موضوع دراسة تقنية واقتصادية.

## Résumé :

L'objet de cette étude est de protéger la ville de Beida Bordj (W.Sétif) des inondations causées par le débordement de l'oued Metlagh.

L'étude a été débutée par la détermination des caractéristiques climatiques et topographiques du bassin versant , la deuxième partie est consacrée à l'étude hydrologique à fin de déterminer les débits centennaux, le diagnostic du terrain et la simulation du fonctionnement hydraulique à l'état naturel des cours d'eau par le logiciel HEC-RAS nous ont permis de recenser les anomalies, ainsi que la détermination des différents paramètres hydrauliques de l'écoulement . Selon ce diagnostic nous avons proposé des solutions qui ont fait l'objet d'une étude technico-économique.

## Abstract :

The target of this study is to protect Beida bordj city (W.Sétif) from floods caused by the overflow of Oued Metlagh.

The study has been done by determining the climatic and topographic characteristics of the watershed. The second part is devoted to the hydrological study to determine the centennial flows. The diagnosis of the field and simulation of hydraulic functioning in a natural state of river with HEC-RAS have helped us to identify the anomalies and determine the various parameters of hydraulic outflow. According to this diagnostic we have proposed solutions that have been the subject of a techno-economic study.

# Sommaire

## INTRODUCTION GENERALE

### Chapitre-1- Présentation de la Zone d'Etude.

Introduction .....	1
1- Présentation de la commune de Beida Bordj : .....	2
1-2- Limites administratives .....	2
2- Délimitation de la zone .....	3
3- Situation climatique .....	4
3-1- Climat .....	4
3-2- Température .....	4
3-3- Humidité relative .....	4
3-4- Vitesse du vent .....	5
3-5- Précipitations .....	5
4- Données physiques de la Commune .....	6
4-1- Relief .....	6
4-2- Contexte géologie locale et géotechnique .....	6
4-3- Formations récente .....	6
4-4- Ensemble Allochtone Sud-Sétifien .....	6
5- Sismicité.....	7
Conclusion.....	8

### Chapitre-2- Généralités sur les Crues.

Introduction .....	9
1- Crue:.....	9
1-1- Définition .....	9
1-2- Processus de formation .....	10
1-3- Caractérisation du phénomène de crue .....	11
1- 4- Éléments descriptifs d'une crue .....	11
1-5- Types des crues .....	11
1-6- Conséquences des crues selon leur types.....	11
2- Inondation:.....	12
2-1- Définition .....	12

2-2- Caractérisation du phénomène d'inondation .....	12
2-2-1- La période de retour des crues .....	13
2-2-2- La hauteur et la durée de submersion .....	13
2-2-3- La vitesse du courant .....	13
2-3- Types d'inondation .....	13
2-3-1- Inondations directes (ou de plaine) .....	13
2-3-2- Inondations indirectes (ou par crues torrentielles) .....	14
2-3-3- Inondations stagnantes (ou par ruissellement) .....	14
2-2-4- Inondation par rupture d'embâcle .....	15
2-2-5- Inondation par remontées de nappe .....	16
2-4- Causes et conséquences des inondations .....	16
2-4-1- Les causes des inondations .....	16
2-4-1-1- Les facteurs naturels .....	16
2-4-1-2- Les facteurs anthropiques .....	16
2-4-2- Conséquences des inondations .....	17
3-Exemples des inondations:.....	17
3-1- Inondations dans le monde .....	17
3-2- Inondations en Algérie .....	18
Conclusion .....	18

## **Chapitre-3- Etude hydrologique.**

Introduction .....	19
1- Caractéristiques morphologique du bassin versant : .....	19
1-1- Définition du bassin versant .....	19
1-2- Morphométrie .....	20
1-2-1- La surface .....	20
1-2-2- Le périmètre .....	21
1-2-3- Indice de compacité de Gravelius .....	21
1-2-4- Rectangle équivalent .....	21
1-3- Le relief .....	22
1-3-1 Répartition des surfaces et courbes hypsométriques .....	22
1-3-2- Répartition altimétrique et courbes hypsométriques .....	23
1-3-3- Les altitudes caractéristiques .....	24
1-3-4- Indice de pente globale $I_g$ .....	25
1-3-5- Pente moyenne du bassin ( $I_m$ ) .....	26
1-3-6- Dénivelée spécifique ( $D_s$ ) .....	27

2- Les caractéristiques des écoulements dans les bassins versants .....	28
2-1- Densité de drainage .....	28
2-2- La pente moyenne du cours d'eau principal.....	28
2-3- Temps de concentration .....	29
2-4- vitesse moyenne de ruissellement Vr .....	31
3- Analyse des données pluviométriques .....	32
3-1- Pluie moyenne annuelle .....	32
3-2- Pluies maximales journalières .....	32
3-3- Les précipitations maximales journalières .....	33
3-4- Choix de la loi de l'ajustement .....	33
3-4-1- Vérification de l'homogénéité de la série .....	35
3-4-2- Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL .....	37
3-4-3- Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON .....	38
3-4-4- Comparaison entre deux lois d'ajustement .....	40
3-5- Pluies de courte durée .....	41
4- Les apports .....	42
4-1- Apports liquides .....	42
4-1-1- Apport moyen interannuel .....	42
4-2- Caractéristique de l'écoulement .....	44
4-3- Evaluation des apports solides .....	44
5- Etude de crues .....	45
5-1- Différentes méthodes d'évaluation des crues .....	45
5-2- Application sur les bassins versants .....	46
5-2-1- Formule de Giandotti .....	46
5-2-2- Formule de TURAZZA .....	46
5-2-3- Formule de Mallet-Gauthier .....	47
Conclusion .....	48

## **Chapitre-4- Etude hydraulique.**

Introduction .....	49
1- Objectif d'aménagement .....	49
2- Généralités .....	49
2-1- Canal à ciel ouvert .....	49
2-1-1- Type de canal .....	50
2-1-2- Géométrie des canaux .....	51

2-2- Ecoulement dans les canaux .....	51
2-2-1- Types d'écoulement .....	51
2-2-2- Régime d'écoulement .....	53
2-3- Dimensionnement des canaux .....	55
2-3-1- Détermination du coefficient de CHEZY .....	55
2-4- Calcul des paramètres géométriques .....	58
2-4-1- Le choix de la section de meilleure conductivité .....	58
2-4-2- Calcul du rayon hydraulique maximal .....	58
2-4-3- Calcul de la profondeur normale $h_n$ .....	58
2-4-4- Calcul de la profondeur critique $h_{cr}$ .....	60
2-5- Calcul de la ligne d'eau .....	62
2-5-1- Equation de la ligne d'eau .....	62
2-5-2- Différentes formes de courbe de remous .....	63
2-6- Calcul du ressaut hydraulique .....	64
3- Dimensionnement de l'aménagement.....	65
3-1- Calcul des débits.....	65
3-2- Caractéristiques du canal.....	66
3-3- Calcul des tronçons .....	66
3-3-1- Calcul du tronçon N°1 .....	66
3-3-2- Calcul du tronçon N°2 .....	67
3-3-3- Calcul du tronçon N°3.....	68
4- Simulation avec le logiciel HEC-RAS .....	69
4-1- Définition Logiciel HEC-RAS .....	69
4-2- Etapes de simulation par HEC-RAS.....	70
4-3- Simulation de l'Oued Metlagh à son état naturel .....	73
Conclusion.....	82

## **Chapitre-5- Proposition des variantes.**

Introduction .....	83
1- Proposition de variantes d'aménagements .....	83
2- Description des variantes proposées pour l'étude .....	83
2-1- Protection avec des murs en gabions .....	84
2-1-1- Classification des gabions .....	84
2-1-2- Avantages et inconvénients .....	85
2-2- Protection avec un canal en béton armé .....	86
2-2-1 Avantages et inconvénients .....	86

3- Etude des variantes .....	86
3-1- Canal en béton armé .....	87
3-1-1- Estimation du cout de la variante .....	87
3-2- Canal en gabion .....	87
3-2-1- Estimation du cout de la variante .....	88
4- Choix de la variante d'aménagement.....	88
4-1- Critères d'évaluation.....	88
4-2- La variante choisie.....	88
Conclusion.....	89

## **Chapitre-6- Organisation de chantier.**

Introduction .....	90
1-Généralités .....	91
1-1- Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier .....	91
1-1-1- Le maître de l'ouvrage .....	91
1-1-2- Le maître d'œuvre .....	91
1-1-3- L'entreprise .....	91
1-1-4- L'entrepreneur .....	91
2- Installations du chantier .....	91
2-1- Installations destinées au personnel.....	91
2-2- Installations destinées au stockage des matériaux .....	91
2-3- Installations destinées à la réparation des engins .....	92
2-4- Installations pour la préfabrication .....	92
3- Description de projet.....	92
3-1- Réalisation de la variante d'aménagement .....	92
3-1-1- Les moyens de chantier Les moyens de chantier .....	92
3-2- Engins utilisés .....	93
3-2-1- La niveleuse.....	93
3-2-2- Dozer .....	94
3-2-3- Pelle hydraulique équipée en rétro .....	96
3-2-4- La Bétonnière .....	97
3-2-5- Matériel de compactage.....	97
3-2-6- Camions .....	98
4- Planification.....	99
4-1- Définition.....	99
4-2- Techniques de la planification .....	99
4-2-1- Méthodes basées sur le réseau .....	100

4-2-1-1 Définition du réseau .....	100
4-2-1-2- Construction du réseau .....	100
4-2-1-3- La méthode de calcul basée sur le réseau .....	100
4-2-1-4- Calcul des durées .....	101
4-2-1-5- Détermination du chemin critique .....	102
Conclusion.....	103
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>104</b>

# Liste des tableaux

## CHAPITRE 1 :

**Tableau 1** : Humidité relative dans la zone d'étude en pourcentage.

**Tableau 2** : Moyenne mensuelle de la vitesse des vents (m/s).

## CHAPITRE 3 :

**Tableau 1** : les paramètres hydromorphométriques du bassin versant.

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

**Tableau 3** : Détermination des altitudes moyennes.

**Tableau 4** : Classification du relief.

**Tableau 5** : Longueurs correspondantes à chaque courbe de niveau.

**Tableau 6** : Classification O.R.S.T.O.M (type de relief).

**Tableau 7** : Caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant.

**Tableau 8** : Coordonnées de la station pluviométrique de AinAzel.

**Tableau 9** : Série de pluies maximales journalières [1983-2014].

**Tableau 10** : Caractéristiques statistiques.

**Tableau 11** : Calcul du test de la médiane.

**Tableau 12** : Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL.

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

**Tableau 14** : Pluies et intensités maximales de durée  $t$  (h) et de période retour..

**Tableau 15** : Apport moyen interannuel.

**Tableau 16** : Caractéristiques d'écoulement.

**Tableau 17** : Estimation du coefficient de perméabilité.

**Tableau 18** : Les apports solides.

**Tableau 19** : Les apports solides.

**Tableau 20** : Débits de crues du bassin d'Oued Metlagh.

## CHAPITRE 4 :

**Tableau 1** : Valeurs de rugosité en fonction du revêtement du canal.

**Tableau 2** : Coefficient de Manning-Strickler en fonction de la nature du canal.

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

**Tableau 4** : Différents types de ressaut.

**Tableau 5** : Paramètres hydrauliques du canal.

**Tableau 6 :**Paramètres hydrauliques du tronçon N°1.

**Tableau 7 :**Calcul de la pente critique.

**Tableau 8 :** Paramètres hydrauliques du tronçon N°2.

**Tableau 9 :**Calcul de la pente critique.

**Tableau 10:**Paramètres hydrauliques du tronçon N°3.

**Tableau 11:**Calcul de la pente critique.

## **CHAPITRE 5 :**

**Tableau 1 :**Coût de réalisation du canal en béton armé.

**Tableau 2 :**coût de réalisation du canal en gabion.

## **CHAPITRE 6 :**

**Tableau 1 :**Engins et leurs taches.

**Tableau 2 :**Décomposition des travaux.

**Tableau 3:**Liste des taches.

# Liste des figures

## CHAPITRE 1 :

**Figure 1 :** situation de la commune de Beida Bordj.

**Figure 2 :** Carte délimitant la zone d'étude (**Google earth**).

**Figure 3 :** Température annuelle au site Beida Bordj.

**Figure 4 :** Précipitation annuelles au site de Beida Bordj.

**Figure 5 :** Carte géologique de la zone d'étude.

**Figure 6 :** Carte de zonage sismique du territoire national.

## CHAPITRE 2 :

**Figure 1 :** cours d'eau en absence de crues d'inondation.

**Figure 2 :** cours d'eau et inondation des alentours.

**Figure 3 :** Débordement directe ou de plaine.

**Figure 4 :** Remontée des eaux dans les réseaux d'assainissement.

**Figure 5 :** Inondations de Bab El Oued 2001.

**Figure 6 :** Inondation par rupture d'une protection.

**Figure 7 :** inondation par la remontée de nappe.

## CHAPITRE 3 :

**Figure 1 :** délimitation des bassins versant Oued METLAGH.

**Figure 2 :** Le relief du bassin versant.

**Figure 3 :** Courbe hypsométrique.

**Figure 4 :** Observation de sur papier de probabilité.

**Figure 5 :** Histogramme d'observations classées par valeur.

**Figure 6 :** Graphique de l'ajustement à la loi de Gumbel.

**Figure 7 :** Graphique de l'ajustement à la loi Lognormale(Galton).

## CHAPITRE 4 :

**Figure 1 :** Géométrie d'un canal naturel.

**Figure 2 :** Types de canaux artificiels (couvert et découvert).

**Figure 3 :** Schéma d'un écoulement permanent.

**Figure 4 :** Schéma d'un écoulement non permanent.

**Figure 5 :** Schéma illustrant les différents écoulements.

**Figure 6 :** Passage du régime fluvial au régime torrentiel.

**Figure 7 :** Les paramètres géométriques d'un canal de section trapézoïdale.

**Figure 8 :** Graphique de la fonction  $f(h)$ .

**Figure 9 :** Graphique de la fonction  $E_s = f(h)$ .

**Figure 10 :** Représentation de la ligne d'eaux et de la ligne de charge.

**Figure 11 :** Différentes formes de courbes de remous.

**Figure 12 :** Schéma d'un ressaut hydraulique.

**Figure 13 :** Typologie du ressaut.

**Figure 14 :** Section Trapézoïdale ouverte.

**Figure 15 :** Présentation de la fenêtre d'entrée.

**Figure 16 :** création d'un projet HEC-RAS.

**Figure 17 :** introduction données topographiques HEC-RAS.

**Figure 18 :** Introduction des débits et condition aux limites.

**Figure 19 :** Profils en travers (S1 à S4).

## **CHAPITRE 5 :**

**Figure 1 :** Quelques types de gabions.

**Figure 2 :** coupe type d'un canal en gabionnage.

**Figure 3 :** Coupe type d'un canal en béton armé.

## **CHAPITRE 6 :**

**Figure 1 :** Niveleuse automotrice.

**Figure 2 :** Dozer.

**Figure 3 :** Chargeur pneumatique.

**Figure 4 :** Pelle à chenilles avec godet à position rétro.

**Figure 5 :** bétonnière en cours de fonctionnement.

**Figure 6 :** pompe à béton.

**Figure 7 :** Compacteur à rouleau lisse.

**Figure 8 :** Camion.

**Figure 9 :** Réseau à nœuds.

# Liste Des Planches

**Planche n°1** : levé topographique de la ville Beida Bordj.

**Planche n°2** : Profils en travers de l'oued.

**Planche n°3** : Profil en long de l'oued.

**Planche n°4** : Plan de l'aménagement de l'oued .

# **Introduction Générale**

# Introduction générale

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

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

Les risques d'inondations sont dus à l'interaction complexe de plusieurs composantes, c'est le produit de la concomitance de facteurs topographiques, géologiques, hydrologiques et météorologiques.

Pour ce faire, le travail est divisé en six volets : on entamera avec une présentation détaillée de la zone d'étude, puis on traitera les pluies maximales journalières pour aboutir aux pluies maximales probables qui seront incluses dans le calcul des débits. Une fois les hydrogrammes estimés et en ayant des levés topographiques détaillés, on pourra étudier les écoulements dans les cours d'eau à l'état naturel afin d'élaborer une carte d'inondation sur les oueds et ses en associant les fonctionnalités du logiciel HEC-RAS. Cela nous permettra d'identifier les zones inondables et les enjeux sis aux bords de l'oued., Dès lors, on saura proposer des solutions sous forme de différentes variantes dont on choisira la mieux adaptée, et en faire une estimation quantitative et économiques.

# Chapitre -1- **Présentation de la Zone d'Etude**

## **Introduction :**

L'étude de ce projet permettra la protection de la ville de Beida Bordj contre les eaux de crues et d'assurer la sécurité des biens et des personnes.

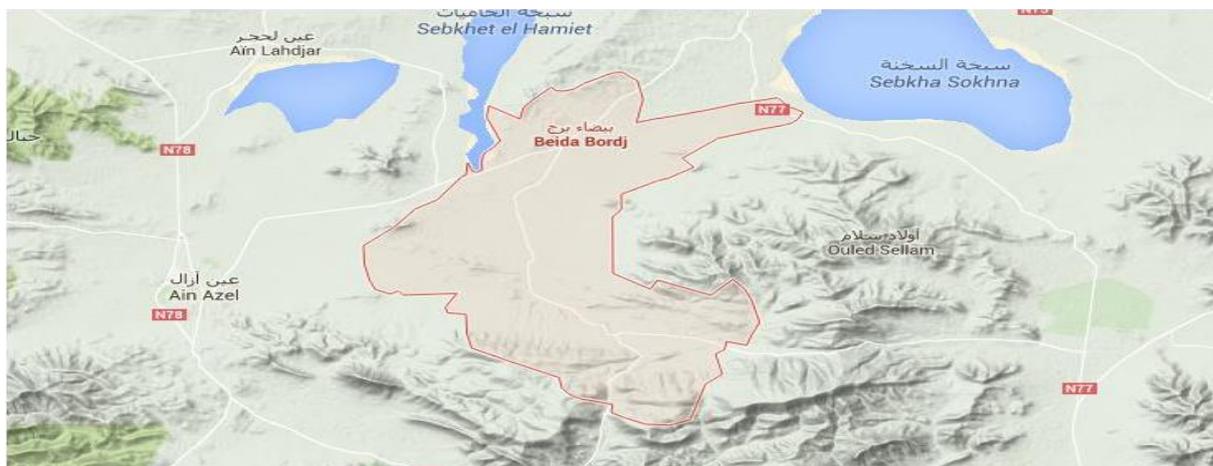
## **1. Présentation de la commune de Beida Bordj :**

La commune de Beida Bordj se trouve dans la région des hauts plateaux Sétifiens. Elle est Située à 57 Km à l'est-sud du chef-lieu de la Wilaya de Sétif, elle dépend administrativement de la Daïra de Ain Azel. Dont les altitudes varient entre 800 m et 1400 m, d'une superficie de 140Ha (zone urbanisée) La ville a un caractère agricole et pastorale.

### **1.2 Limites administratives :**

BEIDA BORDJ est une des anciennes communes de la Wilaya de Sétif est limitée par :

- Au Sud/Est par les communes de: Errahbat, Talkhamt et Oulad Allam Wilaya de Batna.
- Au Nord par La commune de Tella Wilaya de Sétif.
- A l'ouest par les communes de Ain Azel, Ain Lahdjar Wilaya de Sétif.



**Figure 1 :** situation de la commune de Beida Bordj.

## Présentation de la zone d'étude

---

### 2. Délimitation de la zone :

La zone d'étude se situe au niveau de la commune de Beida Bordj, wilaya de Sétif. Elle occupe une superficie d'environ 140 Ha.

le périmètre de l'étude est cadré par les coordonnées Kilométrique PROJECTION (U.TM ) suivantes :

La commune BEIDA BORDJ est limitée Géographiquement par les coordonnées UTM fuseau 31S :

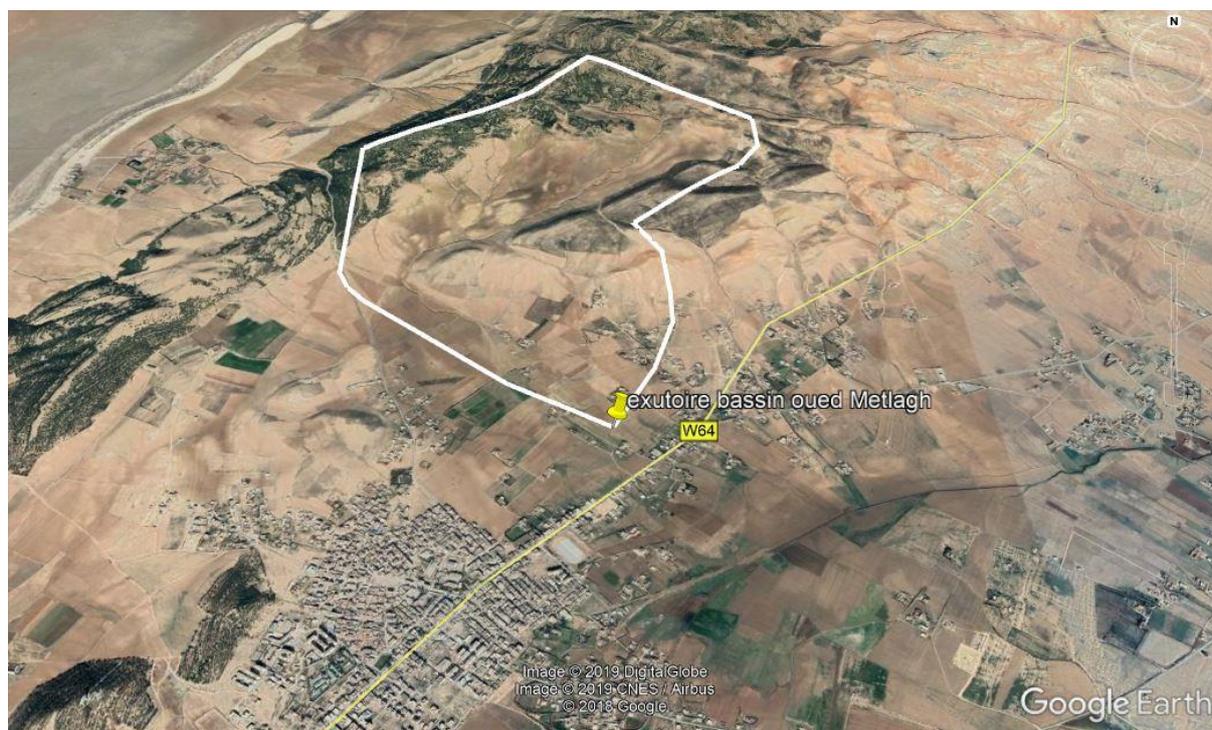
**X1=739000 m.**

**X2=741850 m.**

**Y1=3973800 m.**

**Y2=3976440 m.**

Avec une altitude moyenne d'environ 800 m (NGA).



**Figure 2 : Carte délimitant la zone d'étude (Google earth).**

### 3. Situation climatique :

#### 3.1. Climat :

Cette région est caractérisée par un climat continental semi-aride avec des étés chauds et des hivers rigoureux. La saison chaude est sèche, elle s'étale du mois d'avril au mois de septembre, suivi d'une saison froide de novembre à mars.

#### 3.2. Température :

L'aperçu du climat montre la température moyenne mensuelle. La ligne rouge est la moyenne de la température maximale, tandis que la ligne bleue est la température minimale moyenne. Les statistiques climatiques sont basées sur les données météorologiques de la dernière décennie.

La température moyenne au site BEIDA BORDJ égale 14.9 °c.

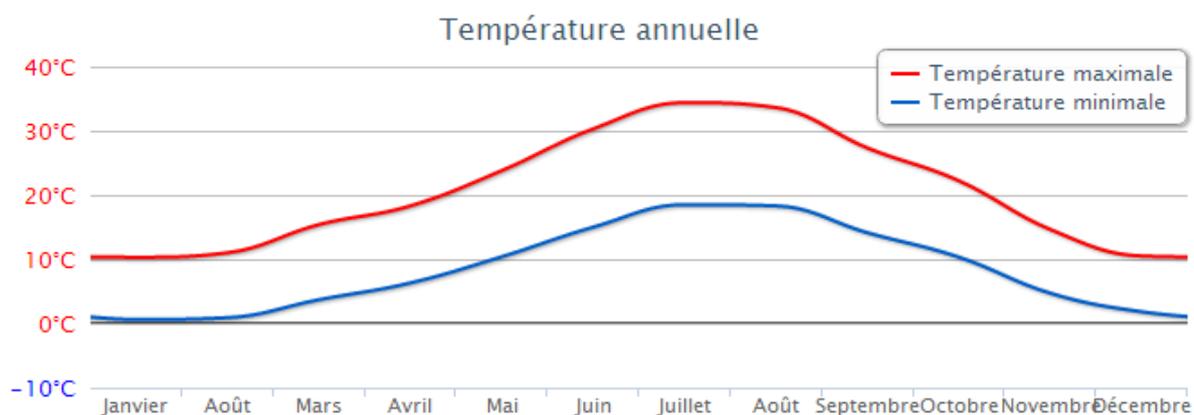


Figure 3 : Température annuelle au site Beida Bordj.

#### 3.3. Humidité relative :

L'humidité relative ou état hydrométrique (exprime en %) est le rapport entre la tension de vapeur et la tension maximale, la moyenne mensuelle de l'humidité relative est de 70% à Sétif.

L'humidité relative est exprimée dans le tableau ci-dessous, elle est donnée par deux valeurs la première représente la valeur moyenne obtenue par la variation journalière dans trois moments de la journée : 7 h 13 h et 19 h, la deuxième valeur correspondante aux moyennes d'après ONM (Office National de la Météorologie).

## Présentation de la zone d'étude

**Tableau 2** : Humidité relative dans la zone d'étude en pourcentage.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy(%)	74	70	63	54	55	47	38	38	51	62	72	77
Moy (ONM) (%)	76	76	71	66	61	50	39	41	55	66	75	79

(Source : PDAU d'Ain Azel)

### 3.4. Vitesse du vent :

Les vents dominants dans la région sont les vents du Ouest et Nord-ouest pendant la période qui s'étale du mois de mai jusqu'à septembre. Le siroco est fréquent en été, il souffle en moyenne pendant 15 jours par an.

**Tableau 2** : Moyenne mensuelle de la vitesse des vents (m/s).

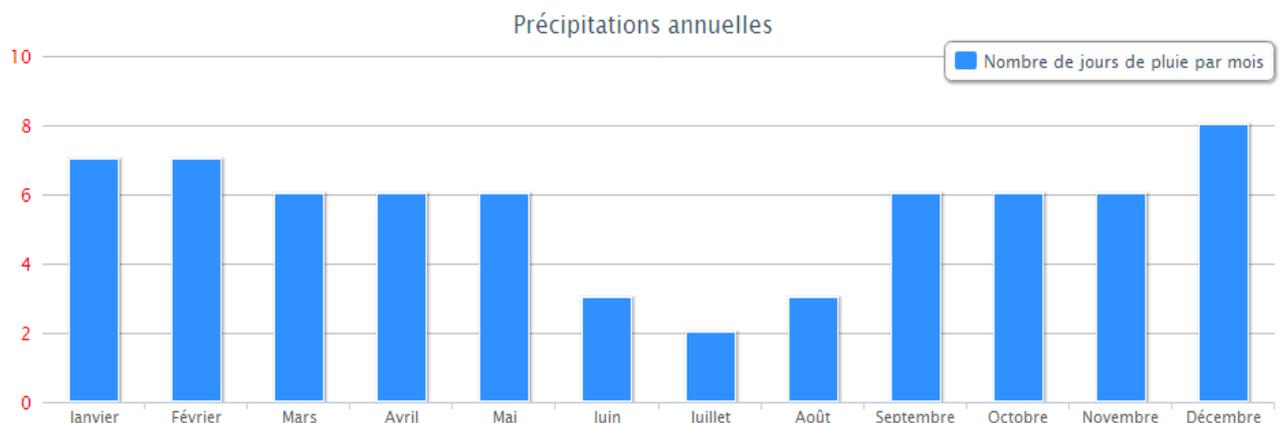
Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
V (m/s)	3,8	3,7	3,8	4,2	4,6	3,6	3,7	4	3,7	3,2	3,6	4,2	3,8

(Source : PDAU d'Ain Azel)

### 3.5. Précipitations :

Les colonnes bleues montrent le nombre de jours des précipitations moyen par mois. Une journée avec des précipitations est définie comme étant de plus de 1 mm dans les dernières 24 heures. Précipitations climatique statistiques sont fondées sur les données météorologiques de la dernière décennie.

Le pluviomètre moyen annuel de station BEIDA BORDJ est 380 mm.



**Figure 4** : Précipitation annuelles au site de Beida Bordj.

## 4. Données physiques de la Commune :

### 4.1. Relief :

En raison de sa diversité bioclimatique et de ses espaces caractérisés principalement par des zones de hautes plaines et de montagnes.

### 4.2. Contexte géologie locale et géotechnique :

L'implantation du projet situe au sud et nord de BEIDA BORDJ traverse les terrains sédimentaires dont on distingue les types de formations suivantes : ( voir la figure).

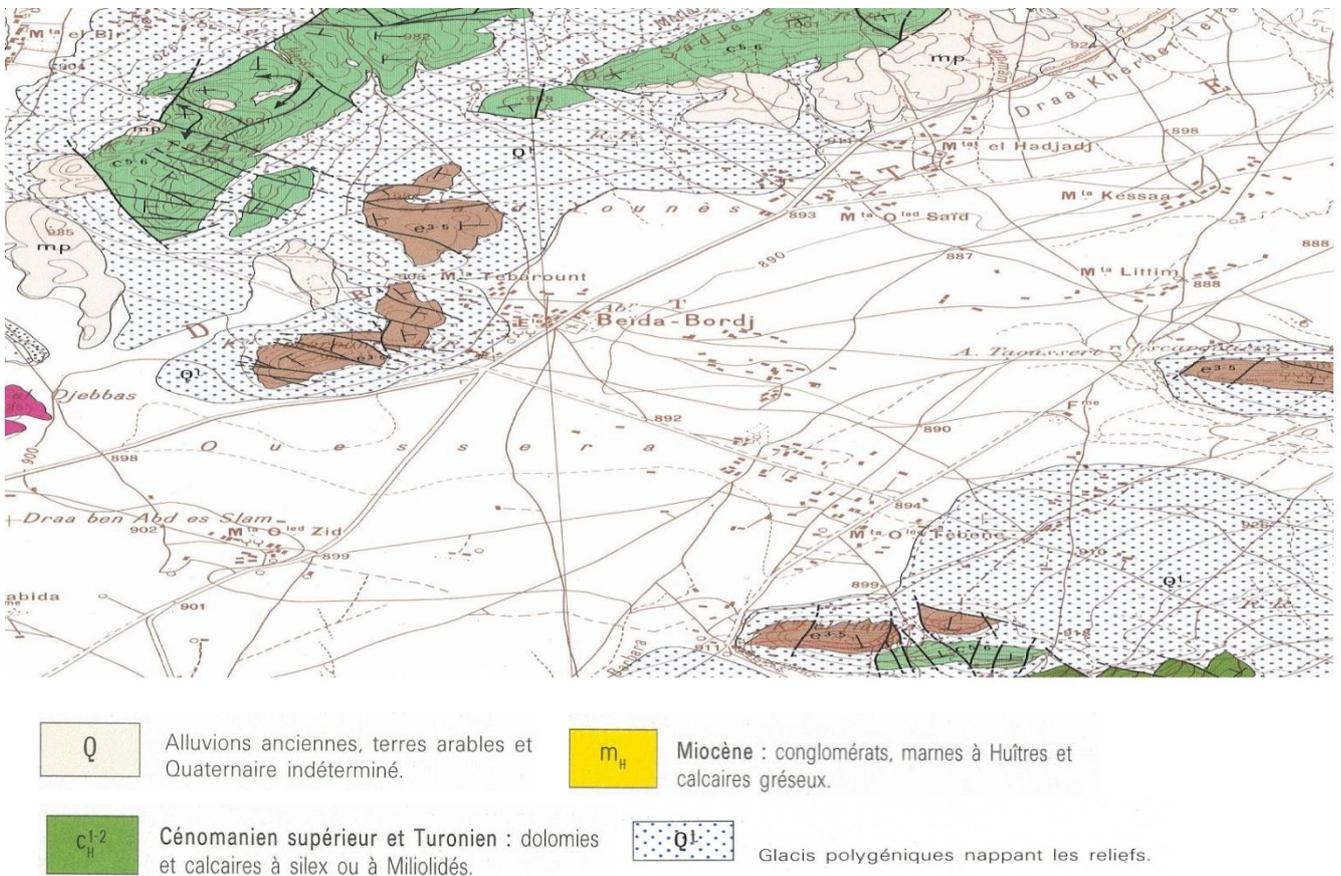


Figure 5 : Carte géologique de la zone d'étude (Source : office national de la géologie).

### 4.3. Formations récente :

- Alluvion anciennes, terres arables et quaternaire indéterminé.
- Glacis polygénique nappant les reliefs.

## Présentation de la zone d'étude

### 4.4. Ensemble Allochtone Sud-Sétifien :

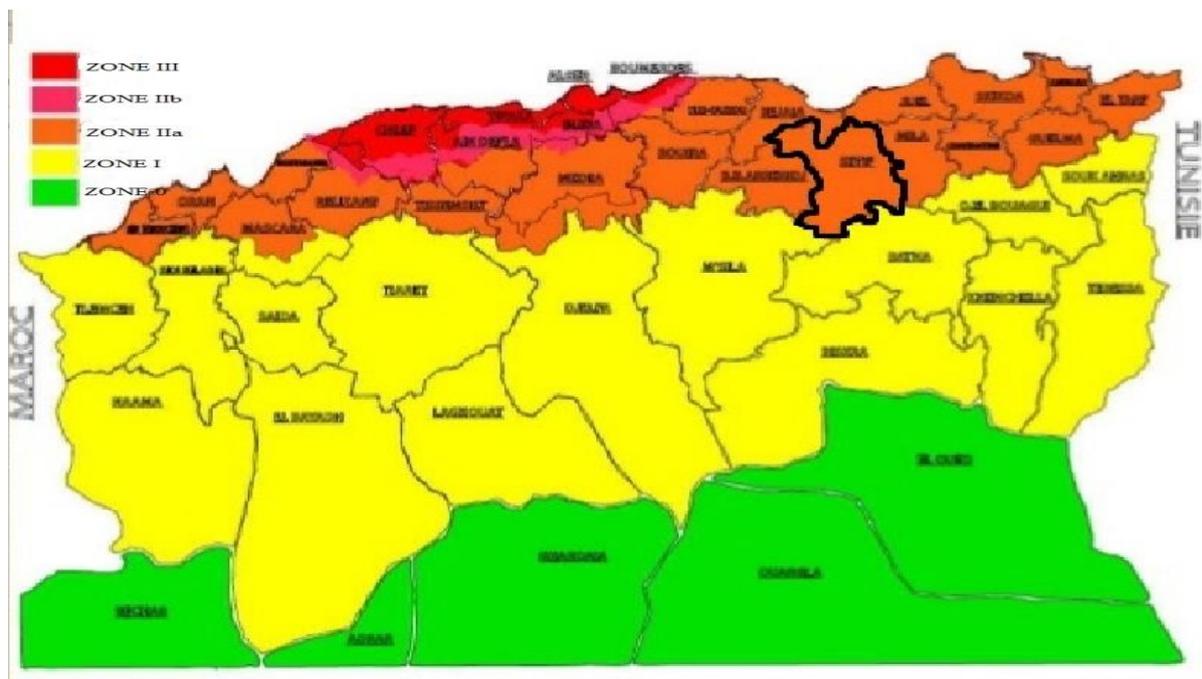
- Miocène: marne jaunes, grès roux, conglomérants .
- Sénonien supérieur : calcaire gréseux roux et biosparites jaunes à orbitoïdes.

Les sols de fondation relatifs au projet sus cite à BAIDA BORDJ sont représentés par des argiles limoneuses et des sols pulvérulents, masqués par une couche de terre arable de 0.40m d'épaisseur.

Du point de vue géotechnique, le sol de fondation montre des résistances en pointe moyennes dès le premier mètre, supérieur à 50bars ; ce qui dénote la bonne capacité portante du sol support. Les valeurs de la contrainte admissible sont de (1.5-2,5) bars pour le sol pulvérulent rencontré.

### 5. 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 exposée à ce genre de risques.



**Figure 6 :** Carte de zonage sismique du territoire national.  
(Source : Centre National de Recherche appliquée en Génie Parasismique)

## Présentation de la zone d'étude

---

- Zone III : zone d'aléa sismique le plus élevé (intensité maximale) ;
- Zone II a : zone à très fort risque sismique ;
- Zone II b : zone à fort risque sismique ;
- Zone I : zone à faible risque sismique ;
- Zone 0 : zone à très faible risque sismique.

La région d'étude est située dans la zone II. Elle a connu plusieurs séismes destructeurs (17/02/1949 à Kherrata, 28/07/1974 et 11/07/1975 à Sétif).

Il est impératif de tenir compte de la sismicité régionale avant d'entreprendre toute action de construction dans la région d'étude, pour cela il est indispensable de respecter les normes parasismiques pour la réalisation du projet.

### **Conclusion :**

Après la définition des données concernant notre agglomération du point de vue géographique, topographique, climatologique, et démographique, nous procédons à élaborer une étude qui consiste à aménager l'Oued Metlagh de la ville de Beida Bordj pour protéger l'agglomération de la ville contre les inondations en temps de crues.

# **Chapitre -2-** **Généralités sur les Crues**

## **Introduction :**

Le terme inondation fait référence au débordement d'un cours d'eau, le plus souvent en crue, qui submerge les terrains voisins. Il est souvent étendu aux débordements d'ouvrages artificiels tels que les retenues d'eau ou les réseaux d'assainissement. Les inondations peuvent aussi se produire en amont des crues d'eau, suite à la génération de quantités importantes de ruissellement au niveau des terres cultivées par exemple. Ce ruissellement donne alors lieu à une inondation boueuse. Ce sont les catastrophes naturelles qui produisent le plus de dégâts.

Les eaux de surface issues d'un bassin versant se concentrent dans le réseau hydrographique, sous certaines conditions météorologiques ou hydrologiques, peuvent se submerger ou contourner les ponts, emporter des ouvrages de franchissement et transporter ou déposer des matériaux dans le lit principal. Les eaux peuvent également déborder dans la zone inondable et emporter des habitations, des usines et des routes dans cette zone. Outre les dégâts engendrés le long du lit principal, les eaux de crue érodent aussi des terres végétales de qualité. Enfin, pire que tout, se sont une menace pour la vie humaine.

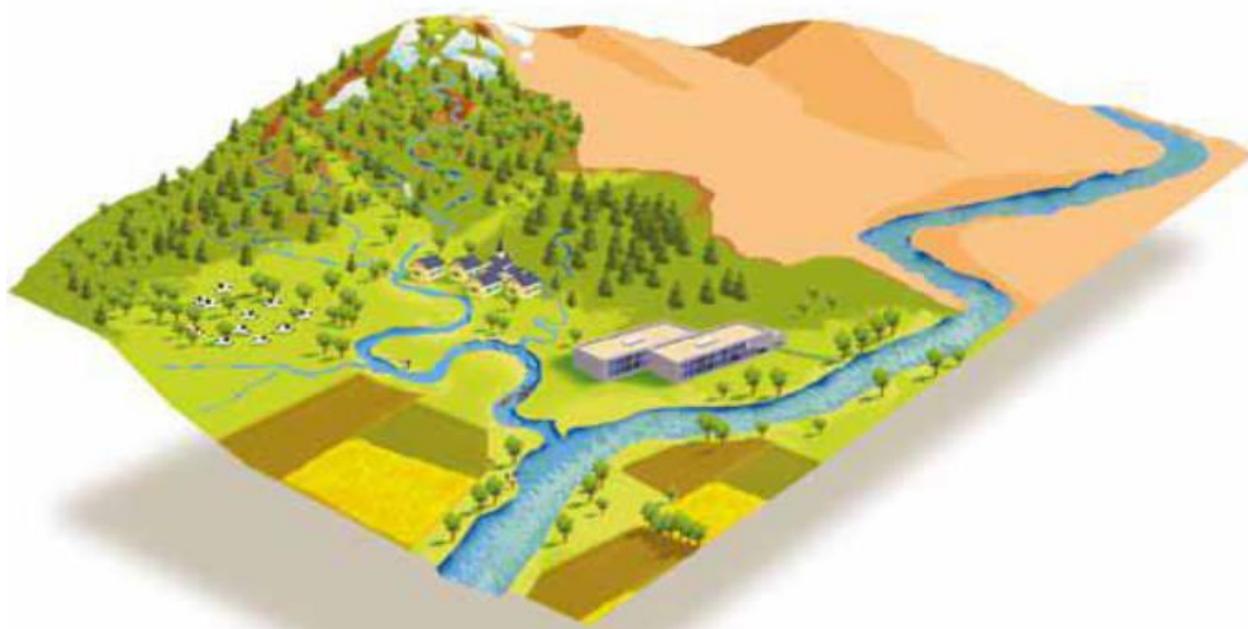
## **1. Crue :**

### **1.1. Définition :**

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

### 1.2. Processus de formation :

Sur un bassin versant, la fraction de pluie qui n'a pas été évaporée ou infiltrée, ruisselle sur le terrain. Cette eau de ruissellement rejoint le réseau hydrographique par des filets d'eau qui se regroupent et parviennent à un collecteur plus important. Au cours de ce parcours, chaque mouvement d'eau dépend des conditions de l'averse et de la nature physique du bassin. Quand l'intensité de la pluie est importante, les sols sont rapidement saturés et imperméabilisés. Les temps de réponses et de montée deviennent courts, et on assiste à des crues soudaines et brèves, surtout sur des bassins montagneux.



**Figure 1 :** cours d'eau en absence de crues d'inondation.



**Figure 2 :** cours d'eau et inondation des alentours.

### 1.3. Caractérisation du phénomène de crue :

Une crue est une augmentation rapide et temporaire du débit d'un cours d'eau. Elle est caractérisée par quatre paramètres :

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

### 1.4. Éléments descriptifs d'une crue :

Une crue est décrite par quatre éléments qui sont :

- **Temps de concentration** : durée nécessaire à la goutte d'eau tombée au point le plus éloigné du bassin pour atteindre l'exutoire.
- **Pointe de crue** : puissance de la crue et durée de la période critique.
- **Courbe de tarissement** : retour de la rivière au niveau antérieur à la crue.
- **Fréquence de retour** : une crue centennale a, chaque année, une chance sur cent (1/100) de se produire.

### 1.5. Type des crues :

- **Une crue torrentielle (rapide)** : a un temps de montée compris entre 2 et 12 Heures et se produit sur un bassin versant assez grand ou lors d'intensité Pluviométrique moins forte.
- **Une crue lente** : a un temps de montée supérieur à 12 heures et se produit sur un grand bassin versant sur les fleuves et les grandes rivières.
- **Une crue-éclair** : a un temps de montée très court, inférieur à quelques heures et se produit sur un petit bassin versant, ce phénomène est fréquent dans les régions montagneuses où le ruissellement des eaux vers les vallées est très rapide. La pluie peut se produire loin de la zone inondée car elle est le résultat de la concentration de l'eau tombant sur le bassin hydrique vers le point le plus bas (*Marcio, 1990*).

### 1.6. Conséquences des crues selon leur type :

A gravité égale en terme de hauteur atteinte par l'eau, il est beaucoup plus facile dans le cas des crues lentes de prendre des mesures d'information préventive, d'alerte et d'évacuation, nous l'avons déjà signalé.

---

## Généralités sur les crues

---

- **Les crues rapides** provoquent des débordements brutaux avec des conséquences plus graves pour les personnes qui peuvent être surprises et emportées. L'expérience montre que les victimes sont pour la plupart des personnes emportées dans leur voiture, soit à cause d'une montée brutale de l'eau, soit à cause d'une imprudence. Il ne faut jamais traverser une zone inondée, même si on croit bien la connaître, car avec seulement 20 cm d'eau, une voiture se met à flotter puis est emportée sans recours possible (*Degoutte, 2006*).
- **Les crues lentes** provoquent rarement des pertes de vie du fait du temps disponible pour réagir, mais elles peuvent entraîner des dégâts psychologiques plus notables que les crues rapides pour lesquelles il n'y a pas de décès. En zone construite, les crues lentes provoquent des dégâts au bâti et au mobilier, mais les crues rapides peuvent en plus emporter tout ou partie des bâtiments, ainsi que les voiries (*Degoutte, 2006*).
- **Les crues rapides** sont également les plus dommageables pour l'agriculture à cause du pouvoir érosif de l'eau. A l'inverse, des crues lentes peuvent aussi poser problème aux cultures et aux prairies lorsque la submersion dure au-delà de 3 à 5 jours, à cause des dépôts de limons, ou du pourrissement des végétaux (*Degoutte, 2006*).

## 2. Inondation :

### 2.1. Définition :

Une inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau. Le risque d'inondation est la conséquence de deux composantes : l'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement ou apparaître et l'homme qui s'installe dans la zone inondable pour y implanter toute sorte de constructions, d'équipements et d'activités. Pour remédier à cette situation, la prévention reste l'outil essentiel, notamment à travers la maîtrise de l'urbanisation en zones inondables.

### 2.2. Caractérisation du phénomène d'inondation :

#### 2.2.1. La période de retour des crues :

La crue correspondant à une augmentation rapide et temporaire du débit d'un cours d'eau, plus cette période est grande plus les débits et l'intensité sont importants on distingue par ordre croissant :

- Crue fréquente : une crue de période de retour inférieur à 2 ans.

## Généralités sur les crues

---

- Crue moyenne : une crue de période de retour de 2 à 10 ans.
- Crue rare : une crue de période de retour de 10 à 100 ans.
- Crue exceptionnelle : au-delà de 100 ans.

### 2.2.2. La hauteur et la durée de submersion :

La hauteur et la durée de submersion peuvent avoir un impact important sur les bâtisses et les personnes notamment lorsqu'elles dépassant la cote de référence qui est d'ordre de 1 mètre pour la hauteur et 24 à 48 heures pour la durée.

### 2.2.3. La vitesse du courant :

La vitesse d'écoulement est conditionnée par la pente du lit et sa rugosité, elle peut atteindre plusieurs mètres par seconde, la dangerosité de l'écoulement dépend du couple hauteur/vitesse.

A titre d'exemple, à partir de 0.50 m/s la vitesse du courant devient dangereuse pour l'homme .

## 2.3. Types d'inondation :

### 2.3.1. Inondations directes (ou de plaine) :

La crue du cours d'eau est lente et progressive (quelques centimètres par heure) provenant de précipitations par intermittence durant plusieurs heures qui finissent par les sols saturer qui ne peuvent donc plus accueillir la moindre précipitation.

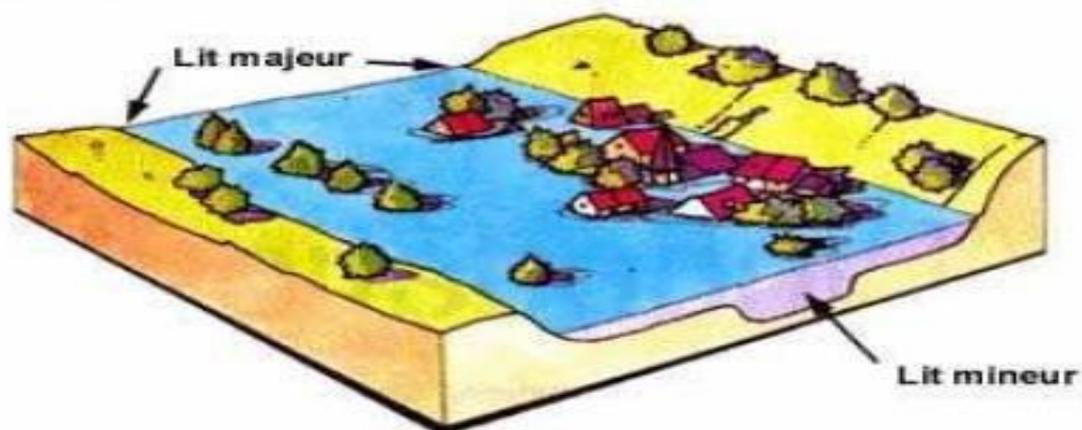
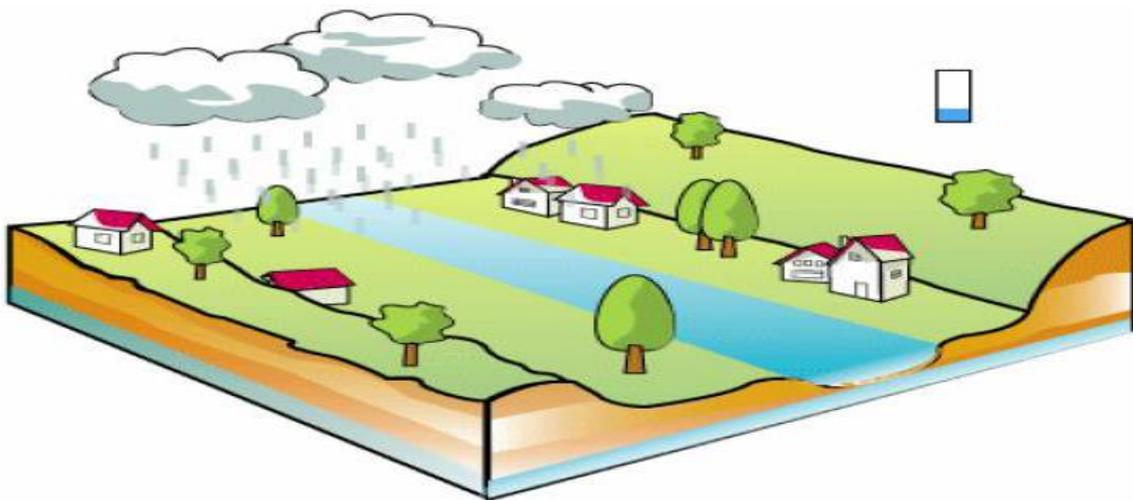


Figure 3 : Débordement directe ou de plaine.

### 2.3.2. Inondations indirectes (ou par crues torrentielles) :

Elles sont issues d'un ou de plusieurs violents orages provoquant une brusque montée des eaux ; dont les eaux remontent par effet de siphon à travers les nappes alluviales et les réseaux d'assainissement.

La remontée des nappes amène elles aussi à cette catastrophe. Cet événement apparaît lorsque l'eau dans la nappe est déjà inhabituellement à un niveau supérieur à sa moyenne, dû éventuellement aux pluies. Cette période, appelée l'étiage, superposée à de nouveaux éléments pluvieux exceptionnels, donnent l'augmentation du niveau de la nappe qui finit par submerger la surface du sol. On assiste alors à une saturation de la zone, c'est l'inondation par remontée des nappes.



**Figure 4 :** Remontée des eaux dans les réseaux d'assainissement ou des nappes dans des points bas localisés.

### 2.3.3. Inondations stagnantes (ou par ruissellement) :

Elles peuvent concerner les zones de stagnation des eaux de pluie, en particulier en zone urbaine, où l'état et la capacité du réseau d'évacuation pluviale sont souvent le facteur déterminant des inondations des quartiers les plus bas ; les zones de dépression qui ne peuvent offrir aux eaux de pluie d'autre exutoire que l'infiltration dans le sous-sol ou l'évaporation ; celles-ci peuvent se trouver inondées sans qu'il existe de relation avec un cours d'eau. Il en est de même pour les zones à pente très faible (cas bien souvent, des zones littorales) où l'évacuation ne peut se faire que très lentement.



**Figure 5 :** Inondations de Bab El Oued 2001.

### **2.3.4. Inondation par rupture d'embâcle :**

Elle consiste en l'obstruction d'un cours d'eau par la constitution d'une digue naturelle entraînant une retenue d'eau importante. La digue peut être constituée soit par des éléments solides arrachés à l'amont et charriés par le cours d'eau, soit par l'obstruction du cours d'eau provoquée par un glissement de terrain. La lame déversant et l'affouillement de la masse obstruant le cours d'eau provoquent la rupture brutale de la digue ainsi que la propagation d'une onde de crue destructrice, onde de crue d'autant plus importante que le volume de la retenue et la hauteur de la digue avant sa rupture étaient importants.



**Figure 6 :** Inondation par rupture d'une protection.

### 2.3.5. Inondation par remontées de nappe :

Elles correspondent à une inondation par débordement indirect, elles se manifestent par

la remontée de la nappe phréatique et affluant en surface et/ou par l'intrusion de l'eau dans les différents réseaux d'assainissement, ce phénomène concerne particulièrement les terrains bas ou mal drainés et peut perdurer.



**Figure 7 :** inondation par la remontée de nappe.

## 2.4. Causes et conséquences des inondations :

### 2.4.1. Les causes des inondations :

Les risques d'inondation sont dus à l'interaction complexe de plusieurs composantes, c'est le produit de la concomitance de facteurs naturels et anthropiques.

#### 2.4.1.1. Les facteurs naturels :

- Les pluies, les pentes.
- Lithologie et morphométrie des bassins versant.
- Couvert végétale et morphologie de lit.

#### 2.4.1.2. Les facteurs anthropiques :

- Urbanisation sauvage favorisé par des constructions sur les lits d'oueds.
- Déforestation.
- Absence de curage des oueds.
- Absence d'entretien d'avaloirs et les fossés le long des routes.
- Absence d'endiguement des oueds notamment dans les zones urbanisées.
- Lâchers effectués à partir des barrages pour préserver l'ouvrage.

### 2.4.2. Conséquences des inondations :

Elles affectent les personnes, les communications, les biens et les activités mais aussi le milieu naturel.

- La mise en danger des personnes survient surtout lorsque les délais d'évacuation sont trop courts ou inexistantes pour des crues rapides ou torrentielles sans exclure les crues de plaines. Dans les espaces urbanisés (constructions au bord d'oueds) la population exposée peut être très importante. Le danger se traduit par le risque d'être emporté ou noyé mais aussi par l'isolement sur des îlots coupés de tout accès, généralement les hauteurs d'eau supérieures à 1 mètre ou des vitesses de plus de 0.50 m/s sont dangereuses pour l'homme.
- L'interruption des communications se manifeste par la coupure des routes et des voies.
- Ferrées, la perturbation des réseaux enterrés ou de surface.
- Les dommages aux biens et aux activités révèlent différentes formes. Ils touchent essentiellement les biens mobiliers et immobiliers. À côté des dommages évidents (habitats, pertes agricoles, machines endommagées), d'autres sont souvent peu connus (infrastructures d'équipement, impossibilité d'être ravitaillé, chômage technique, perte d'activité). mais aussi les activités agricoles sont généralement les plus touchées, par l'endommagement des ouvrages, les pertes agricoles...etc.

### 3. Exemples des inondations :

#### 3.1. Inondations dans le monde :

- **France (janvier 2002) :** Vosges, Lorraine, Moselle, Haute-Marne. 180 personnes touchées, 60 familles évacuées ; plusieurs autoroutes et voies secondaires fermées.

- **Fédération de Russie (2002) :** Krasnodar, Temryouk, Anapa, Slavianka. Un mort ; 3000 personnes touchées. Le montant des dommages s'est élevé à 65 millions de dollars des États-Unis. Le dégel qui a suivi une période de froid intense a entraîné des inondations qui ont partiellement inondé plus de 1000 habitations, recouvert 75 000 hectares, dont 50 000 hectares de terres agricoles, et causé plus de 2 milliards de roubles de dégâts matériels.

- **Belgique (2002) :** 600 personnes touchées. Les crues qui ont suivi de fortes pluies

ont touchées de 200 habitations.

- **Italie (juin 2002)** : Région du Frioul-Vénétie Julienne, Val d'Aoste, Piémont. Aucune personne n'a été touchée. De forts orages ont inondé les routes, détruit des ponts, et, à Venise, l'eau a atteint des niveaux record.

### 3.2. Inondations en Algérie :

- **Azazga (Tizi Ouzou)** : le 12 octobre 1971, et qui ont occasionné 40 morts et des centaines d'habitations détruites.

- **Tizi Ouzou** : du 28 au 31 mars 1974, et qui ont provoqué 52 décès, 18000 sinistrés et des dégâts évalués à l'époque à 27 millions de DA.

- **Annaba** : le 11 novembre 1982, au niveau du centre-ville et qui ont fait 26 morts et 9500 sinistrés.

- **Jijel** : le 29 décembre 1984, et qui ont occasionné 29 morts et 11000 sinistrés.

- **Bordj Bou Arreridj** : le 23 septembre 1994, et qui ont provoqué 16 décès et des dégâts évalués à 10.000.000 DA.

- **Alger (Bab-El-Oued)** : le 10 novembre 2001, et qui ont fait 710 décès, 115 disparus et 30 milliards de DA de pertes.

- **Ghardaïa** : le 03 octobre 2008. Les récentes inondations qui ont touché la région de Ghardaïa (600 km au sud d'Alger) ont causé des dégâts estimés à près de 250 millions d'euros. Ces intempéries ont fait 34 morts, 89 blessés et un disparu.

### Conclusion :

Les crues et les inondations sont de genèse aléatoire donc difficiles à prévoir. Car elles sont liées à différents phénomènes naturels.

Les inondations ont des conséquences désastreuses sur les villes, c'est pourquoi une meilleure compréhension des causes d'inondation est importante pour la mise en place d'une stratégie de défense.

# **Chapitre-3-** **Etude hydrologique**

## **Introduction :**

L'Hydrologie est la science de la terre qui s'intéresse au cycle de l'eau, c'est à dire aux échanges entre l'atmosphère, la surface terrestre et son sous-sol.

Au titre des échanges entre l'atmosphère et la surface terrestre, l'hydrologie s'intéresse aux précipitations (pluie et neige), à la transpiration des végétaux et à l'évaporation directe de la couche terrestre superficielle.

L'Hydrologie de surface étudie le ruissellement, les phénomènes d'érosion, les écoulements des cours d'eau et les inondations.

L'objectif de l'étude effectuée dans ce chapitre est de présenter, une approche hydrologique afin d'essayer de comprendre le fonctionnement hydrologique et de déterminer les différentes caractéristiques du bassin versant de la ville de Beida Bordj dans le but d'estimer les périodes de retours et de déterminer les débits de crue nécessaire pour la conception des aménagements requis du oued Metlagh qui serviront dans la protection contre les inondations.

## **1. Caractéristiques morphologique du bassin versant :**

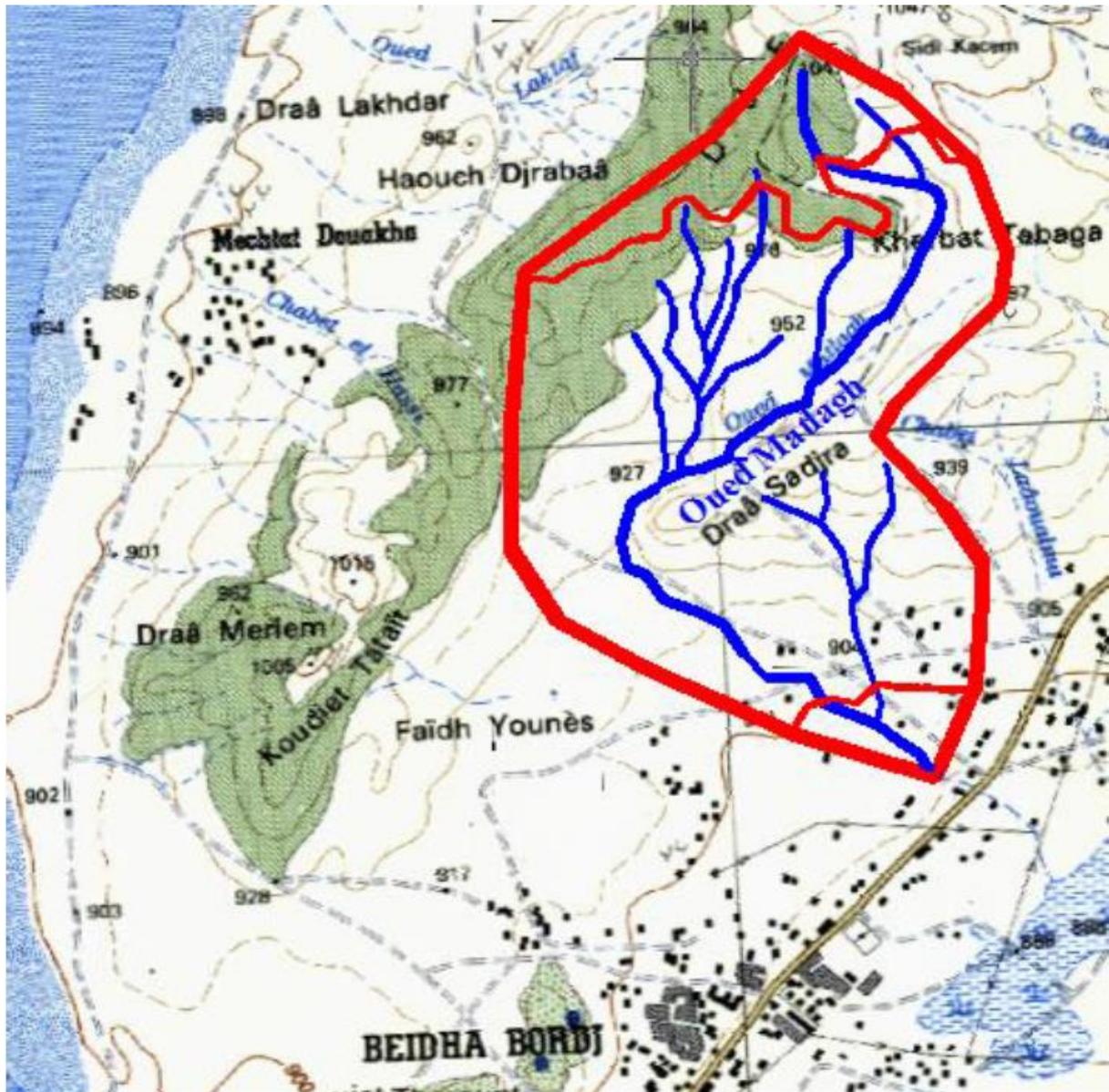
### **1.1.Définition du bassin versant :**

Un bassin versant est un espace géographique dont les apports hydriques naturels sont alimentés exclusivement par les précipitations, et dont les excès en eaux ou en matières solides transportées par l'eau forment, à un point unique de l'espace, un exutoire.

La limite du bassin versant est le lieu géométrique des points les plus élevés qui définissent la ligne de partage des eaux .on parle ainsi d'un bassin versant topographique.

Cependant, lorsqu'un sol perméable recouvre un substratum imperméable, la division des eaux selon la topographie ne correspond pas toujours à la ligne de partage des eaux mais plutôt à celle définie par les plus hautes élévations de la nappe, on parle alors de bassin versant réel ou bassin hydrogéologique.

Pour notre cas notre bassin versant est illustré dans la figure suivante :



**Figure 3.1:** délimitation des bassins versant Oued METLAGH.

## 1.2. Morphométrie :

### 1.2.1. La surface :

La nature des surfaces des bassins a une influence sur le comportement hydrologique de ceux-ci, les paramètres qui interviennent sont la pente, lithologie, la pédologie et la couverture végétale, ces paramètres ont une influence sur la perméabilité et la rugosité de la surface.

La surface est calculée à l'aide d'un logiciel MAPINFO sur lequel on a calé une carte topographique de la zone d'étude.

La superficie du bassin versant est de l'ordre de 5.15 Km<sup>2</sup>.

## 1.2.2. Le périmètre :

Le périmètre correspond à la limite extérieure du bassin. Chaque bassin réagit d'une façon propre aux précipitations qu'il reçoit. Ces caractéristiques hydrologiques sont fonctions d'une part du climat qu'il subit et d'autre part de son pope milieu physique. Le périmètre est estimé à :  $P = 9,4$  km.

## 1.2.3. Indice de compacité de Gravelius $K_c$ :

L'indice de forme  $K_c$ , appelé indice de compacité de Gravelius, est un paramètre indicateur de la forme du bassin versant, il enseigne aussi sur la vitesse de concentration des débits, la puissance des crues et l'importance de l'activité de l'érosion du sol.

Avec :

- $P$  : périmètre du bassin versant (km).
- $A$  : surface du bassin versant ( $Km^2$ ).

Si  $K_c = 1 \Rightarrow$  bassin ramassé

Si  $K_c > 1 \Rightarrow$  bassin allongé ;

Pour notre cas :  $K_c = 1,16$

$K_c = 1,16 > 1$  alors le bassin versant est de forme allongée.

## 1.2.4. Rectangle équivalent :

On suppose que l'écoulement sur un bassin versant donnée est le même que sur un rectangle de même superficie, ayant le même indice de Gravelius, la même répartition hypsométrique, la même distribution des sols et de la végétation et la même densité de drainage.

$$L = \frac{K_c \cdot \sqrt{S}}{1,128} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{K_c} \right)^2} \right) \dots\dots\dots (3.2)$$

$$l = \frac{K_c \cdot \sqrt{S}}{1,128} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{K_c} \right)^2} \right) \dots\dots\dots (3.3)$$

Ou : (L) représente la longueur du rectangle équivalent et (l) sa largeur.

## Etude hydrologique

**Tableau 3.1** : les paramètres hydromorphométriques du bassin versant:

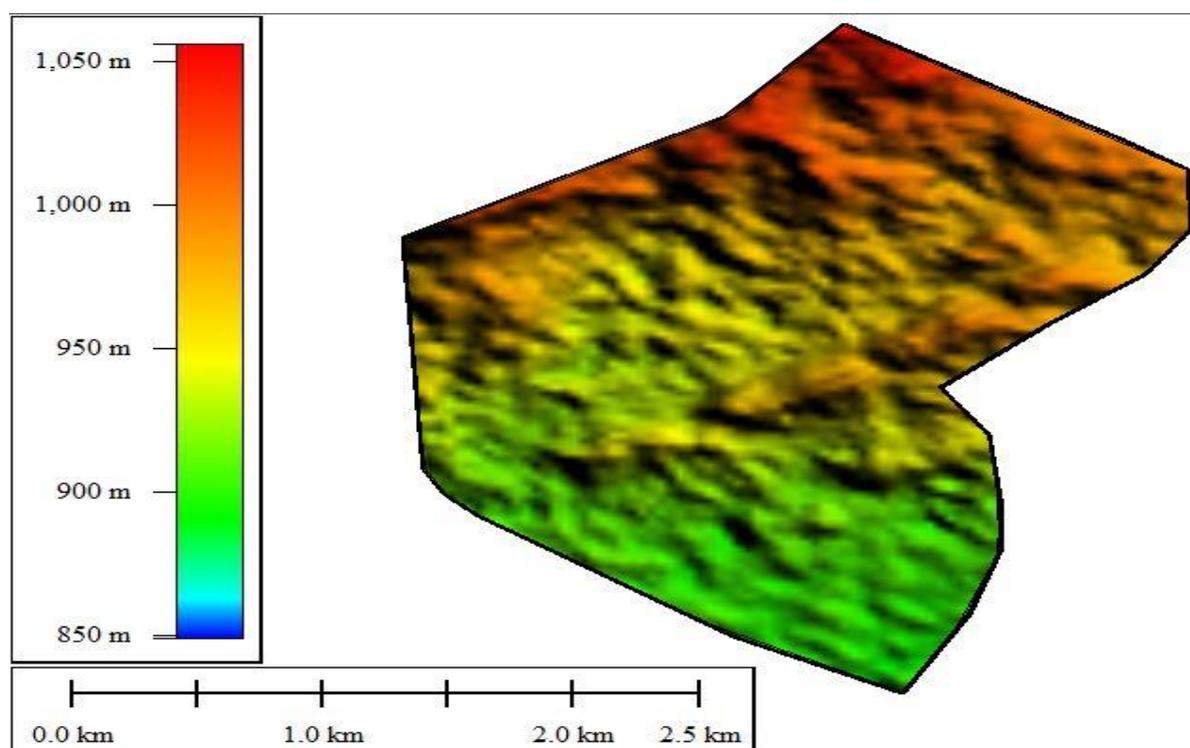
Bassin	S (km <sup>2</sup> ) (surfaces)	P (km) (Périmètre)	K <sub>c</sub>	L (Km)	l (Km)
BV	5,15	9,4	1,16	2,96	2,35

### 1.3. Le relief :

L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitations, températures...etc.) et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices ou de caractéristiques suivantes :

#### 1.3.1. Répartition des surfaces et courbes hypsométriques :

La courbe hypsométrique est établie en calculant pour différentes altitudes situées au-dessus de la courbe de niveau correspondante.



**Figure 3.2** : Le relief du bassin versant.

## 1.3.2. Répartition altimétrique et courbes hypsométriques du bassin versant :

La construction de cette courbe est indispensable dans une étude de relief d'un bassin versant. . Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en ordonnée l'altitude en (m) et en abscisse la surface cumulée en (%).

**Tableau 3.2 :** Surfaces partielles du bassin versant par tranche d'altitude.

Altitude	Surfaces partielles	Surface partielles	Surfaces cumulées
m	Km <sup>2</sup>	%	%
1040 à 1030	0,0934	1,830295904	1,830295904
1030 à 1020	0,1372	2,68861454	4,518910445
1020 à 1010	0,179	3,507740545	8,02665099
1010 à 1000	0,2617	5,128355869	13,15500686
1000 à 990	0,2737	5,36351166	18,51851852
990 à 980	0,5309	10,40368411	28,92220263
980 à 970	0,534	10,46443269	39,38663531
970 à 960	0,3986	7,811091515	47,19772683
960 à 950	0,3146	6,16500098	53,36272781
950 à 940	0,508	9,954928473	63,31765628
940 à 930	0,4525	8,867332941	72,18498922
930 à 920	0,2565	5,026455026	77,21144425
920 à 910	0,4921	9,643347051	86,8547913
910 à 900	0,556	10,89555164	97,75034294
900 à 890	0,1148	2,249657064	100

La courbe hypsométrique formée à partir des données du tableau (3.2) est représentée par la figure (3.3) suivante :

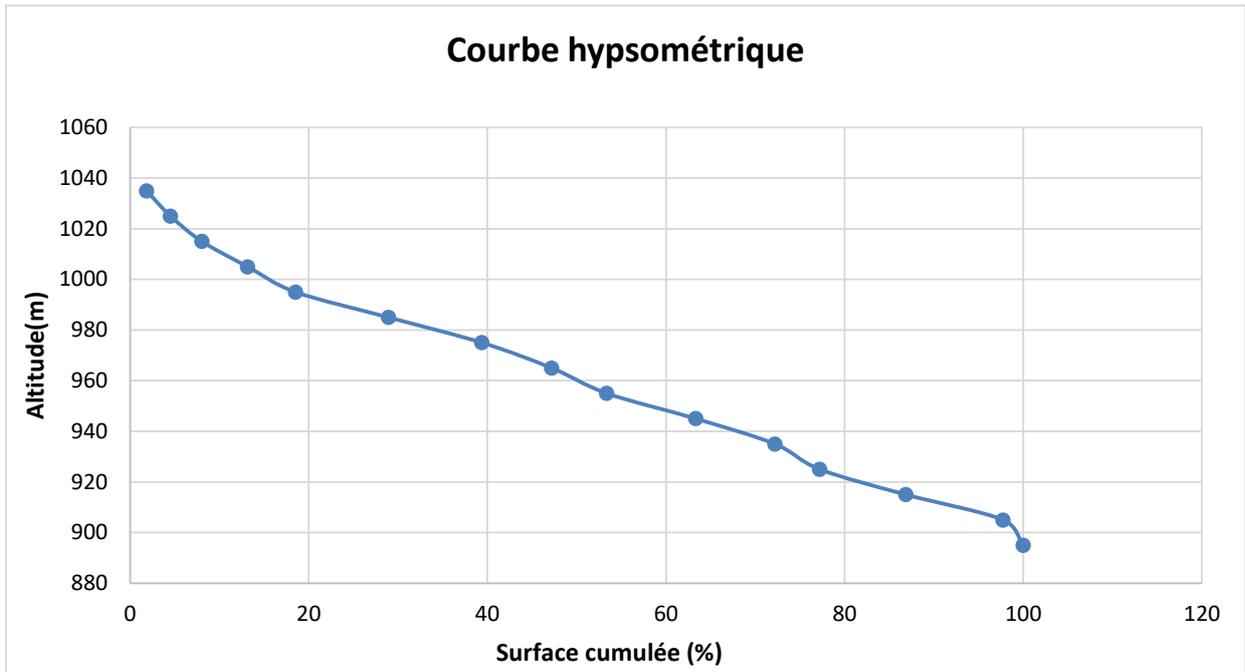


Figure 3.3 : Courbe hypsométrique.

**1.3.3. Les altitudes caractéristiques :**

Elles sont obtenues directement à partir de la carte topographique. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale est le point le plus bas du bassin, généralement c'est à l'exutoire :

$$H_{\max} = 1040 \text{ m NGA} \quad H_{\min} = 890 \text{ m NGA}$$

L'altitude médiane ou « H50% » est déterminée par la courbe hypsométrique :

$$H_{\text{méd}} = 960 \text{ m NGA}$$

L'altitude moyenne « H<sub>moy</sub> » est calculée par la formule suivante :

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot H_i}{S} \dots\dots\dots (3.4)$$

Avec :  $H_i = \frac{H_{n-1} + H_n}{2} \dots\dots\dots (3.5)$

H<sub>i</sub> : Altitude moyenne entre 2 courbes de niveaux consécutives (n-1) et (n), exprimée en (m).

## Etude hydrologique

$S_i$  : Surface partielle comprise entre 2 courbes de niveaux consécutives (n-1) et (n), exprimée en (Km<sup>2</sup>).

$S$  : Surface totale du bassin versant en (Km<sup>2</sup>).

**Tableau 3.3** : Détermination des altitudes moyennes.

Altitude (m)	Hi (m)	Si. Hi (km <sup>2</sup> .m)
1040 à 1030	1035	96,6690
1030 à 1020	1025	140,6300
1020 à 1010	1015	181,6850
1010 à 1000	1005	263,0085
1000 à 990	995	272,3315
990 à 980	985	522,9365
980 à 970	975	520,6500
970 à 960	965	384,6490
960 à 950	955	300,4430
950 à 940	945	480,0600
940 à 930	935	423,0875
930 à 920	925	237,2625
920 à 910	915	450,2715
910 à 900	905	503,1800
900 à 890	895	102,7460
		Total : 4879,61

$$H_{\text{moy}} = \frac{4879,61}{5,15} = 947,50\text{m.NGA}$$

### 1.3.4. Indice de pente globale $I_g$ :

Il définit comme étant le rapport entre l'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface du sous bassin et la longueur de rectangle équivalent.

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

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \dots\dots\dots (3.6)$$

$H_{5\%}$  et  $H_{95\%}$  : sont respectivement les altitudes correspondantes à  $S_{5\%}$  et  $S_{95\%}$ .

$$H_{5\%} = 1025\text{m}$$

$$H_{95\%} = 905 \text{ m}$$

$L=2,96 \text{ km}$  (longueur du rectangle équivalent).

$$I_g = \frac{1025-905}{2960} * 100\% = 4,1\% = 0,04\text{m/m}.$$

**Tableau 3.4** : Classification du relief.

R1	Relief très faible	$I_g \leq 0,002$
R2	Relief faible	$0,002 \leq I_g \leq 0,005$
R3	Relief assez faible	$0,005 \leq I_g \leq 0,01$
R4	Relief modéré	$0,01 \leq I_g \leq 0,02$
R5	Relief assez fort	$0,02 \leq I_g \leq 0,05$
R6	Relief fort	$0,05 \leq I_g \leq 0,1$
R7	Relief très fort	$0.1 \leq I_g$

Pour notre cas :  $I_g=0,04$  donc notre relief d'après le tableau (3.4) est classé type R5 c'est-à-dire un relief assez fort.

### 1.3.5. Pente moyenne du bassin ( $I_m$ ) :

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

$$I_m = \frac{\Delta H (0.5l_1 + l_2 + l_3 + \dots + 0.5l_n)}{S} \dots\dots\dots (3.7)$$

Avec :

$I_m$  : Pente moyenne du bassin versant %.

$\Delta H$  : dénivelée en (m).

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

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

**Tableau 3.5 :** Longueurs correspondantes à chaque courbe de niveau.

Courbes de niveaux	Longueurs (Km)
890	0,890
900	1,496
910	2,472
920	2,511
930	2,936
940	4,087
950	3,661
960	4,186
970	4,923
980	4,338
990	3,280
1000	3,501
1010	2,813
1020	1,682
1030	0,711
1040	0,516

AN :  $I_m=24\%$

**Conclusion :**

Nous pouvons dire que la pente moyenne de notre bassin versant est forte (24%), on assiste, donc, à un écoulement important.

**1.3.6. Dénivelée spécifique (Ds) :**

Elle sert à comparer les indices de pentes du bassin de superficies différentes, d'après la deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M appliquée à tout le bassin quel que soit sa surface. Elle est donnée par la formule suivante :

$$Ds = Ig\sqrt{S} \dots\dots\dots (3.8)$$

Avec :

$I_g$  : Indice de pente globale.

$AN$  :

$$Ds = 287,05 \text{ m}$$

**Tableau 3.6:** Classification O.R.S.T.O.M (type de relief).

	Relief	$Ds \text{ (m)}$
1	Très faible	$<10$
2	Faible	25
3	Assez faible	50
4	Modéré	100
5	Assez fort	250
6	Fort	500
7	Très fort	$>500$

On déduit d'après le tableau précédant que le relief du bassin versant de Metlagh est assez fort.

## 2. Les caractéristiques des écoulements dans les bassins versants :

### 2.1. Densité de drainage :

Ce paramètre est en quelque sorte un reflet de la dynamique du bassin, de la stabilité du réseau hydrographique et du type de ruissellement de surface.

C'est le rapport entre la longueur totale des carneaux d'écoulement (Thalweg) et la surface du bassin versant :

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S} \dots\dots\dots (3.9)$$

Avec :

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

$L_i$  : longueur du talweg en (Km).

$D_d$  : densité de drainage km<sup>-1</sup>.

D'où :

$$D_d = 1 \text{ km}^{-1}.$$

## 2.2. La pente moyenne du cours d'eau principal:

Cet indice est donné par la formule :

$$I_c = \frac{\Delta H}{\Delta L} \dots\dots\dots (3.10)$$

Avec :

Ic: indice de pente moyenne du thalweg principal %.

L : longueur du thalweg principal, L=5.15 (km).

$\Delta H$  : dénivelée entre Hmax et Hmin en (m).

$$I_c = \frac{\Delta H}{\Delta L} = \frac{1040-890}{5150} = 2,9\%$$

## 2.3. Temps de concentration :

Le temps de concentration Tc est la durée maximale nécessaire à une goutte d'eau, tombée au point le plus éloigné du bassin versant, d'arriver à l'exutoire. Il est composé de trois termes différents :

- $T_h$  Temps d'humectation : est le temps nécessaire à l'imbibition du sol par l'eau qui tombe avant qu'elle ne ruisselle.
- $T_r$  Temps de ruissellement : est le temps correspondant à la durée d'écoulement de l'eau à la surface.
- $T_a$  Temps d'acheminement : est le temps mis par l'eau pour se déplacer jusqu'à l'exutoire.

Le temps de concentration est égal au maximum de :

$$T_c = \max [ \Sigma(T_h + T_r + T_a) ] \dots\dots\dots (3.11)$$

-Théoriquement, Tc est la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement.

-Pratiquement, il peut être mesuré sur le terrain ou estimé à l'aide de formules souvent empiriques établies par plusieurs auteurs.

### ➤ Formule de GIANDOTTI :

$$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}} \dots\dots\dots (3.12)$$

Avec :

Hmoy : altitude moyenne m.

S : superficie du bassin versant en Km<sup>2</sup>.

L : longueur du talweg principal en Km.

D'où :

$$T_c = 1,57 \text{ h.}$$

➤ **Formule de KIRPICH :**

$$T_c = 0,945 * \frac{L^{1,155}}{D^{0,385}} \dots\dots\dots (3.13)$$

Avec :

L: longueur du talweg principal Km.

Hmax : altitude maximale du cours d'eau considéré en m.

Hmin : altitude minimale du cours d'eau considéré en m.

D'où :

$$T_c = 1,21 \text{ h.}$$

➤ **Formule de TURAZZA :**

$$T_c = 0,108 * \frac{\sqrt[3]{S * L}}{\sqrt{I}} \dots\dots\dots (3.14)$$

Avec :

S : La surface du bassin versant.

I : Pente moyenne du talweg principal.

L : La longueur du talweg principale.

D'où :

$$T_c = 2,8 \text{ h.}$$

➤ **Formule de VENTURA :**

$$T_c = 0,1272 * \frac{\sqrt[3]{S}}{\sqrt{I}} \dots\dots\dots (3.15)$$

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

Imoy : pente moyenne du talweg principale (m/m).

D'où :

$$T_c = 2,03 \text{ h.}$$

## Etude hydrologique

**\*Remarque :** Parmi les résultats obtenus, nous optons pour le résultat issu de loi de Giandotti car c'est la formule qui tient compte de la majorité des paramètres géomorphométriques du bassin versant.

Donc :  $T_c = 1.57$  h.

### 2.4. vitesse moyenne de ruissellement $V_r$ :

Cette vitesse est donnée par la formule :

$$V_R = \frac{L}{T_c} \dots\dots\dots (3.16)$$

L : Longueur de talweg principal en (Km).

$T_c$  : temps de concentration en (h).

D'où :  $V_r = 3,28$  Km/h.

**Tableau 3.7 :** Caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant.

Caractéristiques		Valeurs
Surface (km <sup>2</sup> )		5,15
Périmètre du bassin(Km)		9,4
Rectangle équivalent	Longueur (km)	2,96
	Largeur (km)	2,35
Altitude maximale (m)		1040
Altitude minimale (m)		890
Altitude moyenne (m)		948
Altitude médiane (m)		960
Indice de pente globale (%)		4
Pente moyenne du bassin versant ( % )		24
Densité de drainage (km /km <sup>2</sup> )		1
Dénivelée spécifique (m)		287
Pente moyenne du cours d'eau (%)		2,9
Longueur du cours d'eau principal (km)		5,15
Indice de compacité de Gravelius		1,16
Temps de concentration (h)		1,57
Vitesse moyenne de ruissellement (km /h)		3,28

## 3. Analyse des données pluviométriques :

### 3.1. Pluie moyenne annuelle :

Dans le but d'analyser les précipitations dans notre bassin versant, notre étude sera basée sur les données enregistrées au niveau de la station pluviométrique de Ain Azel (la station la plus proche de la zone d'étude).

Les caractéristiques de la station pluviométrique sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau 3.8 :** Coordonnées de la station pluviométrique de Ain Azel.

Code	Source	Coordonnées			Années	N
		X(km)	Y(km)	Z(m)		
150601	A.N.R.H	742	328,6	1030	1983-2014	31

### 3.2. Pluies maximales journalières :

L'estimation des pluies journalières est souvent la génératrice de crues exceptionnelles. Pour cela, il est important d'effectuer un ajustement statistique d'une loi théorique à la série d'observations afin de déterminer les précipitations maximales journalières fréquentielles.

**Tableau 3.9 :** Série de pluies maximales journalières [1983-2014].

<i>Année</i>	<i>Pj max (mm)</i>	<i>Année</i>	<i>Pj max (mm)</i>	<i>Année</i>	<i>Pj max (mm)</i>
<i>1983</i>	<i>6</i>	<i>1994</i>	<i>27.9</i>	<i>2005</i>	<i>19</i>
<i>1984</i>	<i>52</i>	<i>1995</i>	<i>33.8</i>	<i>2006</i>	<i>40.9</i>
<i>1985</i>	<i>28.4</i>	<i>1996</i>	<i>26.5</i>	<i>2007</i>	<i>40</i>
<i>1986</i>	<i>57.6</i>	<i>1997</i>	<i>26.6</i>	<i>2008</i>	<i>21.5</i>
<i>1987</i>	<i>52.2</i>	<i>1998</i>	<i>20.03</i>	<i>2009</i>	<i>24.2</i>
<i>1988</i>	<i>29.4</i>	<i>1999</i>	<i>20.4</i>	<i>2010</i>	<i>27.4</i>
<i>1989</i>	<i>62</i>	<i>2000</i>	<i>38.4</i>	<i>2011</i>	<i>33.8</i>
<i>1990</i>	<i>43</i>	<i>2001</i>	<i>16.8</i>	<i>2012</i>	<i>27.8</i>
<i>1991</i>	<i>50</i>	<i>2002</i>	<i>41</i>	<i>2014</i>	<i>52.2</i>
<i>1992</i>	<i>31.7</i>	<i>2003</i>	<i>35</i>		
<i>1993</i>	<i>25.8</i>	<i>2004</i>	<i>40</i>		

### 3.3. Les précipitations maximales journalières :

Cette étude a permis d'ajuster la série de données des précipitations maximales journalières par une loi théorique afin de déterminer une intensité de pluie correspondant à une période de retour donnée.

Pour notre étude on passe par les étapes suivantes :

1. Classer la série des précipitations par ordre croissant ;
2. Calcul des caractéristiques empiriques de la série de données ;
3. Calcul de la fréquence expérimentale ;
4. Ajuster graphiquement la loi choisie ;
5. Calculer le quantile et son intervalle de confiance ;

NB : notre travail est basé sur le logiciel « hyfran ».

### 3.3.1. Caractéristiques de la série des $P_{\max, j}$ (31 ans) :

- **La moyenne arithmétique "X"**

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{31} x_i}{n} ; \quad \text{AN: } \overline{X} = 34,2 \text{ mm}$$

- **La variance**

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^{31} (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} ;$$

- **L'écart type**

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2} ; \quad \sigma_x = 13,1$$

- **Coefficient de variation :**

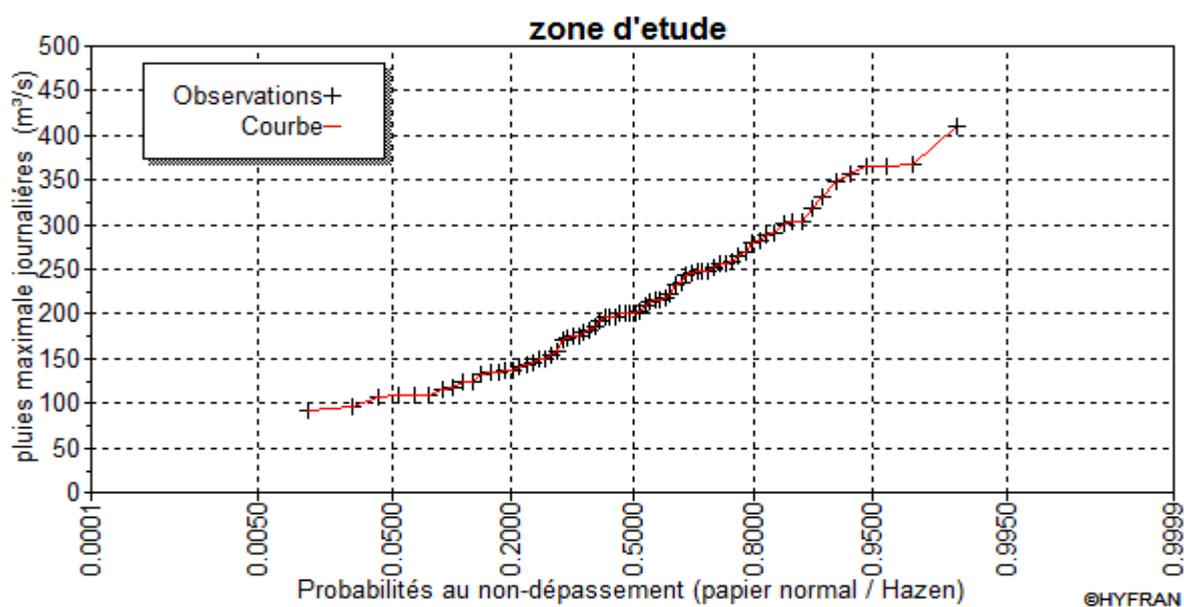
$$Cv = \frac{\sigma_x}{\bar{X}}$$

- **Coefficient de symétrie :**

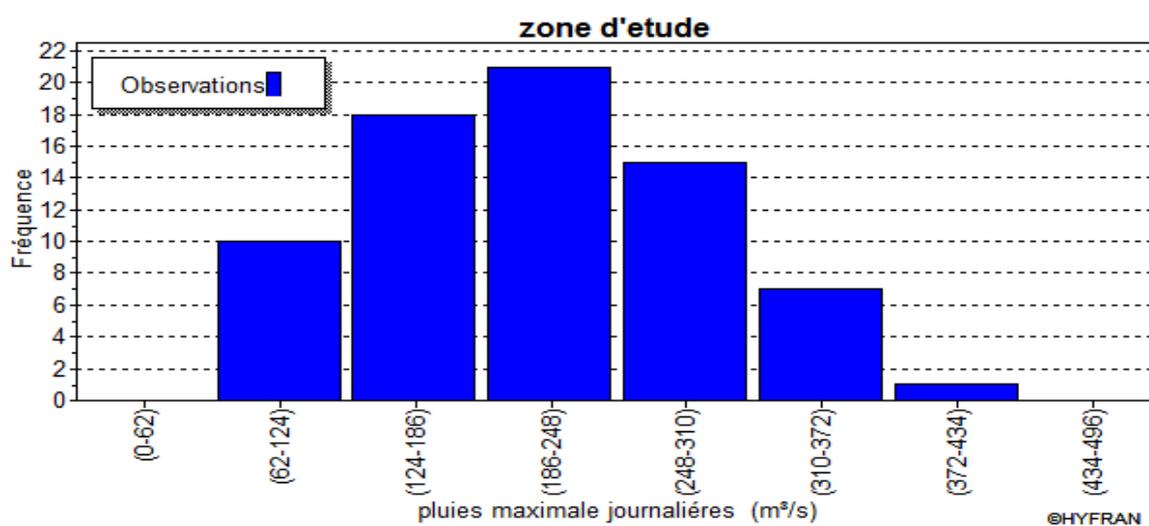
$$Cs = \frac{\sum_{i=1}^{31} (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)\tau^3}$$

**Tableau 3.10 :** Caractéristiques statistiques.

Nombre d'observations	31
La moyenne des $P_{maxj}$ en (mm)	34,2
Ecart type	13,1
Coeff de variation Cv	0.385
Coeff d'asymétrie Cs	0.233



**Figure 3.4 :** Observation de sur papier de probabilité.



**Figure 3.5 :** Histogramme d'observations classées par valeur.

### 3.4. Choix de la loi de l'ajustement :

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

Dans notre étude on va utiliser les deux lois suivantes :

- 1) la loi de GUMBEL.
- 2) la loi de GALTON (log-normal).

#### 3.4.1. Vérification de l'homogénéité de la série :

La vérification de l'homogénéité de la série est indispensable avant de passer à l'ajustement.

##### ❖ Test d'homogénéité : Test de la médiane.

Qu'est ce que l'homogénéisation des données?

Pour répondre à cette question qui n'est pas aussi simple que l'on croit, il faut prendre en considération l'importance des dégâts que l'on peut avoir suite à une information fautive appliquée par un ingénieur pour dimensionner un ouvrage hydrotechnique.

L'homogénéisation des données est une analyse statistique de l'information aidant à une prise de décision conséquente. Elle consiste :

- La détection des anomalies dans les séries hydrologiques,
- La correction de ces anomalies par des méthodes appropriées,
- L'extension des séries hydrologiques courtes à partir de la série de base homogène.

Pour notre série on utilise le test de la **médiane**. Ce test permet de vérifier si la série de données est homogène ou pas.

1. Classer la série par ordre croissant,
2. La médiane **M** est une constante de telle sorte que 50% des  $x_i$  lui soient inférieurs et 50%

des  $x_i$  lui soient supérieurs,

3. Remplacer la série non classée par une suite de signes :

(+) pour les  $x_i > \mathbf{M}$

(-) pour les  $x_i < \mathbf{M}$

4. Calculons les quantités  $N_S$  et  $T_S$  avec :

$N_S$ : nombre total de série (+) ou (-)

## Etude hydrologique

---

$T_s$ : nombre de la plus grande série de (+) ou (-) successive.

$$N_s > \frac{1}{2} (N + 1 - u_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sqrt{N + 1})$$

$$T_s < 3.3 (\log_{10}(N) + 1)$$

**Tableau 3.11:** Calcule du test de la médiane.

années	Valeurs du départ	Valeurs classées	Ordre du classement
1983	6-	6	1
1984	52+	16,8	2
1985	28,4-	19	3
1986	57,6+	20,03	4
1987	52,2+	20,4	5
1988	29,4-	21,5	6
1989	62+	24,2	7
1990	43+	25,8	8
1991	50+	26,5	9
1992	31,7-	26,6	10
1993	25,8-	27,4	11
1994	27,9-	27,8	12
1995	33,8+	27,9	13
1996	26,5-	28,4	14
1997	26,6-	29,4	15
1998	20,03-	31,7	16
1999	20,4-	33,8	17
2000	38,4+	33,8	18
2003	16,8-	35	19
2004	41+	38,4	20
2003	35+	40	21
2004	40+	40	22
2005	19-	40,9	23
2006	40,9+	41	24
2007	40+	43	25
2008	20,5-	50	26
2009	24,2-	52	27
2010	27,4-	52,2	28
2011	33,8+	52,2	29
2012	27,8-	57,6	30
2014	52,2+	62	31

$$N_s > \frac{1}{2} (N + 1 - u_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sqrt{N + 1}) = 10,46.$$

$$T_s < 3.3 (\log_{10}(N) + 1) = 8,22.$$

Avec :  $\alpha = 5\%$       $u_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1,96$

A partir du tableau et les calculs effectués on a obtenus :

$$N_s = 18 > 10,46$$

$$T_s = 4 < 8,22$$

Donc elles sont vérifiées.

### 3.4.2. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL :

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

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \dots\dots\dots (3.16)$$

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

1/a : la pente de la droite de GUMBEL ;

y : variable réduite de GUMBEL ;

x : précipitation maximale journalière (mm) ;

x<sub>0</sub> : ordonnée à l'origine en (mm) ;

On peut écrire :  $y = -\ln(-\ln(F(x)))$ .

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

- classer les valeurs des précipitations par ordre croissant avec attribution d'un rang 1.2.3...n.
- calculer pour chaque valeur de précipitation la fréquence expérimentale par la formule de HAZEN.

$$F(x) = \frac{m - 0.5}{N} \dots\dots\dots (3.17)$$

**m** : rang de précipitation ;

**n** : nombre d'observations(31) ;

- calculer la variable réduite de *GUMBEL* donnée par la formule suivante :

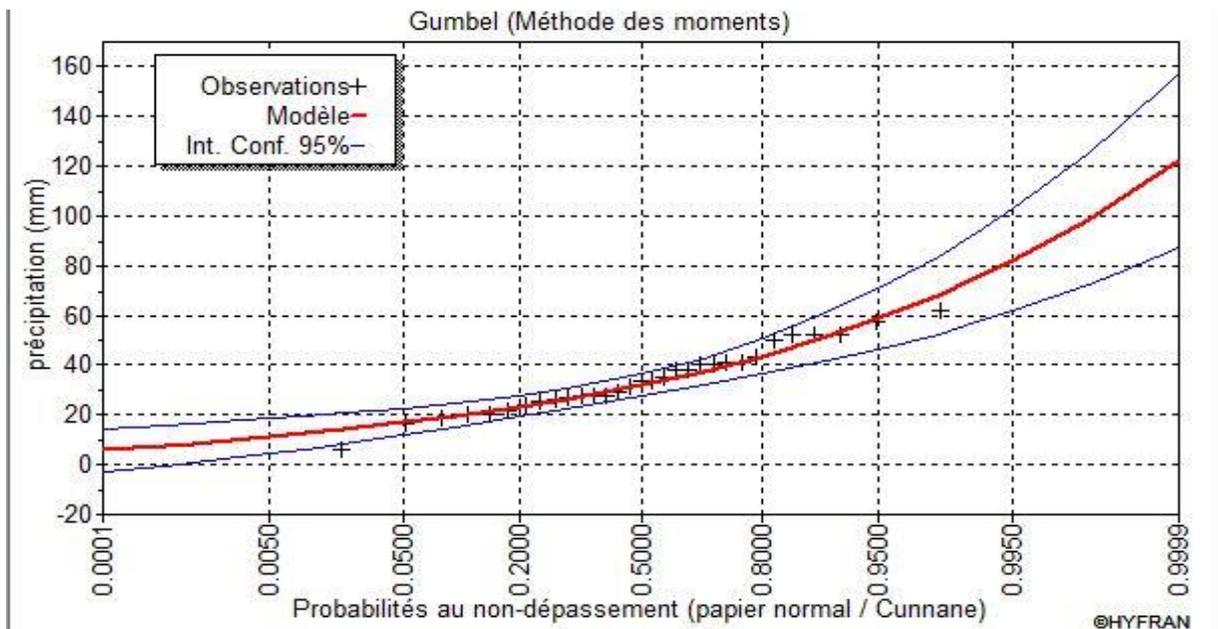
$$y = -\ln(-\ln(F(x))) \dots\dots\dots (3.18)$$

## Etude hydrologique

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de GUMBEL sont représentées dans le tableau (3.12) suivant :

**Tableau 3.12 :** Résultats de l'ajustement à la loi de GUMBEL.

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance
1000.0	0.9990	98.8	13.6	72.2 - 125
200.0	0.9950	82.4	10.5	61.7 - 103
100.0	0.9900	75.3	9.22	57.2 - 93.3
50.0	0.9800	68.1	7.91	52.6 - 83.7
20.0	0.9500	58.6	6.20	46.5 - 70.8
10.0	0.9000	51.3	4.90	41.7 - 60.9
5.0	0.8000	43.6	3.63	36.5 - 50.8
3.0	0.6667	37.6	2.74	32.2 - 42.9
2.0	0.5000	32.1	2.16	27.9 - 36.3



**Figure 3.6 :** Graphique de l'ajustement à la loi de Gumbel.

### 3.4.3. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON :

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

$$F(X) = \int_{-\infty}^u \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\mu^2}{2}} .d\mu \quad \dots\dots\dots (3.19)$$

Ou :

- $u = \frac{\text{Ln } X_i - \text{Ln } \bar{X}}{\delta_{\text{Ln } X}}$  (variable réduite de gaussie)
- $\bar{X}$  : La moyenne de l'échantillon

L'équation de la droite de GALTON est la suivante :

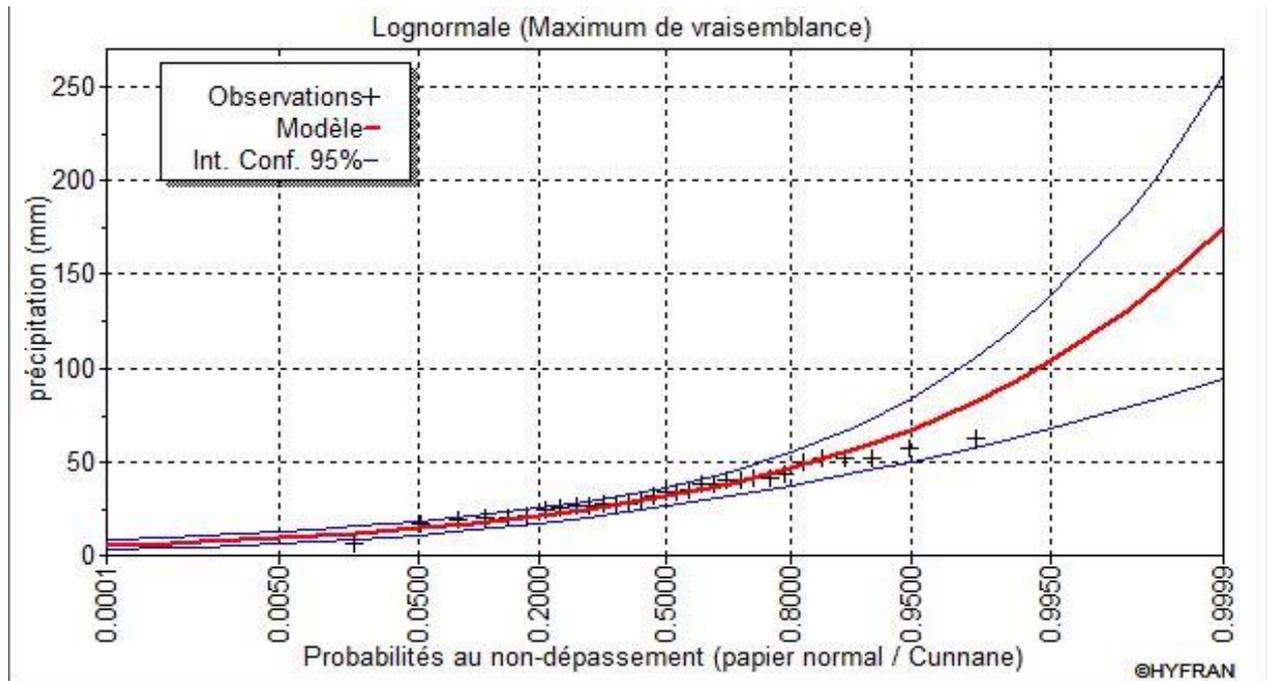
$$\text{Log } x(p \%) = \overline{\text{Log } x} + \delta \cdot \text{Log } u(p \%).$$

$$\text{Log } X = \frac{\sum_{i=1}^{30} \text{Log } X_i}{N}$$

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de GALTON sont représentées dans le tableau (3.13) suivant :

**Tableau 3.13** : Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON.

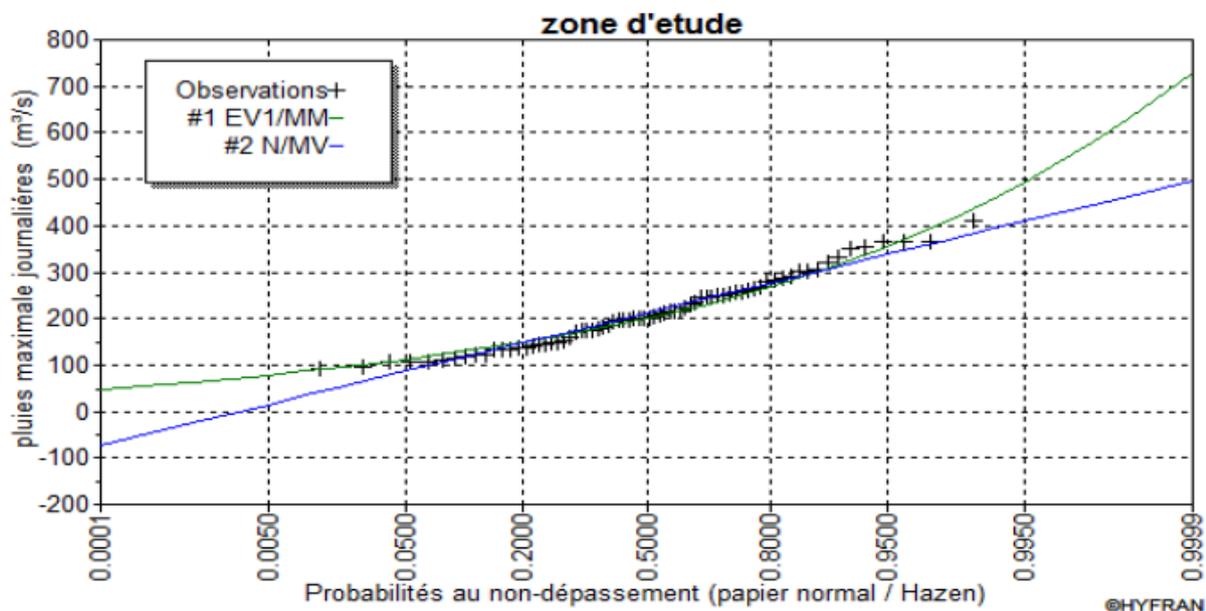
1000.0	0.9990	131	26.5	79.0 - 183
200.0	0.9950	103	18.0	67.9 - 139
100.0	0.9900	92.0	14.9	62.8 - 121
50.0	0.9800	81.1	12.0	57.6 - 105
20.0	0.9500	67.2	8.63	50.2 - 84.1
10.0	0.9000	56.8	6.41	44.2 - 69.3
5.0	0.8000	46.3	4.49	37.5 - 55.1
3.0	0.6667	38.3	3.33	31.8 - 44.8
2.0	0.5000	31.4	2.61	26.3 - 36.5



**Figure 3.7 :** Graphique de l'ajustement à la loi Lognormale(Galton).

### 3.4.4. Comparaison entre deux lois d'ajustement :

La figure suivante montre la comparaison entre les deux lois d'ajustement. (Loi de Gumbel, loi de Galton).



**Figure 3.8 :** Comparaison entre les deux lois d'ajustement.

**Remarque :** En se référant aux graphes obtenus, par ces deux lois, celui de **Gumbel** et **Galton**, nous remarquerons que l'ajustement issu de la loi de **Gumbel** est le meilleur, du moment que la position des données expérimentales est plus proche de la droite théorique.

### 3.5. Pluies de courte durée :

Les pluies de courte durée ont été calculées sur la base des données relatives aux pluies Journalières maximales en utilisant la loi régionale intensité –durée- fréquence, qui s’exprime Par la relation de boddy :

$$P_{ct, p\%} = P_{\max, j} \left( \frac{t}{24} \right)^b \dots\dots\dots (3.20)$$

Avec :

t : durée de l’averse.

b : exposant climatique ; b = 0. 29 selon les études régionales.

Les intensités maximales de période t (h) et période de retour T (ans) sont calculées par la relation suivante :

$$I_t = \frac{P_{ct}}{t} \dots\dots\dots (3.21)$$

Avec :

I : l’intensité maximale de période t (h) ;

Pct: Pluies de courte durée (mm),

It : Intensité maximale (mm/h).

Les précipitations et les intensités maximales pour différentes durées sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau 3.14 : Pluies et intensités maximales de durée t (h) et de période retour.**

Fréquences (%)	0,1	1	2	5	10
Période de retour	1000	100	50	20	10
Ptc (mm)	51,66	33,96	30,73	26,43	23,10
It (mm/h)	33,00	21,69	19,63	16,88	14,75

## 4. Les apports :

### 4.1. Apports liquides :

#### 4.1.1. Apport moyen interannuel :

A défaut de toute donnée hydrométrique dans les différents bassins versants, l'apport moyen interannuel sera estimé par l'utilisation des formules empiriques suivantes :

➤ **Formule de SAMIE :**

$$A = L_e \cdot S \quad \dots\dots\dots (3.22)$$

$$L_e = P^2 (293 - 2.2\sqrt{S}) \quad \dots\dots\dots (3.23)$$

Pmoy : pluie moyenne annuelle (m).

S : superficie de bassin (Km<sup>2</sup>).

Le : lame d'eau écoulé (mm).

**A.N:**

$$L_e = 0,407^2 (293 - 2,2 * \sqrt{5,15}) = 47,71 \text{ mm}$$

$$A_0 = 0,25 \text{ Mm}^3$$

➤ **Formule de DERY II :**

$$A = 0,513 * P^{2,683} * S^{0,842} * D_d^{0,5} \quad \dots\dots\dots (3.24)$$

Pmoy : pluie moyenne annuelle (m).

S : superficie de bassin (Km<sup>2</sup>).

Dd : densité de drainage (km<sup>-1</sup>).

**A. N:**

$$A_0 = 0,18 \text{ Mm}^3$$

➤ **Formule de MEDINGER :**

$$L_e = 1.024 (P - 0.26)^2 \quad \dots\dots\dots (3.25)$$

$$A = L_e \cdot S$$

**AN:**

$L_e = 23 \text{ mm}$

$$A_0 = L_e \cdot S = 0,12 \text{ Mm}^3$$

➤ **Formule de Mallet – Gauthier :**

$$L_e = 0,6 \cdot P \left( 1 - 10^{-0,36 \cdot P_{\text{moy}}^2} \right) \dots\dots\dots (3.26)$$

$$A = L_e \cdot S$$

P : Pluie moyenne en [m].

$L_e$  : Lamme d'eau écoulée en [mm].

**A.N:**

$$L_e = 31 \text{ mm} \quad \text{et} \quad A_0 = L_e \cdot S = 0,16 \text{ Mm}^3$$

➤ **Formule de l'ANRH :**

L'apport moyen interannuel est donnée par:

$$A_0 = 0,915 \cdot \bar{P}^{2,684} \cdot S^{0,842} \dots\dots\dots (3.27)$$

P : précipitation moyenne (m),

S: superficie (en Km<sup>2</sup>),

**AN:**

$$A_0 = 0,32 \text{ Mm}^3$$

Les résultats des apports moyens interannuels dans le Tableau 3.15 :

**Tableau 3.15 :** Apport moyen interannuel.

Formule	A <sub>0</sub> (M m <sup>3</sup> )
SAMIE	0,25
DeryII	0,18
MEDINGER	0,12
Mallet – Gauthier	0,16
ANRH	0,32

## Etude hydrologique

---

On remarque que la formule de DeryII et Mallet-Gauthier donnent des valeurs très proches, on opte pour la formule de DeryII.

$$A_0=0,18\text{Mm}^3$$

### 4.2. Caractéristique de l'écoulement :

- Module de l'écoulement (Me) :

Il est donné par :  $M_e = \frac{A}{T}$  .....(3.28)

A<sub>0</sub> : Apport moyen annuel [litres].

T : Temps d'une année en [secondes] "T = 31,536.10<sup>6</sup> secondes".

- Module de l'écoulement relatif ou spécifique (M<sub>0</sub>) :

On a :  $M_0 = \frac{M_e}{S}$  ..... (3.29)

S: superficie (en Km<sup>2</sup>).

- lame d'eau écoulée (Le) :

On a :  $L_e = \frac{A_0}{S}$  ..... (3.30)

- Coefficient de l'écoulement (Ce) :

Il est donné par :  $C_e = \frac{L_e}{P_{moy}}$  ..... (3.31)

**Tableau 3.16** : Caractéristiques d'écoulement.

S (Km <sup>2</sup> )	A <sub>0</sub> (Mm <sup>3</sup> )	Me (L/S)	M <sub>0</sub> (L/S/Km <sup>2</sup> )	Le (mm)	Ce
3,15	0,18	5,71	1,11	35	0,09

### 4.3. Evaluation des apports solides :

Le manque de données de mesure du transport solide nous ramène à accepter toute méthode empirique qui nous permet l'ordre de grandeur acceptable de l'écoulement solide.

➤ **Formule de TIXERONT :**

C'est la formule la plus utilisée en Algérie pour l'évaluation du taux d'abrasion :

$$E_s = a \cdot L_e^{0.15} \dots\dots\dots (3.32)$$

**Où :** ES : taux d'abrasion (t/km<sup>2</sup>/an),

Le : lame d'eau ruisselée en (mm),

a : coefficient empirique qui varie en fonction de la perméabilité du terrain,

**Tableau 3.17 :** Estimation du coefficient de perméabilité.

B.V à perméabilité élevée	a=8.5
B.V à perméabilité moyenne à élevée	a=75
B.V à perméabilité faible à moyenne	a=350
B.V à perméabilité faible	a=1400
B.V imperméable	a=3200

Dans notre cas on prend : a = 350 (perméabilité moyenne),

En tenant compte du poids spécifique moyen des sédiments  $\gamma=1,4 \text{ T/m}^3$

Le volume des sédiments est donné par la relation suivante :

$$V_s = \frac{E_s \cdot S}{\gamma} \dots\dots\dots (3.33)$$

Les résultats des apports solides sont donnés par le tableau 3.18 :

**Tableau 3.18 :** Les apports solides.

S (km <sup>2</sup> )	Le (mm)	Es (t/km <sup>2</sup> /ans)	apport solide (m <sup>3</sup> /ans)
5,15	35	596,59	1194,61

## 5. Etude de crues :

### 5.1. Différentes méthodes d'évaluation des crues :

Des problèmes qui conditionnent la procédure. Il n'existe pas encore une unicité de calcul des crues les méthodes de calcul différentes aussi selon le chargé d'études.

# Etude hydrologique

---

Nous rappelons ci-dessous les différentes méthodes de calcul des crues que chacune d'elles à ses avantages et ses inconvénients les techniques utilisées pour la détermination des crues dépendent pour une grande part des données disponibles. Presque chaque problème qui se produit est unique du aux variations des conditions et des données qui font que c'est la disponibilité des données plutôt que la nature :

**Méthodes historiques :** Etudes des archives, enquêtes auprès des populations et recherches d'anciennes traces des crues. (les niveaux atteints par les crues du passé) ;

**Méthodes empiriques :** Relation établie entre le débit et la surface du bassin versant, la pluie et la période de retour comme les formules de GREAGER, FULLER, SNYDER et POSSENTI...etc.

Dans la présente étude on va utiliser les méthodes empiriques car elles sont fréquemment utilisées et mieux adaptées pour les petits bassins.

## 5.2. Application sur les bassins versants :

D'après les données morphologiques et pluviométriques existantes une évaluation des débits de pointes des crues sera faite à partir de formules empiriques :

**Mallet-Gauthier, Turazza, Giandotti**, ces relations sont celles qui traitent au mieux les petits bassins.

### 5.2.1. Formule de Giandotti :

Dans leur étude sur les problèmes de l'eau en Algérie ils ont établi une formule exprimant le débit maximum en crue en fonction des précipitations. De la surface du bassin versant et d'un coefficient K caractéristiques géographique et climatique du bassin versant.

$$Q_{max.p\%} = \frac{S.C.H_{tc.p\%}\sqrt{H_{moy}-H_{min}}}{4\sqrt{S}+1.5L} \dots\dots\dots (3.34)$$

S : surface en km<sup>2</sup> ;

H<sub>moy</sub> : altitude moyenne en m ;

H<sub>min</sub> : altitude minimale en m ;

L : longueur du cours d'eau principale en km ;

C : Coefficient topographique variant entre 0.066 et 0.166 ;

H<sub>tc.p%</sub> : lame d'eau précipitée pour une probabilité donnée et d'une durée égale au temps de concentration des eaux ;

Pour des bassins de topographie moyen accidenté c=0.10.

### 5.2.2. Formule de TURAZZA :

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

$$Q_{\max, P\%} = \frac{C \cdot \bar{i}_{tc} \cdot S}{3.6} \dots\dots\dots (3.35)$$

Avec :

$\bar{i}_{tc}$  : Intensité moyenne maximale des précipitations pendant une durée égale au temps de concentration en mm/h, Ce paramètre est représenté dans le tableau 3.14 .

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

**Tableau 3.19** : Les apports solides.

Fréquence %	1	2	5	10	20
Période de Retour	100	50	20	10	5
C	0,7	0.68	0.65	0.6	0.55

**5.2.3. Formule de Mallet-Gauthier:**

Dans les études sur les problèmes de l'eau en Algérie, nous présentant la formule suivante exprimant le débit maximum de crue en fonction des précipitations, de la surface du bassin versant et d'un coefficient K caractéristique géographique et climatique du bassin versant.

$$Q_{\max, P\%} = 2 \cdot K \cdot \log(1 + 20 \cdot H) \cdot \frac{S}{\sqrt{L}} \cdot \sqrt{1 + 4 \cdot \log T - \log S} \dots\dots\dots (4.25)$$

Avec :

K : constante comprise entre 1-3, pour notre cas nous allons prendre 1,9

H : précipitation moyenne annuelle en (m)

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

L : longueur du talweg principal en ( Km )

T : période de retour.

Les débits de crues estimés par les différentes formules citées précédemment sont présentés dans le tableau suivant :

## Etude hydrologique

---

**Tableau 3.20** : Débits de crues du bassin d'Oued Metlagh.

<i>Période de retour</i>	<b>MALLET-GAUTHIER</b>	<b>Turazza</b>	<b>Giandotti</b>	<b>La moyenne</b>
<b>ans</b>	<b>(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>(m<sup>3</sup>/s)</b>
5	7,82	7,40	7,04	7,42
10	9,22	8,10	7,04	8,12
20	10,44	9,64	7,04	9,03
50	11,86	11,20	7,04	10,03
100	12,82	12,34	7,04	10,73

D'après ce tableau on remarque que les valeurs de débits de différentes périodes de retour obtenues par la formule de Turazza sont les valeurs les plus proches de la moyenne, alors nous avons opté pour un débit de crue centennale estimée par la formule de Turazza, avec  $Q_{1\%}=12,34\text{m}^3/\text{s}$ .

### **Conclusion :**

L'établissement de ce chapitre a pour but le calcul des caractéristiques du bassin versant qui influence le cours d'eau ainsi l'étude hydrologique nous a permis de calculer le débit maximum de la crue pour une période de retour de 100 ans, cette dernière sera utile dans le dimensionnement du système d'évacuation dans le chapitre suivant.

# **Chapitre-4-** **Etude hydraulique**

## **Introduction :**

L'écoulement de l'eau à surface libre est un phénomène beaucoup plus compliqué que l'écoulement en charge car la présence d'une surface libre entraîne les variations de sections liquides suivant la longueur du courant même en cas d'obstacles insignifiants.

Les courants à surface libre peuvent être permanents, non permanent, uniforme ou non uniforme.

Dans ce chapitre on ne traite que l'écoulement permanent.

## **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 ;
- préserver l'espace urbain et améliorer l'hygiène publique.

## **2. Généralités :**

L'hydraulique fluviale est la science qui traite les écoulements dont la surface d'eau est soumise à la pression atmosphérique appelé écoulement à surface libre. Cet écoulement est dû essentiellement à la pente du canal et non pas à la différence de charge entre deux sections comme il est le cas dans les conduites en charge. Les concepts d'hydraulique fluviale sont indispensables à la conception d'ouvrages hydrauliques.

### **2.1. Canal à ciel ouvert :**

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

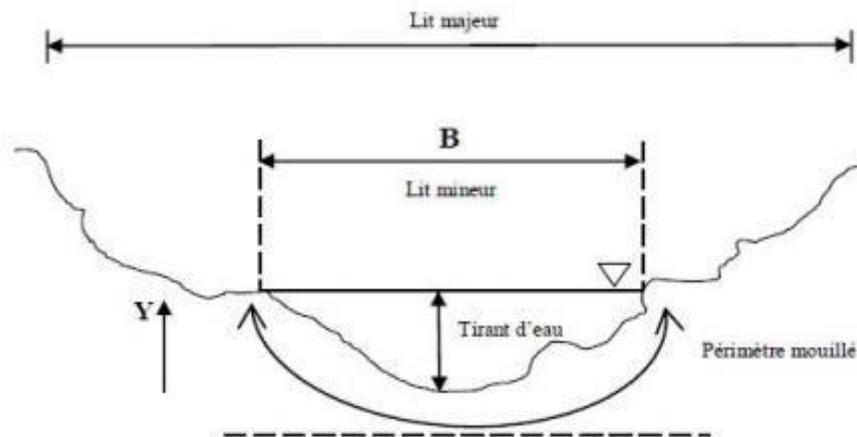
#### **2.1.1 Type de canal :**

Il existe deux types de canaux :

- **Canal naturel :**

Ce sont les cours d'eau qui existent naturellement sur (ou sous) terre tels que les ruisselets, torrents, rivières, fleuves et estuaires.

Les propriétés géométriques (Figure 4.1) et hydrauliques des canaux naturels sont généralement assez irrégulières. L'application de la théorie hydraulique ne donne que des résultats approximatifs obtenus à partir d'hypothèses qui s'imposent.



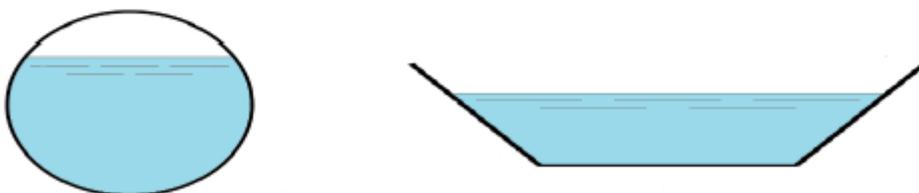
**Figure 4.1 :** Géométrie d'un canal naturel.

- **Canal artificiel :**

Ce sont des cours d'eau réalisés par l'homme (Figure 4.2) sur (ou sous) terre tel que les canaux découverts construits au ras du sol: canaux de navigation, d'adduction et d'évacuation, d'irrigation et de drainage, ou les canaux couverts dans lesquels les liquides ne remplissent pas toute la section : tunnels hydrauliques, aqueducs, drains, égouts.

Les propriétés hydrauliques des canaux artificiels sont généralement assez régulières.

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



**Figure 4.2 :** Types de canaux artificiels (couvert et découvert).

## 2.1.2 Géométrie des canaux :

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

Les paramètres géométriques d'une section sont :

◇  $S_m$  : Surface mouillée, la portion de section occupée par l'eau.

◇  $P_m$  : Périmètre mouillé formé par la longueur entourant la surface mouillée sans inclure la surface libre, donc la longueur du fond et les parois en contact avec l'eau.

◇  $R_h$  : Le rayon hydraulique donné par le quotient de la surface mouillée et du périmètre mouillé.

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} \dots\dots\dots (4.1)$$

◇  $B$  : Largeur du canal à sa surface libre.

◇  $D_h$  : Profondeur hydraulique du canal définie par :

$$D_h = \frac{S}{B} \dots\dots\dots (4.2)$$

◇  $h$  : Hauteur d'eau considérée comme la profondeur.

◇  $J_f$  : Pente longitudinale du fond du canal.

◇  $J_w$  : Pente piézométrique ou pente de la surface libre.

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

$$J_f = \text{tg } \alpha \approx \sin \alpha$$

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

## 2.2 Ecoulement dans les canaux :

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

### 2.2.1 Types d'écoulement :

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

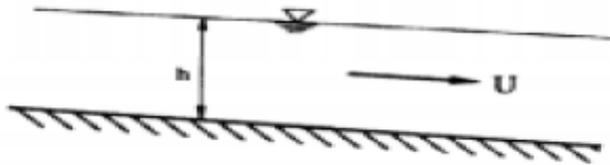
#### a) Variabilité dans le temps :

##### a.1) Ecoulement uniforme :

Un écoulement est dit permanent si les vitesses moyennes,  $V$ , et ponctuelles,  $v$ , ainsi que la profondeur,  $h$  ou  $D_h$ , restent invariables dans le temps en grandeur et en direction (figure 4.3).

Par conséquent, le débit est constant,  $Q=V*S$ . C'est-à-dire :

$$\frac{dV}{dt} = \frac{dv}{dt} = \frac{dh}{dt} = \frac{dQ}{dt} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

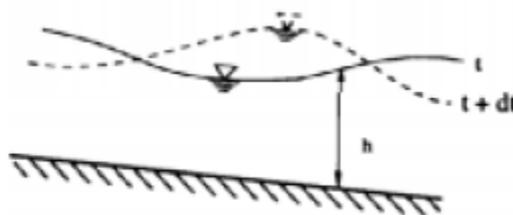


**Figure 4.3 :** Schéma d'un écoulement permanent.

En réalité, l'écoulement dans les canaux est rarement permanent cependant les variations temporelles sont souvent lentes pour que l'écoulement puisse être considéré comme permanent.

**a.2) Ecoulement non uniforme :**

Un écoulement est dit non permanent si la profondeur,  $h$  ou  $D_h$ , ainsi que les autres paramètres varient avec le temps en grandeur et en direction (Figure 4.4). Par conséquent, le débit n'est pas constant. C'est-à-dire :



**Figure 4.4 :** Schéma d'un écoulement non permanent.

**b) Variabilité dans l'espace :**

**b.1) Ecoulement uniforme :**

Un écoulement est dit uniforme si la profondeur,  $h$  ou  $D_h$ , la vitesse, la pente, la rugosité et la section restent invariables dans les diverses sections du canal. C'est-à-dire :

$$\frac{dV}{dx} = \frac{di}{dx} = \frac{dh}{dx} = \frac{dS}{dx} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

Par conséquent, la ligne de la pente du fond est parallèle à la ligne de la surface d'eau libre,  
 $J_f = J_w$ .

## b.2) Ecoulement non uniforme :

Un écoulement est dit non uniforme si la profondeur ou  $D_h$ , et les autres paramètres varient dans les diverses sections du canal. C'est-à-dire :

$$\frac{dV}{dx} \neq \frac{di}{dx} \neq \frac{dh}{dx} \neq \frac{dS}{dx} \neq 0 \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

Dans ce cas la ligne de la pente du fond diffère de celle de la surface libre,  $J_f \neq J_w$ .

L'écoulement non uniforme peut être permanent ou non permanent.

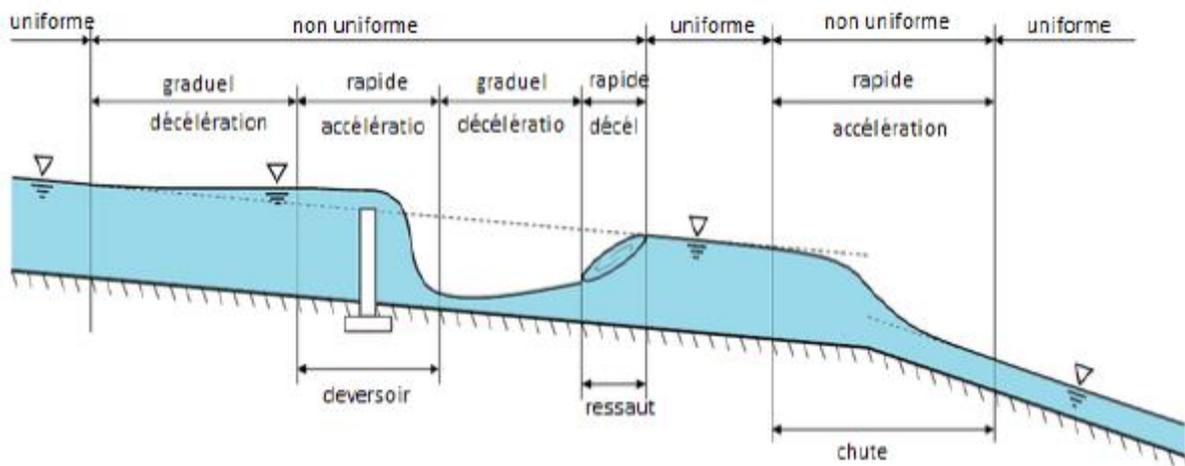
### b.2.1) Ecoulement non uniforme graduellement varié :

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

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

### b.2.2) Ecoulement non uniforme rapidement varié :

Un écoulement est dit rapidement varié si la variation de la hauteur dans la direction de l'écoulement est importante et brusque (Figure 4.5). Cela se manifeste en général au voisinage d'une singularité telle qu'un déversoir, un rétrécissement, un ressaut hydraulique ou une chute brusque.



**Figure 4.5** : Schéma illustrant les différents écoulements.

## 2.2.2 Régime d'écoulement :

Il existe deux régimes d'écoulement : écoulement fluviale et écoulement torrentiel (Figure 4.6).

La détermination du régime d'écoulement se fait par le calcul d'un nombre adimensionnel nommé nombre de Froude, dont le carré représente le rapport de l'énergie cinétique du liquide en mouvement à l'énergie potentielle de la pesanteur.

C'est-à-dire :

$$Fr = \sqrt{\frac{Q^2 L}{g S^3}} \dots\dots\dots (4.6)$$

Il s'écrit aussi :

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot Y_m}} \dots\dots\dots (4.7)$$

Avec :  $Y_m = S/L$  : le tirant d'eau moyen dans la section.

Lorsque :

◇  $Fr = 1$  : le régime est critique.

◇  $Fr < 1$  : le régime est fluvial.

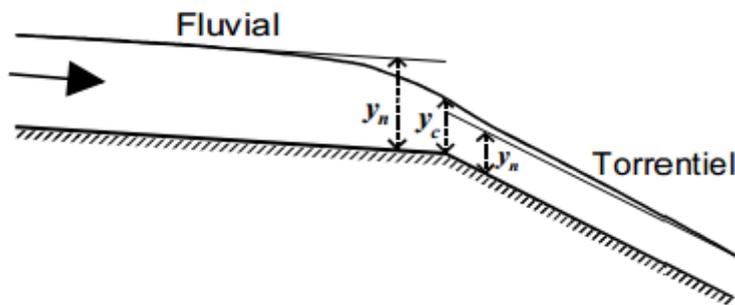
◇  $Fr > 1$  : le régime est torrentiel.

La notion de régime fluvial, torrentiel ou critique s'applique évidemment au cas particulier du régime uniforme.

Lorsque :

◇  $Y_n < Y_c$  : écoulement uniforme torrentiel.

◇  $Y_n > Y_c$  : écoulement uniforme fluvial.



**Figure 4.6 :** Passage du régime fluvial au régime torrentiel.

Un autre nombre adimensionnel utilisé dans l'étude hydraulique s'ajoute au nombre de Froude pour former quatre autres régimes, le nombre de Reynolds.

Le nombre de Reynolds est le rapport entre les forces de viscosité et celles d'inertie. C'est à dire :

$$Re = \frac{VD}{\nu} \dots\dots\dots (4.8)$$

Re : le nombre de Reynolds (exprime l'action des force de viscosité).  
 V : la vitesse moyenne.

$D = R_h$ ,  $R_h$  : le rayon hydraulique  
 $\nu$ : la viscosité cinématique.

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

◇  $Re < 500$  : écoulement laminaire.

◇  $Re < 2000$  : écoulement turbulent.

◇  $500 < Re < 2000$  : écoulement de transition.

Donc la combinaison des deux nombres donne la classification suivante :

◇  $Fr < 1$ ,  $Re < 500$  : écoulement fluvial-laminaire.

◇  $Fr < 1$ ,  $Re > 2000$  : écoulement fluvial-turbulent.

◇  $Fr > 1$ ,  $Re < 500$  : écoulement torrentiel-laminaire.

◇  $Fr > 1$ ,  $Re > 2000$  : écoulement torrentiel-turbulent.

### 2.3 Dimensionnement des canaux :

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

#### • La formule de CHEZY :

La vitesse moyenne du courant est donnée par :

$$V = C * \sqrt{R_h * i} \dots\dots\dots (4.9)$$

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

$$Q = S * C \sqrt{R_h * i} \dots\dots\dots (4.10)$$

Avec :

- $C$  : Coefficient de CHEZY ( $m^{0.5}/s$ ).
- $S$  : Section mouillée ( $m^2$ ).
- $R_h$  : Rayon hydraulique,  $R_h = S_m/P_m$  (m).
- $i$  : pente de fond du canal (mm).

#### 2.3.1 Détermination du coefficient de CHEZY :

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

#### • Formule de PAVLOVSKI :

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \dots\dots\dots (4.11)$$

Avec :

$C$  : coefficient de Chezy ( $m^{0.5}/s$ )

$n$  : la rugosité

## Etude hydraulique

---

R : rayon hydraulique  $R = S/P$  (m)

y : est l'exposant déterminé soit d'après la relation complète

$$y = 2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0.1) \dots\dots\dots (4.12)$$

Soit d'après les égalités simplifiées :

$$y = 1.5\sqrt{n} \text{ si } R < 1 \text{ m}$$

$$y = 1.3\sqrt{n} \text{ si } R > 1 \text{ m}$$

- **Formule d'AGROSKINE :**

$$C = \frac{1}{n} + 17.72 \log R \dots\dots\dots (4.13)$$

Avec :

C : coefficient de Chezy ( $m^{0.5}/s$ )

R: rayon hydraulique,  $R = S/P$  (m)

n : la rugosité

- **Formule de MANING-STRICKLER :**

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} = K_S R^{\frac{1}{6}} \dots\dots\dots (4.14)$$

Avec :

C : coefficient de Chezy ( $m^{0.5}/s$ )

R : rayon hydraulique  $R = S/P$  (m)

n : la rugosité.

$K_S$  : coefficient de rugosité de STRICKLER.

Sachant que n et  $K_S$ , sont fonction de la nature du matériau constituant le canal.

La formule de MANING-STRICKLER permet de transformer la formule de Chézy pour obtenir la formule (4.15)

$$V = K_S \cdot R_h^{2/3} \cdot I^{1/2} \dots\dots\dots (4.15)$$

Où :  $K_S$  : coefficient de rugosité de STRICKLER.

R : rayon hydraulique (m).

I : la pente du fond de canal.

# Etude hydraulique

**Tableau 4.1 :** Valeurs de rugosité en fonction du revêtement du canal.

Caractéristiques du lit ou du revêtement	Valeur de $n$ (s / m <sup>1/3</sup> )
Canal avec revêtement en béton	0.013
Canal en terre mal entretenus	0.030
Canal en maçonnerie	0.020
Canal en gabions remplis de matériaux de carrière	0.027
Canal en matelas Reno remplis de matériaux de carrière	0.025

**Tableau 4.2 :** Coefficient de Manning-Strickler en fonction de la nature du canal.

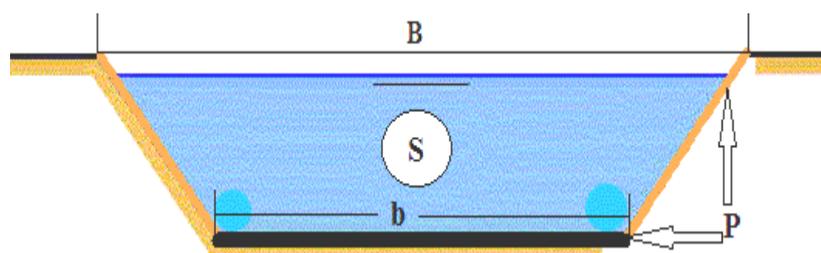
Nature des parois	Valeurs de $K_s$ en m <sup>1/3</sup> /s
Béton lisse	75-90
Canal et terre, non enherbé	60
Canal et terre, enherbé	50
Rivière de plaine sans végétation arbustive	35-40
Rivière de plaine large, végétation peu dense	30
Rivière à berges étroites très végétalisées	10-15
Lit majeur en prairie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

## 2.4. Calcul des paramètres géométriques :

### 2.4.1. 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  $J_f$  et de coefficient de rugosité  $n$ , la section qui véhicule le débit maximum  $Q_{max}$  est celle pour laquelle, le rayon hydraulique  $R_h$  est maximal et la section  $S$  est minimale.

Notre choix portera sur la section trapézoïdale :



**Figure 4.7 :** Les paramètres géométriques d'un canal de section trapézoïdale.

**Tableau 4.3 :** Paramètres géométriques d'un canal à section trapézoïdale de largeur  $b$  (m) et de profondeur  $h$  (m) avec un fruit de talus «  $m$  ».

Désignation	Expression
$b$ (m)	$2h (\sqrt{1 + m^2} - m)$
$B$ (m)	$b + 2mh$
$S$ (m <sup>2</sup> )	$h (b + mh)$
$P$ (m)	$b + 2h\sqrt{1 + m^2}$
$R_h$ (m)	$\frac{h.(b + mh)}{b + 2h.\sqrt{1 + m^2}} = \frac{h}{2}$

### 2.4.2. Calcul du rayon hydraulique maximal :

$$R_h = \frac{S}{P} = \frac{h}{2} \dots\dots\dots (4.16)$$

Alors :

Le rayon hydraulique sera max pour une valeur de  $P_{\min}$ .

### 2.4.3. Calcul de la profondeur normale $h_n$ :

Le calcul de  $h_{cr}$  se fait aussi par plusieurs méthodes qui sont les suivantes :

- La méthode graphique ;
- La méthode itérative ;
- La méthode d'AGROSKINE.

#### ➤ Méthode graphique :

On tire la valeur de ( $h_n$ ) à partir du graphe  $I = f(h)$ , on trace le graphe par le calcul des valeurs de ( $I$ ) on augmentant ( $h$ ) avec un pas jusqu'à atteindre la valeur de la pente désiré.

La formule de calcul est la suivante : 
$$I = \frac{Q^2}{C^2.S^2.R} \dots\dots\dots (4.17)$$

Cette formule est tirée à partir de l'équation générale de l'écoulement uniforme.

Avec :

$Q$  : débit

$S$  : Section mouillée ;

$C$  : coefficient de CHEZY ;

$R$  : Rayon hydraulique ;

$I$  : pente du canal ;

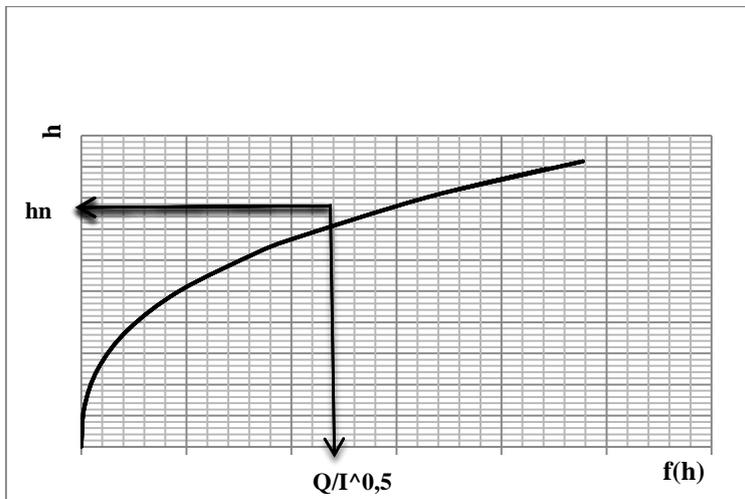
➤ **Méthode itérative :**

On fixe la valeur de (b) et on donne des valeurs à (h), et on détermine (Q) jusqu' à une valeur de (h) qui correspond à un débit très proche ou égale de (Q<sub>n</sub>).

Par suite on trace la courbe  $Q = f(h)$ , et on détermine la valeur de h<sub>n</sub> correspond à (Q<sub>n</sub>).

Les formules de Chézy, Manning-Strickler peuvent s'écrire, respectivement :

$$\frac{Q}{\sqrt{I}} = CS\sqrt{Rh} = \frac{1}{n}Rh^{2/3} = S.K_s.Rh^{2/3} = f(h) \quad \dots\dots\dots (4.18)$$



**Figure 4.8 :** Graphique de la fonction f(h).

➤ **Méthode analytique d'AGROSKINE :**

La méthode d'AGROSKINE utilise la formule suivante :

$$\frac{\alpha Q^2 B_{cr}}{g S_{cr}} = 1 \quad \dots\dots\dots (4.19)$$

Avec :

B : largeur du plan d'eau en surface ;

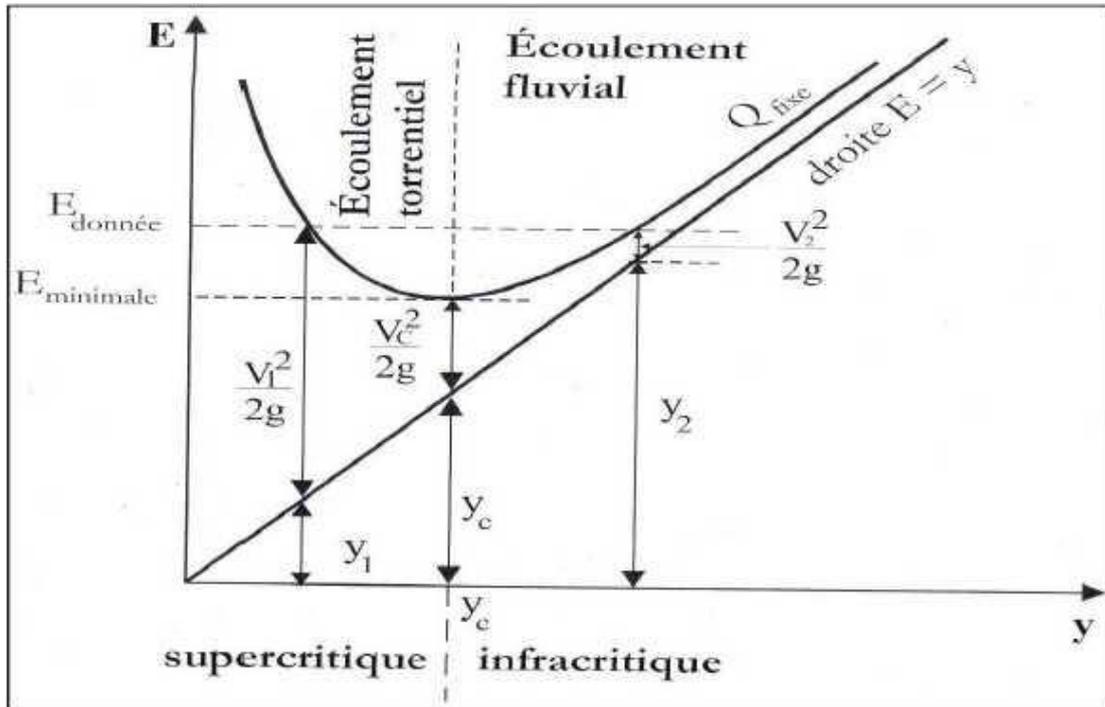
g : l'accélération de pesanteur prise égale 9.81.

Pour un canal rectangulaire :

$$h_{cr(R)} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{g b^2}} \quad \dots\dots\dots (4.20)$$

**2.4.4. Calcul de la profondeur critique  $h_{cr}$  :**

La profondeur critique ( $h_c$ ) est une profondeur qui correspond à une charge spécifique minimale ( $H_s$ ).



**Figure 4.9:** Graphique de la fonction  $E_s = f(h)$ .

D'après la courbe de l'énergie spécifique en fonction de ( $h$ ) ou bien ( $y$ ) on remarque, que pour une même valeur d'énergie, il existe deux profondeurs correspondantes pour transporter un même débit.

Et on remarque aussi pour assurer un débit ( $Q$ ) donné, l'écoulement exige une énergie minimale ( $E_{min}$ ), dite aussi charge minimale ( $H_s$ ) à laquelle correspond une profondeur critique ( $h_{cr}$ ) et une vitesse critique ( $V_{cr}$ ). L'énergie spécifique est exprimée par la formule suivante :

$$H_s = h + \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (4.21)$$

Elle set aussi exprimée comme suit :

$$H_s = \frac{Q^2}{S^2 2g} + h ; \text{ d'ou, on tire un graphique d'équation : } H_s = f(Q, S) \text{ qui permet}$$

l'étude de la variation de :

- a)  $h$  avec  $H_s$  pour un débit  $Q$  constant.
- b)  $h$  avec  $Q$  pour une valeur de  $H_s$  constante.

Pour un débit ( $Q$ ) constant, et une valeur quelconque de  $H_s$ , il ya toujours deux solutions pour la profondeur d'eau «  $h_1$  » et «  $h_2$  », on les appelle les profondeurs correspondantes, d'ou on peut définir les régimes d'écoulement comme suit :

**Si :**  $h < h_c$  le régime est torrentiel (sur-critique)

$h > h_c$  le régime est fluvial (sous-critique)

$h = h_c$  le régime est critique

### 2.4.5. Calcul de la pente critique :

La pente critique, pour un débit donné, est celle pour laquelle ce débit s'écoule en régime uniforme critique, autrement dit la pente ou le débit s'écoule sous un minimum de charge (A. Lencastre ; 2008).

On utilise pour son calcul la formule de Chézy en régime critique :

$$Q = S_{cr} C \sqrt{R_h J_c} \dots\dots\dots (4.22)$$

$$J_{cr} = \frac{Q^2}{C^2 \times S_{cr}^2 \times R_h} \dots\dots\dots (4.23)$$

$S_c$ : La surface critique ( $m^2$ ).

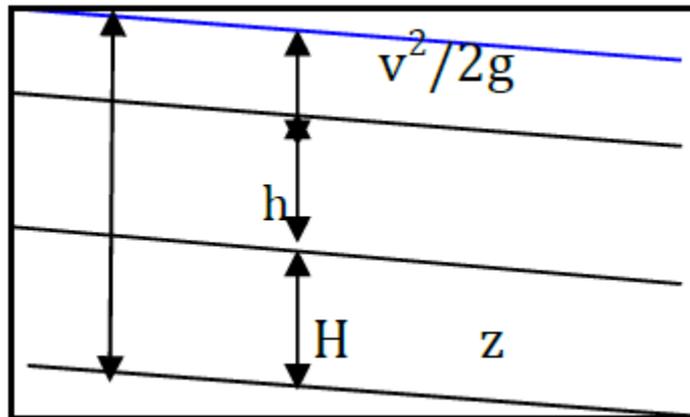
$R_h$ : Le rayon hydraulique critique (m).

$C$  : Coefficient de Chézy ( $\sqrt{\frac{m}{s^2}}$ )

### 2.5. Calcul de la ligne d'eau :

#### 2.5.1. Equation de la ligne d'eau :

L'équation 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 (figure 4.10).



**Figure (4.10)** Représentation de la ligne d'eaux et de la ligne de charge.

En se basant sur l'équation d'énergie :

$$H = Z + V^2 / 2g + h \dots\dots\dots (4.24)$$

Avec :

H : représente la charge totale par rapport au plan de référence horizontal.

Et aussi sur l'équation de la continuité :

$$Q = V / S \dots\dots\dots (4.25)$$

Dérivant l'équation (4.24) par rapport à x, on trouve :

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dZ}{dx} + \frac{d}{dx} \left( \frac{(Q/S)^2}{2g} \right) + \frac{dh}{dx} \dots\dots\dots (4.26)$$

Comme :  $\frac{dz}{dx} = -I \dots\dots\dots (4.27)$

$$\frac{dH}{dx} = -J_e = -\frac{(Q/S)^2}{C^2.R} \dots\dots\dots (4.28)$$

On trouve :  $\frac{dh}{dx} = I \frac{1 - \frac{(Q/S)^2}{C^2.R.I}}{1 - \frac{(Q/S)^2}{g.S/B}} \dots\dots\dots (4.29)$

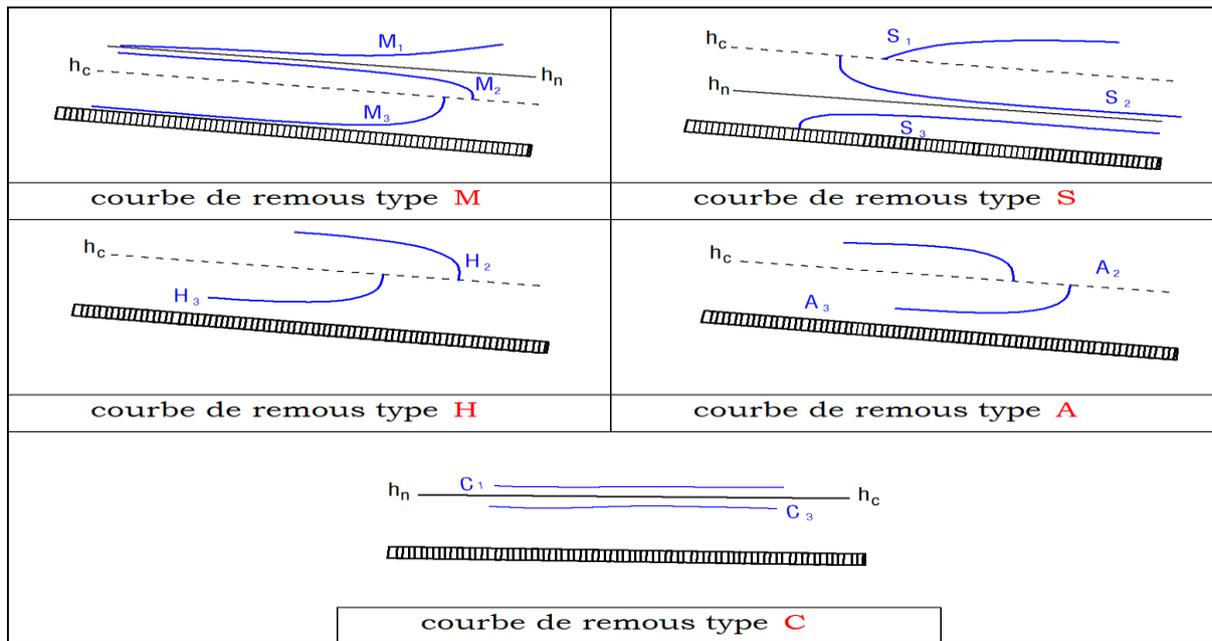
L'équation (4.29) permet de tracer les formes de la surface libre (la ligne d'eau).

**2.5.2. Différentes formes de courbe de remous :**

On a :  $Fr^2 = \frac{(Q/S)^2}{g.S/B} \dots\dots\dots (4.30)$

Et  $\frac{dh}{dS} = I \frac{1 - (\frac{h_n}{h})^2}{1 - Fr^2} \dots\dots\dots (4.31)$

Les différentes formes de courbes de remous pour les différentes valeurs de la pente du fond et pour un débit constant sont représentées dans la figure (4.11).



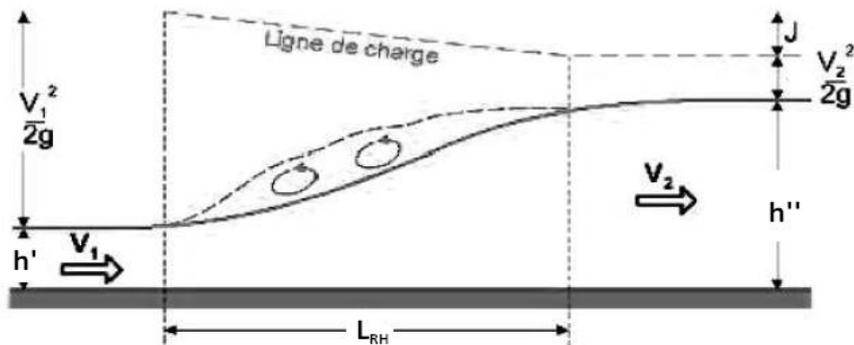
**Figure 4.11 :** Différentes formes de courbes de remous.

## 2.6. Calcul du ressaut hydraulique :

Lorsqu'un écoulement torrentiel rencontre un écoulement fluvial, la jonction se fait avec une forte discontinuité du tirant d'eau, et une importante agitation qui dissipe une grande part de l'énergie acquise dans le tronçon torrentiel. Le ressaut hydraulique se manifeste par une brusque surélévation 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 ( $H_{RH} = H_{S2} - H_{S1}$ ).

Les principales caractéristiques d'un ressaut sont les suivantes :

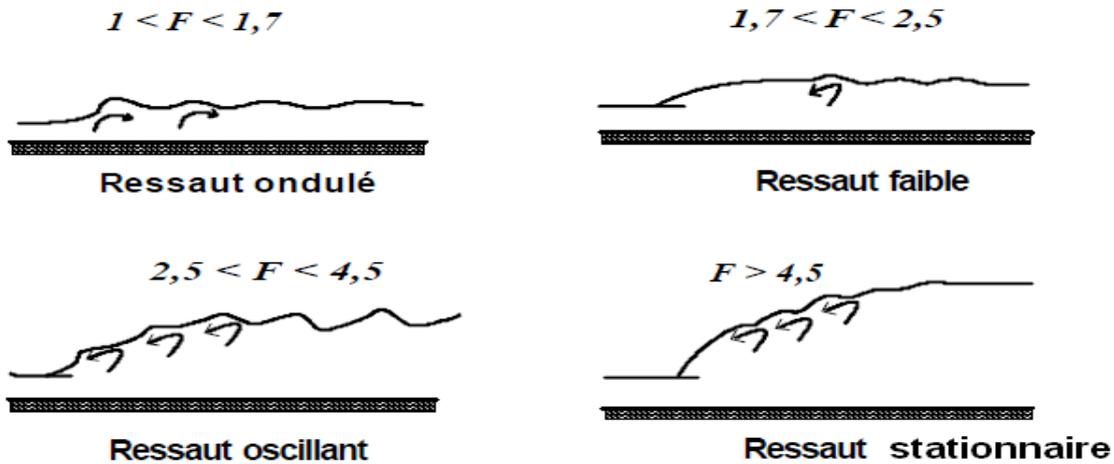
- Hauteurs conjuguées ( $h''$  et  $h'$ ).
- Hauteur de ressaut ( $h'' - h'$ ).
- La longueur approximative du ressaut ( $L_{RH}$ ).



**Figure 4.12 :** Schéma d'un ressaut hydraulique.

## Etude hydraulique

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



**Figure 4.13 :** Typologie du ressaut.

**Tableau 4.4 :** Différents types de ressaut.

type de ressaut	valeurs de Fr	Observation
· Prés ressaut (ressaut ondulé)	$1 \div 1,7$	La surface présente des ondulations, les hauteurs conjuguées sont trop proches de la hauteur critique $h_{cr}$
· Un ressaut faible	$1,7 \div 2,5$	Des petits rouleaux apparaissent
· Un ressaut oscillant	$2,5 \div 4,5$	Le jet oscille tantôt vers le fond, tantôt vers la surface du canal
· Un ressaut stationnaire	$4,5 \div 9$	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,

### 3. Dimensionnement de l'aménagement :

Le canal trapézoïdal, de longueur égale à 1434 m, de l'aménagement proposé pour l'oued Metlagh a été décomposé en trois tronçons selon les pentes obtenus du profil en long de ce

## Etude hydraulique

cours d'eau établi par le logiciel Autocad. Après avoir fixé la largeur de fond du canal à 1,2 m, chaque tronçon a été étudié en fonction des conditions topographiques et hydrauliques.

### 3.1. Calcul des débits :

- La base du canal ( $b$ ) = 1.2 m
- Coefficient de Strickler ( $K_s$ ) = 71,43
- Pente des talus ( $m$ ) = 1,5
- Pente du radier ( $i$ ) = 0.0035
- Coefficient Rugosité ( $n$ ) = 0,014

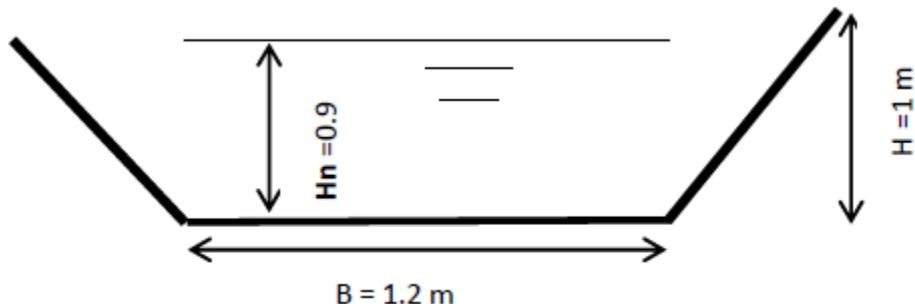
**Tableau 4.5 :** Paramètres hydrauliques du canal.

<i>Hauteur d'eau</i>	<i>Surface mouillée</i>	<i>Périmètre mouillé</i>	<i>Rayon hydraulique</i>	<i>Vitesse</i>	<i>Débit</i>
0.9	2,7	4,805	0,562	4,59	12,34

### 3.2. Caractéristiques du canal :

➤ Section Trapézoïdale ouverte :

- Débit ( $Q$ ) = 12.34 m<sup>3</sup>/s.
- Base du canal ( $b$ ) = 1.2m.
- Hauteur du canal ( $H$ ) = 1 m.
- Niveau normal de l'eau ( $H_n$ ) = 0.9 m.
- Rugosité du béton ( $n$ ) = 0.014.
- Longueur du tronçon ( $L$ ) = 1434 m.
- Largeur au miroir ( $B$ ) = 4.2 m.



**Figure 4.14 :** Section Trapézoïdale ouverte.

### 3.3. Calcul des tronçons :

#### 3.3.1. Calcul du tronçon N°1 :

##### a). Paramètres hydrauliques :

$Q = 12,34 \text{ m}^3/\text{s}$ .

$L_t = 100 \text{ m}$ .

$b = 1,2 \text{ m}$ .

$i = 0,0234$ .

$m = 1,5$ .

Le tableau 4.6 présente les paramètres hydrauliques du tronçon N°1.

**Tableau 4.6** : Paramètres hydrauliques du tronçon N°1.

$L_t \text{ (m)}$	$Q \text{ (m}^3/\text{s)}$	$b \text{ (m)}$	$h \text{ (m)}$	$m$	$S_m \text{ (m}^2)$	$P_m \text{ (m)}$
100	12,34	1,2	1	1,5	2,7	4,81
$R_h$	$K_s$	$i$	$Q' \text{ (m}^3/\text{s)}$	$V \text{ (m/s)}$	$F_r$	Type éclmt
0,562	71,43	0,0234	20,09	7,40	2,74	torrentiel

$Q'$  : c'est le débit dans le tronçon N°1.

##### b). Ligne d'eau :

Le tableau 4.7 résume les résultats obtenus pour le calcul de la pente critique.

**Tableau 4.7** : Calcul de la pente critique.

$h_{cr} \text{ (m)}$	$h_n \text{ (m)}$	$V_n \text{ (m/s)}$	$V_{cr} \text{ (m/s)}$	$i_n$	$i_{cr}$
1,35	1	7,40	4,61	0,0234	0,00217

#### 3.3.2. Calcul du tronçon N°2 :

##### a). Paramètres hydrauliques :

$Q = 12,34 \text{ m}^3/\text{s}$ .

$L_t = 550 \text{ m}$ .

$b = 1,2 \text{ m}$ .

$i = 0,0113$ .

$m = 1,5$ .

Le tableau 4.8 présente les paramètres hydrauliques du tronçon N°2.

## Etude hydraulique

**Tableau 4.8 :** Paramètres hydrauliques du tronçon N°2.

Lt (m)	Q(m <sup>3</sup> /s)	b(m)	h(m)	m	S <sub>m</sub> (m <sup>2</sup> )	P <sub>m</sub> (m)
550	12,34	1,2	1	1,5	2,7	4,81
R <sub>h</sub>	K <sub>s</sub>	i	Q'(m <sup>3</sup> /s)	V(m/s)	Fr	Type éclmt
0,562	71,43	0,0113	13,96	5,17	1,9	torrentiel

Q' : c'est le débit dans le tronçon N°2.

**b). Ligne d'eau :**

Le tableau 4.9 résume les résultats obtenus pour le calcul de la pente critique.

**Tableau 4.9 :** Calcul de la pente critique.

h <sub>cr</sub> (m)	h <sub>n</sub> (m)	V <sub>n</sub> (m/s)	V <sub>cr</sub> (m/s)	i <sub>n</sub>	i <sub>cr</sub>
1,35	1	5,17	3,2	0,0234	0,00217

**3.3.3. Calcul du tronçon N°3 :**

**a). Paramètres hydrauliques :**

Q= 12,34 m<sup>3</sup>/s.

Lt= 784 m.

b=1,2 m.

i= 0,0097.

m=1,5.

Le tableau 4.10 présente les paramètres hydrauliques du tronçon N°3.

**Tableau 4.10 :** Paramètres hydrauliques du tronçon N°3.

Lt (m)	Q(m <sup>3</sup> /s)	b(m)	h(m)	m	S <sub>m</sub> (m <sup>2</sup> )	P <sub>m</sub> (m)
784	12,34	1,2	1	1,5	2,7	4,81
R <sub>h</sub>	K <sub>s</sub>	i	Q' (m <sup>3</sup> /s)	V (m/s)	Fr	Type éclmt
0,562	71,43	0,0097	12,93	4,79	1,76	torrentiel

Q' : c'est le débit dans le tronçon N°3.

**b). Ligne d'eau :**

Le tableau 4.11 résume les résultats obtenus pour le calcul de la pente critique.

## Etude hydraulique

---

**Tableau 4.11** : Calcul de la pente critique.

hcr(m)	hn(m)	Vn (m/s)	Vcr (m/s)	in	icr
1,35	1	4,26	2,64	0,0097	0,00217

- On remarque pour la ligne d'eau dans les trois tronçons, la hauteur normale (hn) est inférieure à la hauteur critique (hcr) d'où le régime du courant d'eau est torrentiel.
- pour des mésuse de sécurité on estime une revanche de 0.1m des parois du canal.

### 4. Simulation avec le logiciel HEC-RAS :

#### 4.1. Définition Logiciel HEC-RAS :

Le système de modélisation *HEC-RAS* est un logiciel d'hydraulique fluviale intégrant une panoplie de techniques de calcul hydraulique en régime, fluvial et torrentiel, ainsi que le transport solide et la simulation de phénomènes d'érosion-sédimentation et autres (comme l'envasement de barrages, le transport de polluants, le dimensionnement d'ouvrages d'aménagements de protection contre les inondations etc...). Il a été développé en tant que partie intégrante d'un ensemble de logiciels dédiés aux études hydrologiques et hydrauliques, permettant de simuler les écoulements à surface libre. Il a été conçu par le Centre de l'Engineering Hydrologique des USA (*Hydrologic Engineering Center*). Ce projet englobe plusieurs aspects hydrologiques et hydrauliques : simulation pluie-débit, hydraulique fluviale, simulation des systèmes des réservoirs, analyse des dommages d'inondation, prévision des crues pour la conception des réservoirs et autres ainsi le dimensionnement et le diagnostic des systèmes d'eaux pluviales.

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.

L'application du modèle HEC-RAS a été faite sur la globalité du tronçon de l'oued Metlagh longeant le secteur à protéger contre les inondations et ce en utilisant le levé topographique de l'Oued, sur une longueur 1434m.

# Etude hydraulique

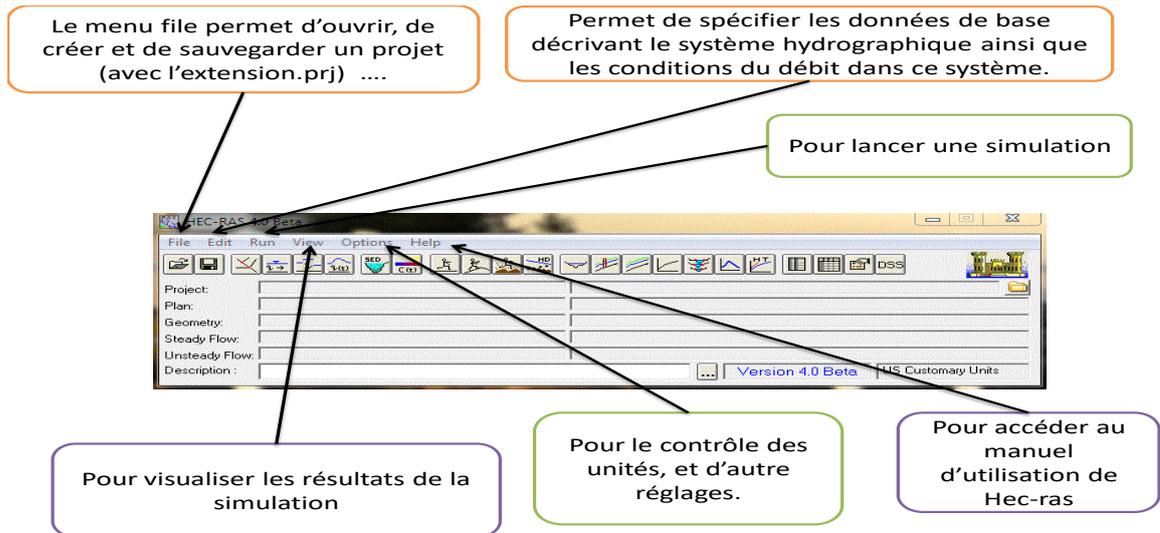


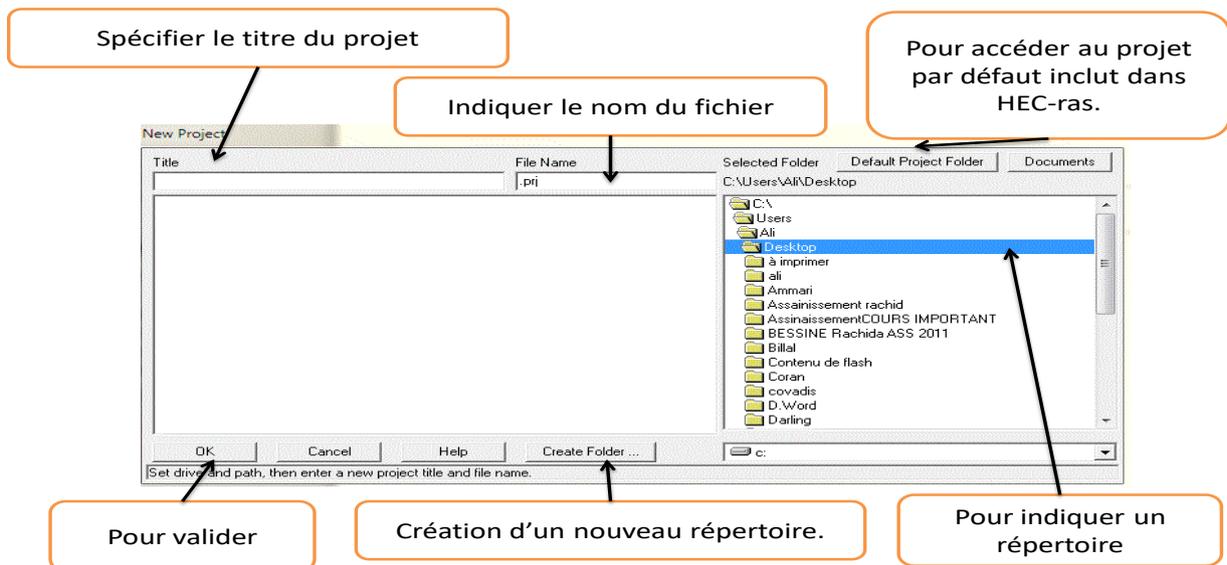
Figure 4.15 : Présentation de la fenêtre d'entrée.

## 4.2. Etapes de simulation par HEC-RAS :

Les calculs peuvent être effectués pour plusieurs débits simultanément, soit en régime torrentiel, soit en régime fluvial, ou pour les deux régimes d'écoulement.

Nous avons lancé la simulation en supposant un régime fluvial et un écoulement uniforme permanent.

### ➤ Création d'un projet :



Après avoir appuyé sur OK, un message apparaît pour confirmer les informations soumises. Appuyez à nouveau sur OK et les données seront sauvegardées dans le fichier et le répertoire indiqué.

Figure 4.16 : création d'un projet HEC-RAS.

## ➤ Introduction des données géométriques :

Avant d'entamer cette phase on doit spécifier le système d'unité utilisé .

Menu Options >> Unit system >> on choisit le système international (Metric system).

- La géométrie de cours d'eau, on la définit au moyen des sections transversales.

The image shows the 'Cross Section Data' dialog box in HEC-RAS. It contains several input fields and tables. Callouts explain the fields:

- River:** Nom de la rivière sur laquelle la nouvelle section sera ajoutée.
- Reach:** Nom du tronçon de la rivière sur laquelle la nouvelle section sera ajoutée.
- River Sta.:** Identificateur numérique de la station transversale.
- Description:** Commentaire d'utilisation sur cette section.
- Downstream Reach Lengths:** Distance en mètre jusqu'à la prochaine section transversale située en aval. LOB : la partie gauche de la plaine inondable. ROB : sa partie droite. Channel : le lit principale de la rivière.
- Manning's n Values:** Coefficient de Manning Strickler de chaque portion de la section transversale.
- Main Channel Bank Stations:** Coordonnées, dans le plan X seulement, des limites gauches et droite du lit principal de la rivière.
- Cross Section Coordinates:** Coordonnées relatives dans le plan X-Y des points définissant la section transversale.

Cross Section Coordinates	
Station	Elevation
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	

Downstream Reach Lengths		
LOB	Channel	ROB

Manning's n Values		
LOB	Channel	ROB

Main Channel Bank Stations	
Left Bank	Right Bank

Contract/Expansion Coefficients	
Contraction	Expansion

Figure 4.17 : introduction données topographiques HEC-RAS.

# Etude hydraulique

## ➤ Introduction des données hydrométriques (débits) et condition aux limites :

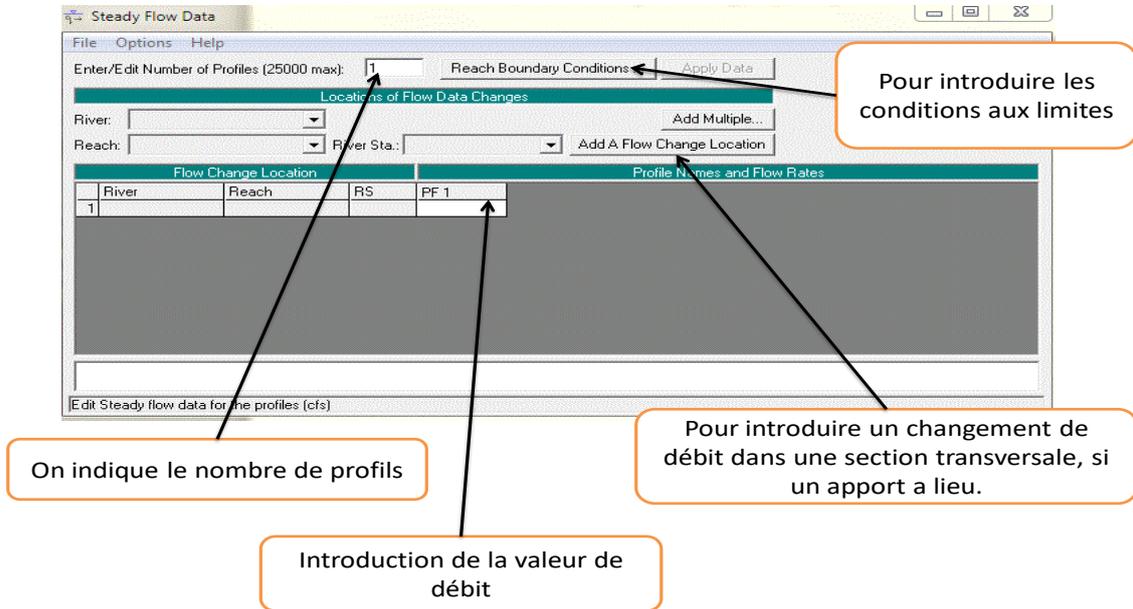


Figure 4.18 : Introduction des débits et condition aux limites.

## ➤ Simulation hydraulique :

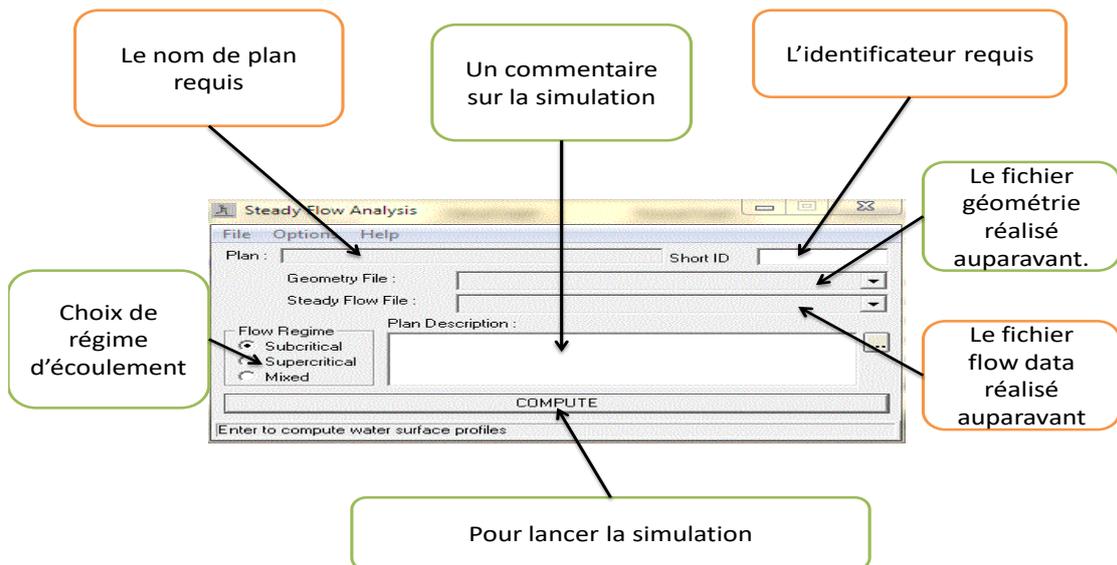


Figure 4.19 : la phase de simulation.

### **4.3. Simulation de l'Oued Metlagh à son état naturel :**

Dans des projets hydraulique comme la protection des villes contre les crues des oueds, situé dans ou à proximité de la ville, une étude de l'état naturel de l'oued dans le cas des crues fréquentiels s'impose au but de déterminer les points de débordement ou en général la délimitation de la zone inondable, afin d'envisager les solutions les plus adéquate pour le projet de protection.

Dans notre cas on a recours à la simulation hydraulique de notre oued grâce au logiciel HEC-RAS , on s'appuyant sur les données de bases cité déjà.

Oued Metlagh passe à côté de la ville sur une longueur de 1434 *m*, ce dernier sera découper en 32 profils en travers, afin d'avoir une bonne simulation.

Les résultats de la simulation HEC-RAS sont résumés dans les figures ci-dessous :

# Etude hydraulique

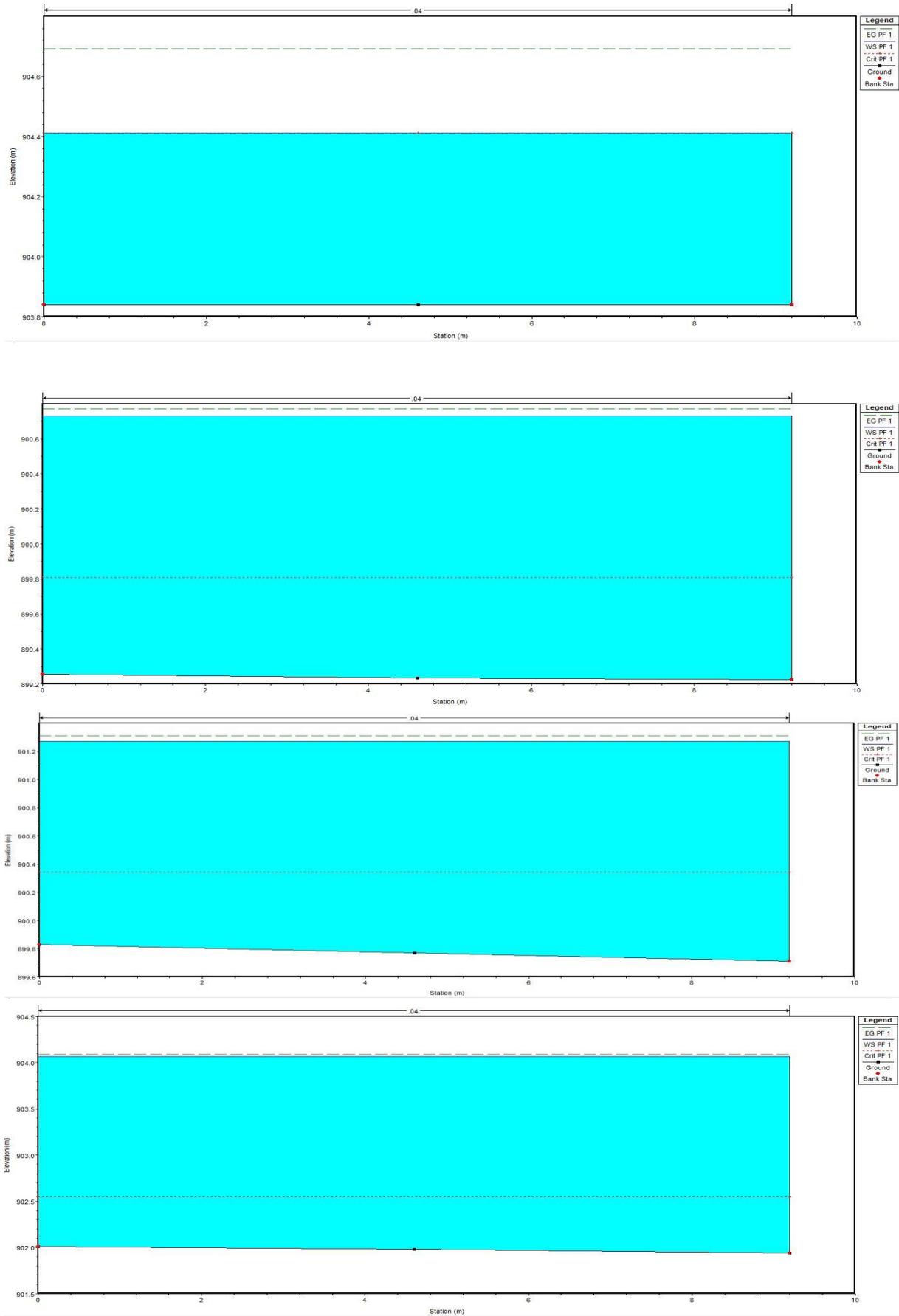


Figure 4.20 : Profils en travers (S1 à S4).

# Etude hydraulique

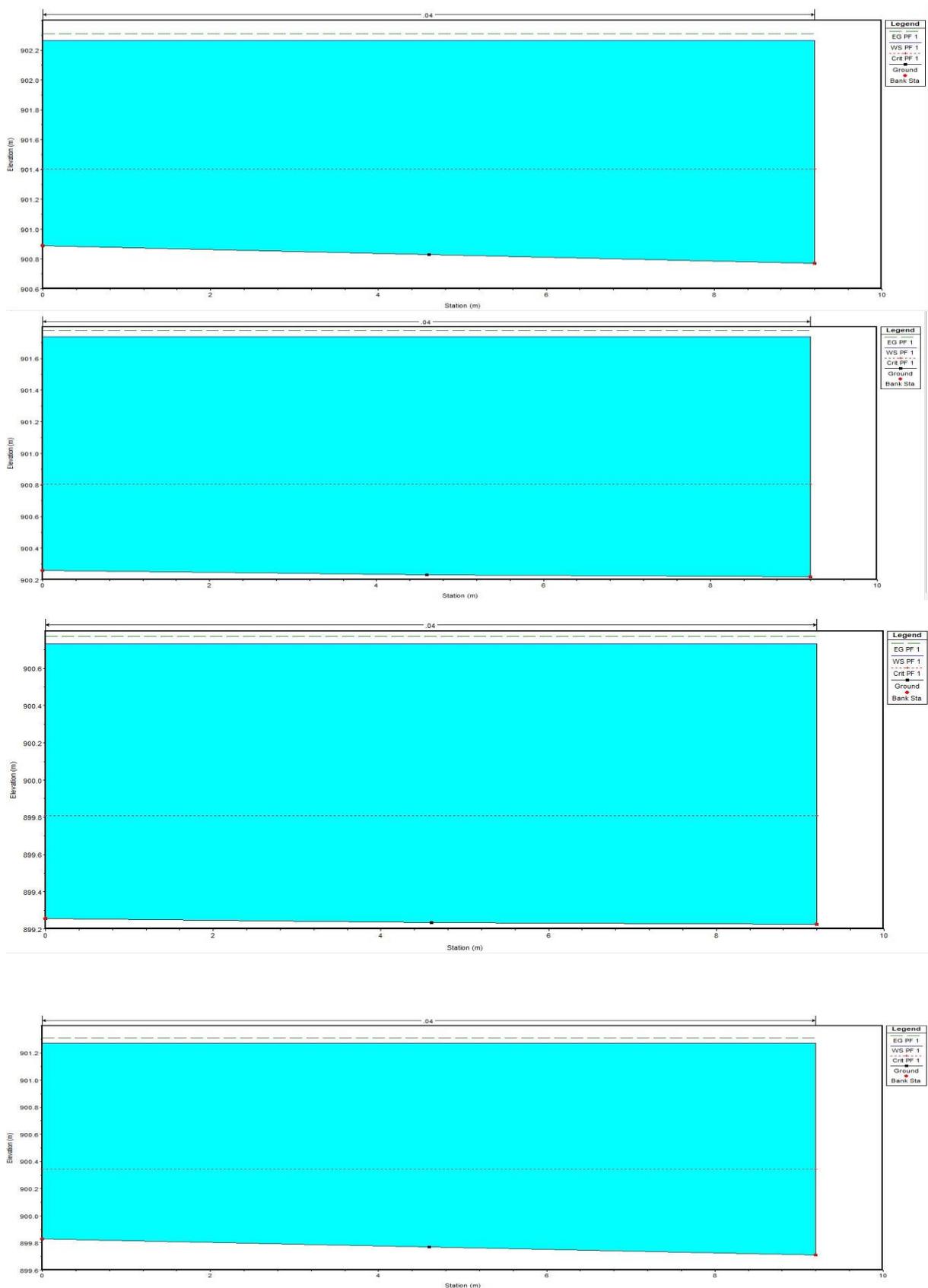


Figure 4.21 : Profils en travers (S5 à S8).

# Etude hydraulique

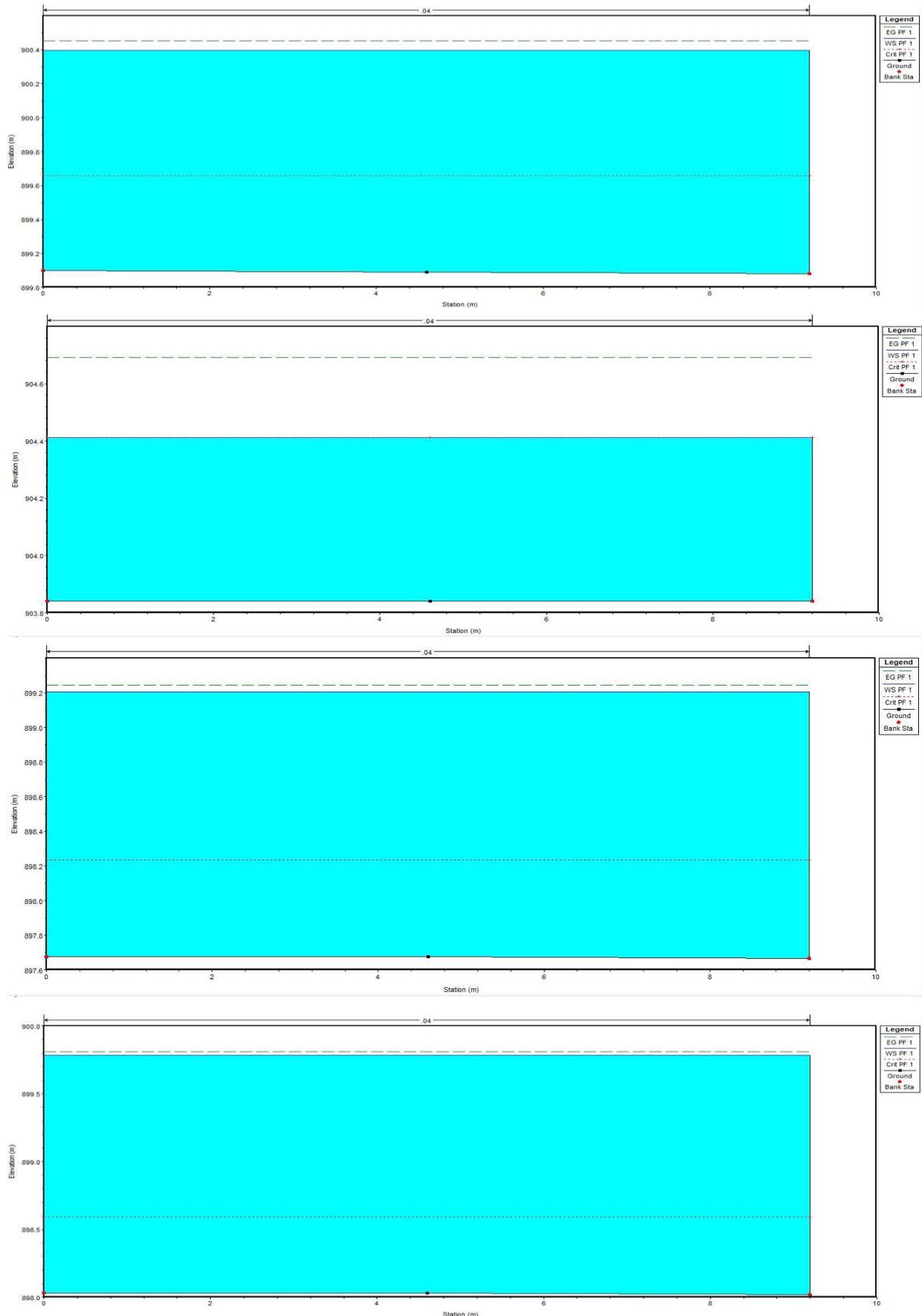


Figure 4.22 : Profils en travers (S9 à S12).

# Etude hydraulique

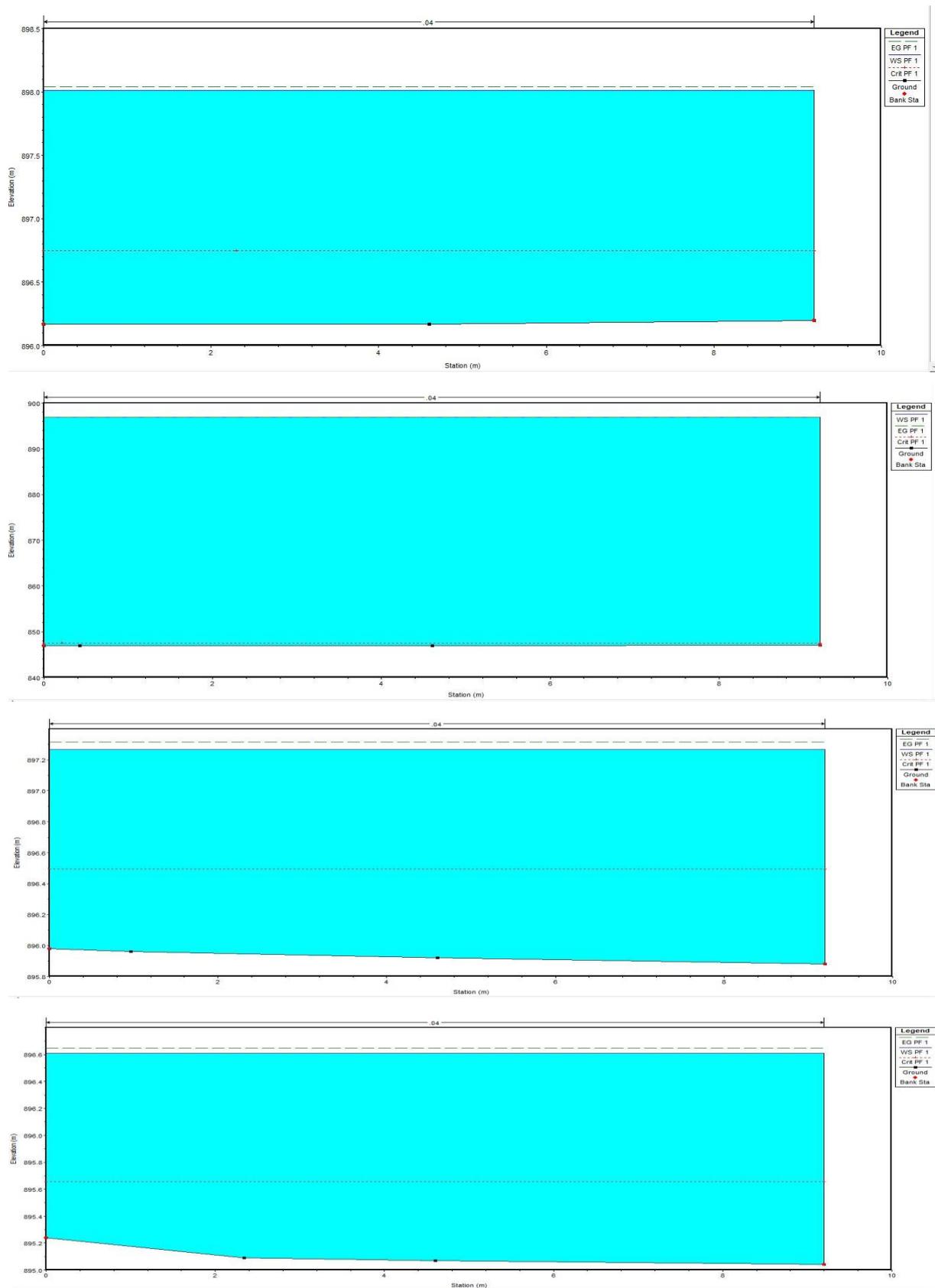


Figure 4.23 : Profils en travers (S13 à S16).

# Etude hydraulique

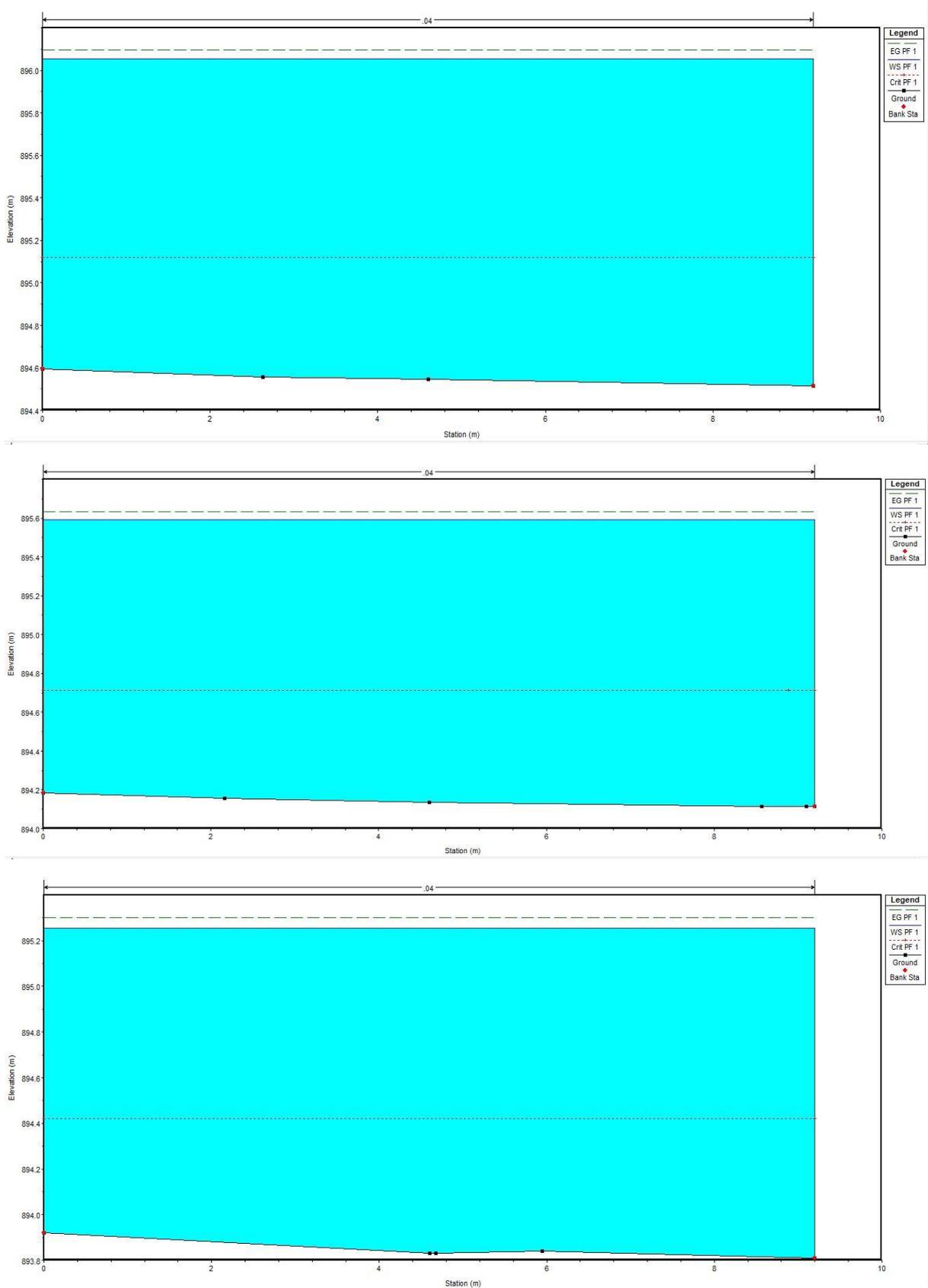


Figure 4.24 : Profils en travers (S17 à S19).

# Etude hydraulique

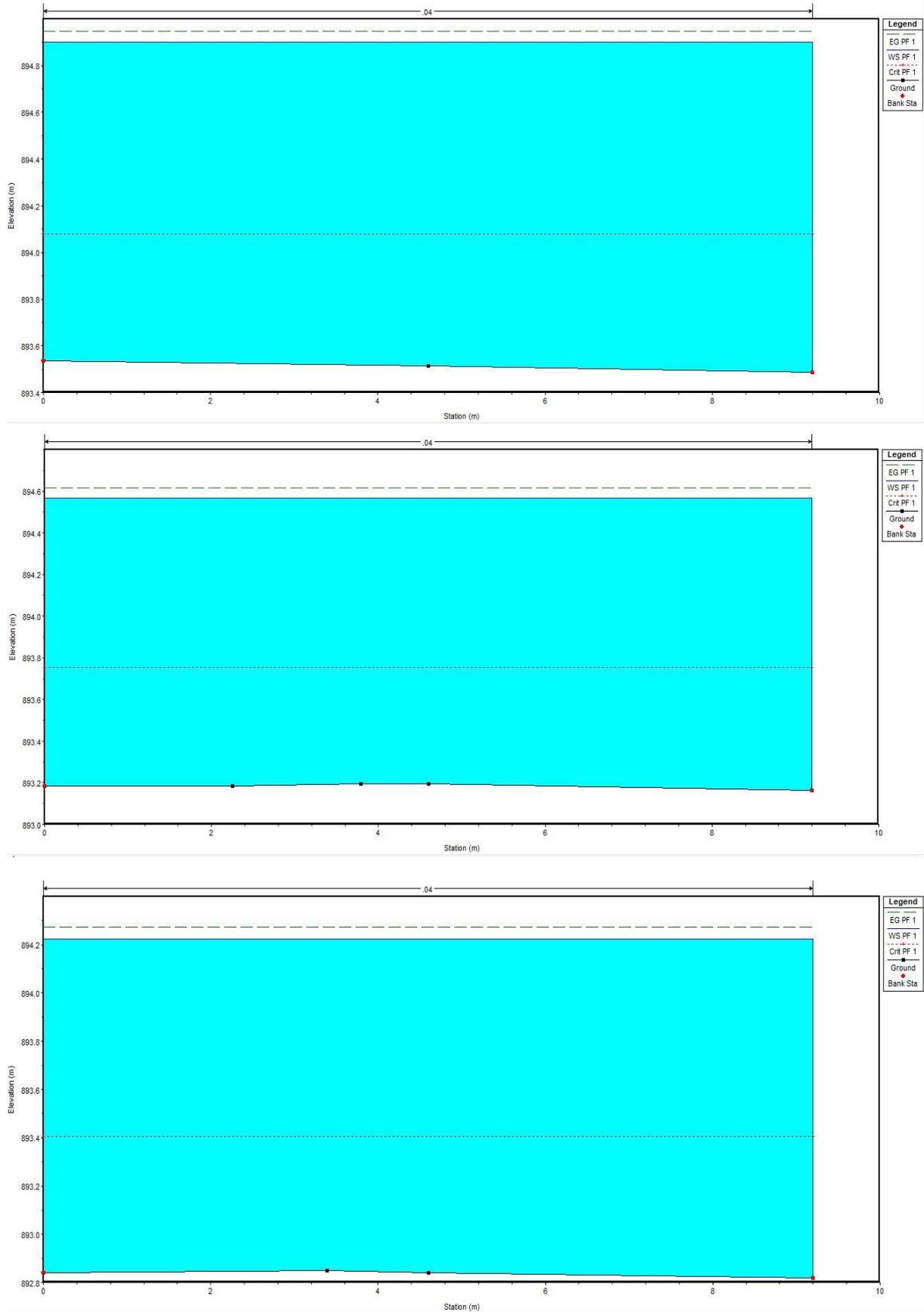


Figure 4.25 : Profils en travers (S20 à S22).

# Etude hydraulique

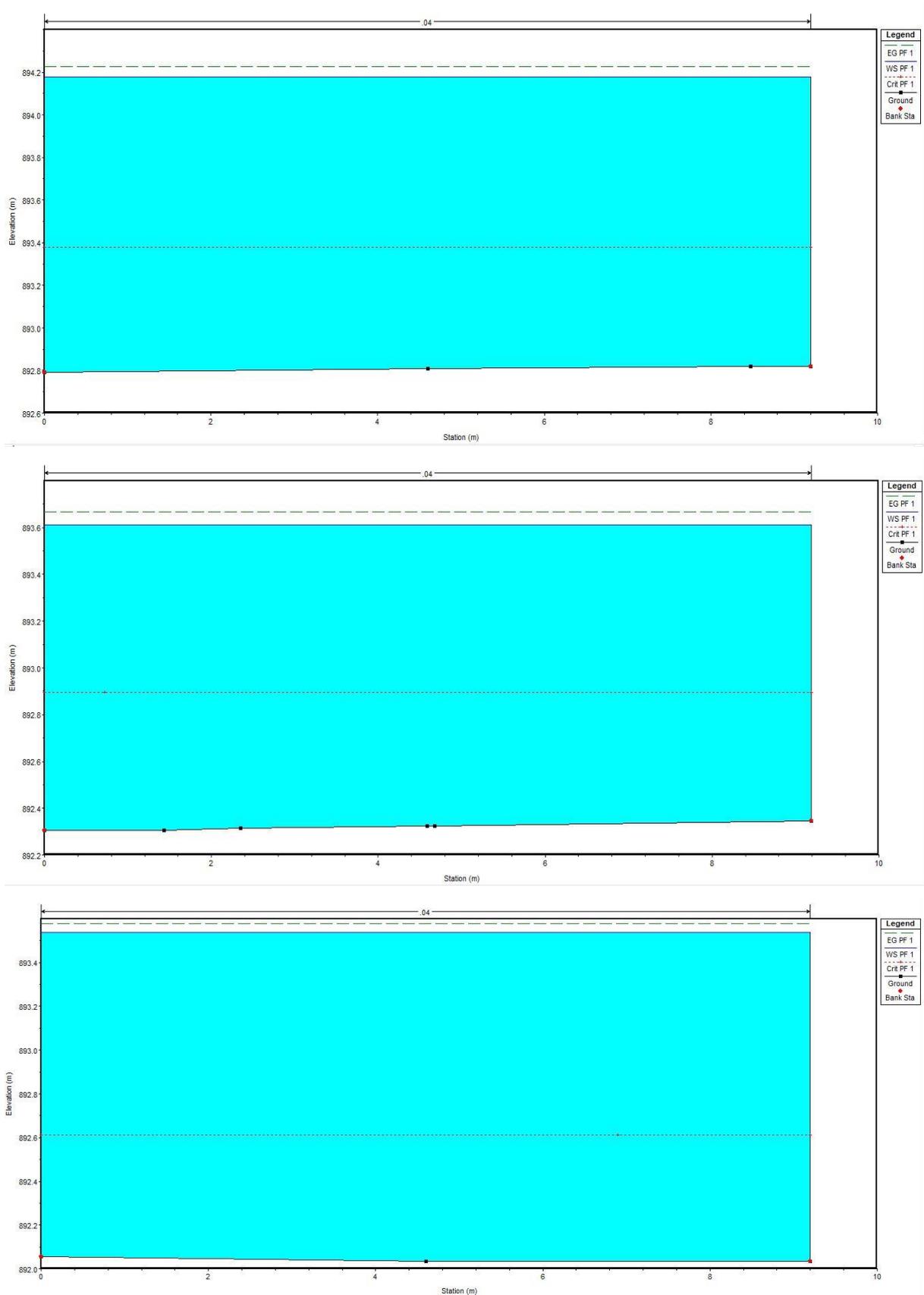


Figure 4.26 : Profils en travers (S23 à S25).

# Etude hydraulique

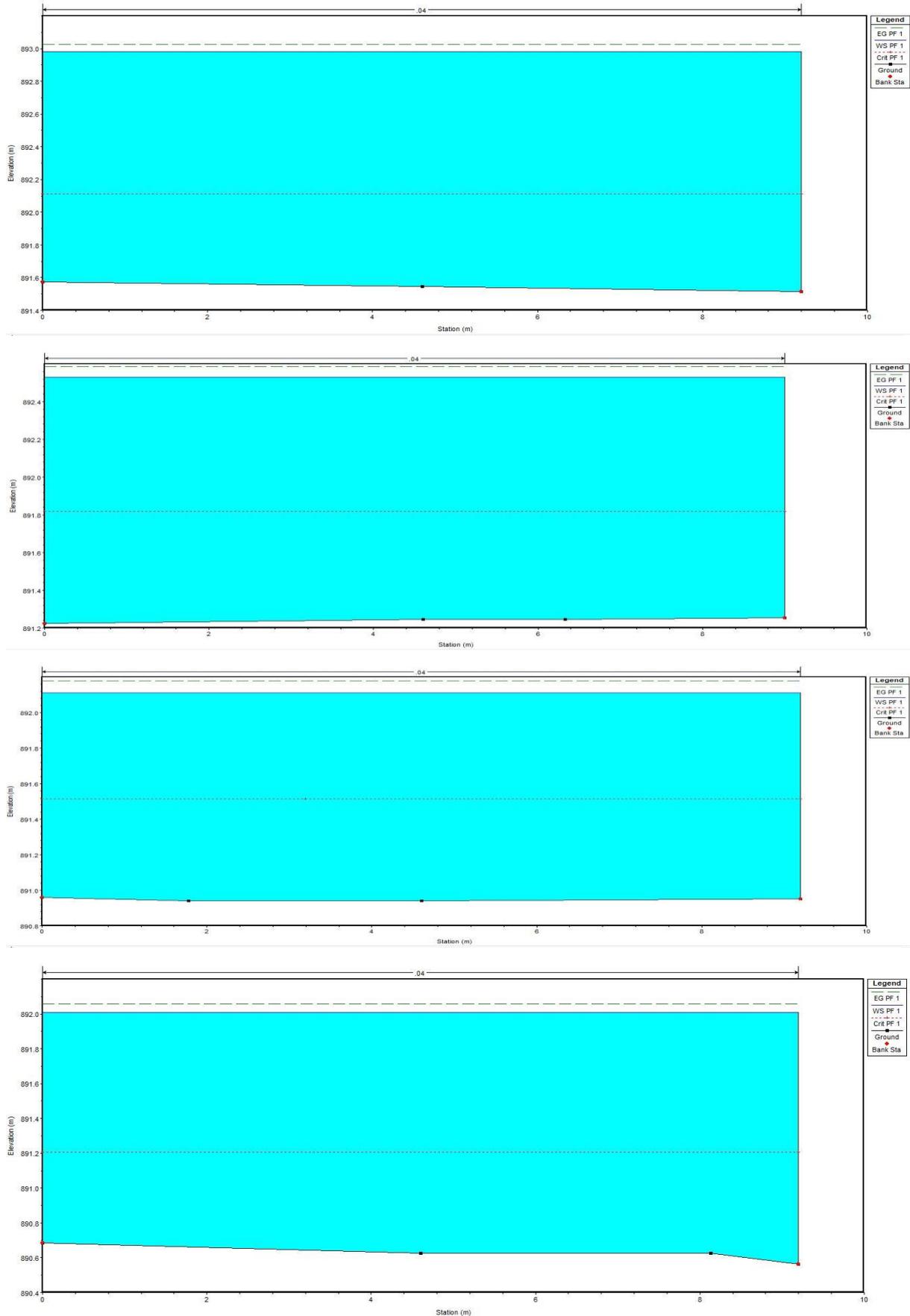
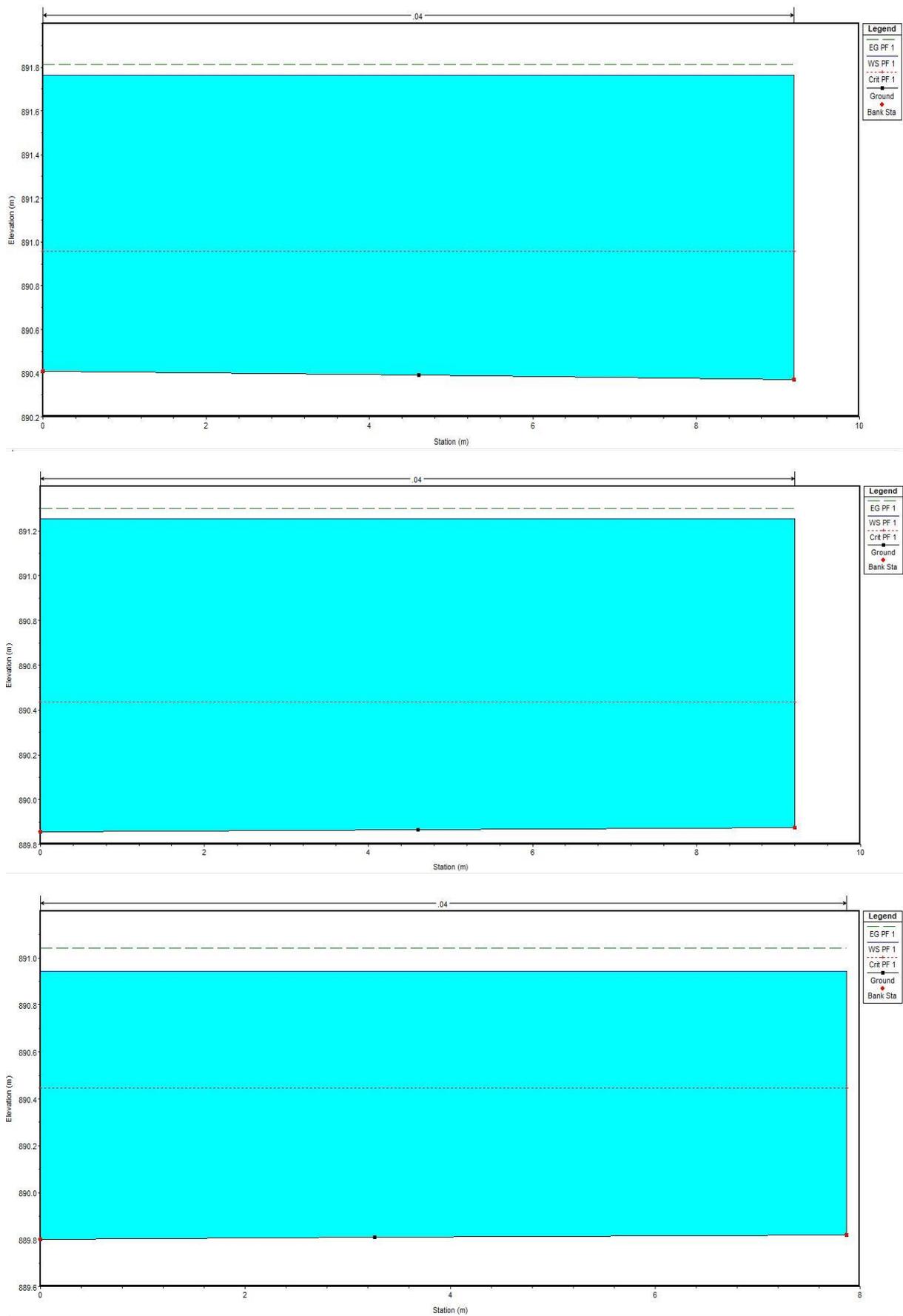


Figure 4.27 : Profils en travers (S26 à S29).

# Etude hydraulique



**Figure 4.28** : Profils en travers (S30 à S32).

### **Conclusion :**

D'après l'étude et le diagnostic mené sur le site de notre projet, l'oued Metlagh nécessite un aménagement, vu que :

- Les résultats de calcul de la ligne d'eau ont déterminé un écoulement torrentiel tout le long du canal. Ceci engendre des vitesses importantes pour des hauteurs d'eau inférieures à la hauteur critique avec des nombres de Froude compris entre 1.76 et 2.74.
- Il présente un risque de débordement tout le long des sections.

# **Chapitre-5-** **Proposition de variantes** **d'aménagements**

## **Introduction :**

Le but de cette étude, est de bien protéger la ville de Beida Bordj contre les crues. Cette protection consiste à sélectionner les meilleures solutions d'aménagements compte tenu des conditions naturelles.

Sur la base des résultats obtenus à partir des chapitres précédents, et en fonction de l'analyse de notre zone d'étude, des schémas d'aménagement d'Oued Metlagh seront proposés.

Parmi ces schémas une variante sera retenue et fera l'objet d'une étude détaillée. Cette variante garantira la protection de la localité contre les crues de l'oued.

Il faut surtout que les solutions, soient réalisables du point de vue technique et économique et qu'elles soient, bien adaptées avec le terrain et ses conditions aussi bien topographiques que géologiques.

## **1. Proposition de variantes d'aménagements :**

L'aménagement du cours d'eau consiste à le canaliser. En considérant les données hydrologiques détaillées précédemment et les données cartographiques du site de l'étude, nous proposons les variantes ci-dessous.

## **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 limitrophe et d'éviter le débordement des eaux lors des crues. Ces raisons, nous pousse 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 de confection de ce canal:

- Canal avec des murs en gabions.
- Canal en béton armé.

### 2.1. Protection avec des murs en gabions :

Les gabions sont des structures composites, polyvalentes et robustes, constituées de cages en grillage à double torsion, remplies de blocs durs et résistants. Les gabions servent régulièrement à la construction d'ouvrages de soutènement, de protection anti-affouillement, de revêtement des canaux et de protection anti-érosion sur les revêtements qui équipent les berges de rivière.

#### 2.1.1. Classification des gabions :

- **Les boîtes de gabions** sont des cages en grillage métallique à double torsion de taille diverses, uniformément subdivisées en cellules remplies d'engrèvements durable.
- **Les matelas de gabions** sont des structures parallélépipédiques en grillage soudé, dont la base est plus grande que la hauteur ; celle-ci pouvant atteindre jusqu'à 30 cm. Les matelas sont compartimentés tous les mètres par des cloisons appelées diaphragmes, pour créer des surfaces maximales internes de 2m\*1m. Pour empêcher le déplacement des pierres lors des fortes crues des diaphragmes supplémentaires sont utilisés.

La figure (5.1) schématise quelques types de gabions.

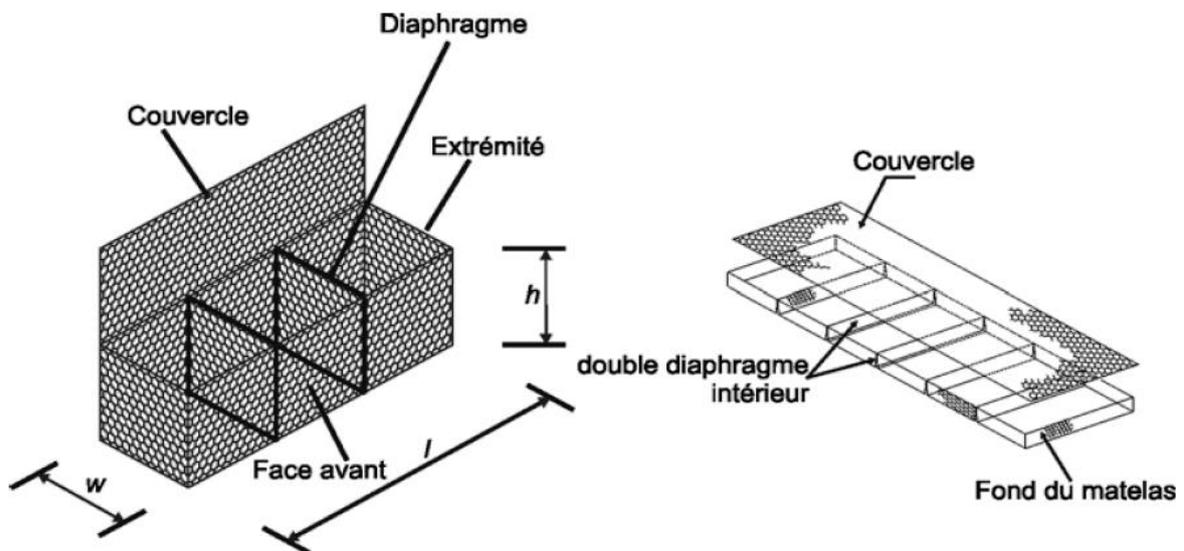


Figure 5.1 : Quelques types de gabions.

## Proposition de variante d'aménagements

### 2.1.2. Avantages et inconvénients :

Les avantages du gabion se résument comme suit :

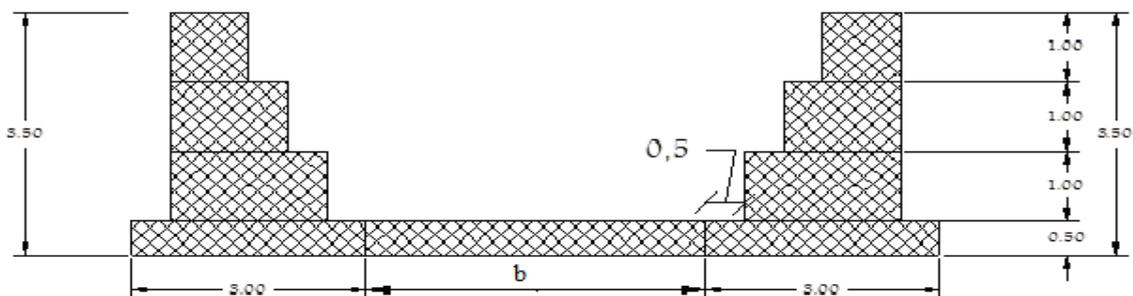
- Toutes les dimensions sont disponibles ;
- Le grillage métallique est disponible sur le marché local ;
- Adaptabilité à toute forme de structure du sol et du terrain ;
- Le gabionnage est un bloc souple résistant et difficilement déplaçable par la force de l'eau ;
- Le mur en gabion peut se végétaliser facilement afin d'encore mieux l'intégrer dans l'environnement ;
- Ne nécessitant pas d'ossature secondaire ;
- Facilité de mise en œuvre.

Alors que les quelques inconvénients sont :

- La formation technique d'une main d'œuvre qualifiée est nécessaire ;
- Eloignement des carrières ;
- Nécessité de mise en œuvre d'un filtre granulaire ;

Cette variante est constituée d'un canal en murs de gabions le long des berges du cours d'eau. La forme des murs en gabion est en escalier des deux cotés de l'axe de l'oued. Ils seront ancrés de 0.50m (figure 5.2).

Le rôle de ces canaux est de contenir et de rediriger vers les endroits préférentiels la circulation des eaux, surtout dans les zones d'habitations. On projette la pose d'un matelas tout au long du lit du cours d'eau pour protéger le canal lui-même contre les affouillements, ainsi qu'un convergent sur une longueur de 10m tout au début du canal.



**Figure 5.2 :** coupe type d'un canal en gabionnage.

## Proposition de variante d'aménagements

### 2.2. Protection avec un canal en béton armé :

Cette variante consiste en la construction d'un canal 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 mais le coût de réalisation est important.

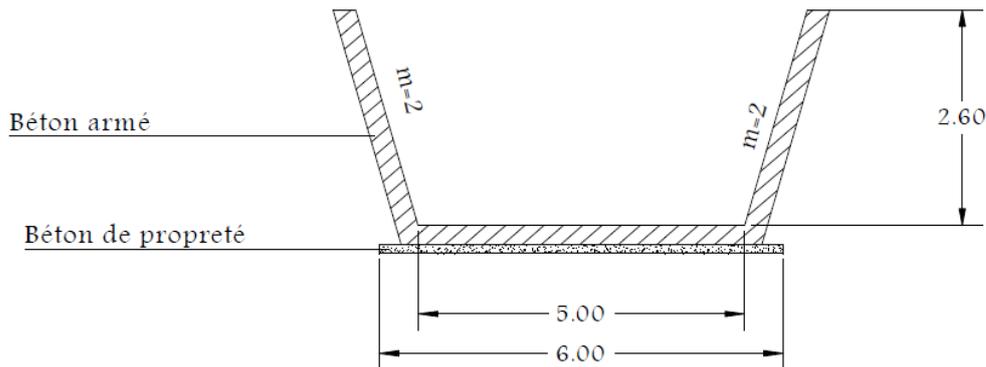


Figure 5.3 : Coupe type d'un canal en béton armé.

#### 2.2.1. Avantages et inconvénients :

- Le rendement hydraulique est efficace.
- Les résultats de calcul sont réalistes.
- La durée de vie est importante.
- Les matériaux de construction sont disponibles.
- Entretien très facile.
- La forme étroite est adaptée à la ville.
- La durée de réalisation très courte par rapport à un revêtement en gabion.

Alors que les quelques inconvénients sont :

- Le coût de génie civil est peu élevé.
- Rugosité élevée.

### 3. Etude des variantes :

Dans cette étude, les variantes proposées pour l'aménagement du cours d'eau sont :

- Canal en béton légèrement armé.
- Canal en Gabion.

## Proposition de variante d'aménagements

Un calcul hydraulique de chaque variante sera fait en vérifiant l'état d'écoulement par une simulation avec HEC-RAS pour chaque tronçon du cours d'eau, et une description des variantes proposées pour pouvoir choisir la variante la plus adaptées du point de vue technique et économique.

### 3.1. Canal en béton armé :

Cette variante consiste en une réalisation d'un canal de section trapézoïdale en béton armé.

#### 3.1.2. Estimation du coût de la variante :

Pour le calcul des volumes du béton, on prend une épaisseur de 15cm pour le canal en béton armé et de 10cm pour le béton de propreté.

**Tableau 5.1** : Coût de réalisation du canal en béton armé.

Désignation des travaux		Unité	Désignation des travaux	Prix unitaires (DA)	Montant (DA)
Terrassement	Déblai	m <sup>3</sup>	4904	250	1226000
	Remblai	m <sup>3</sup>	33	200	660
Béton de propreté		m <sup>3</sup>	194	6000	1164000
Béton armé		m <sup>3</sup>	368	32000	11776000
Gravier		m <sup>3</sup>	258	800	206400
Total					14373060

### 3.2. Canal en Gabions :

Les matelas en gabions sont utilisés principalement pour réaliser les revêtements et les protections anti-affouillements. Ils se présentent sous forme de dimensions variées, dont les plus courants sont 2\*1\*1m et 2\*1\*0.5m. Les canaux en gabion, sont mis en œuvre d'une façon spéciale. Les sacs sont agencés de manière à créer un escalier qui renforce la stabilité des berges.

#### 3.2.1. Estimation du coût de la variante :

## Proposition de variante d'aménagements

**Tableau 5.2** : coût de réalisation du canal en gabion.

Désignation des travaux		Unité	Désignation des travaux	Prix unitaires (DA)	Montant (DA)
Terrassement	Déblai	m <sup>3</sup>	6453	250	1613250
	Remblai	m <sup>3</sup>	717	200	143400
Gabion		m <sup>3</sup>	4302	4500	19359000
Total					21115650

### 4. Choix de la variante d'aménagement :

#### 4.1. Critères d'évaluation :

Pour le choix de la variante à retenir, il faut avoir recours à plusieurs paramètres :

- **Efficacité hydraulique** : correspond au potentiel d'amélioration de la capacité hydraulique que peuvent apporter les mesures.
- **Difficultés de réalisation.**
- **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.

#### 4.2. La variante choisie :

Pour la première variante, la stabilité et la durée de vie importante sera relativement assurées pour les ouvrages en béton armé. Contrairement à la protection en gabionnage qui a un coût élevé, une durée de vie réduite et demande une main d'œuvre qualifiée pour sa bonne exécution.

Nous remarquons que pour les variantes proposées, la première variante est caractérisée par un coût moyennement faible par rapport à la deuxième.

Partant de cette situation on écarte purement la deuxième variante malgré les avantages qu'elle représente, et nous soumettons le choix de la première variante qui présente beaucoup plus d'avantages lié surtout à la facilité de réalisation, ainsi qu'elle est économique, facilité de nettoyage et le rinçage total du canal.

### Conclusion :

Dans cette partie d'étude, on a proposé et élaboré deux variantes pour la protection de notre

## Proposition de variante d'aménagements

---

ville contre les crues d'oued Metlagh.

Le choix final consiste principalement en une projection d'un canal trapézoïdal en béton.

# Chapitre -6- Organisation de chantier

## **Introduction :**

L'organisation d'un chantier est l'ensemble des dispositions envisagées pour l'exécution dans les meilleures conditions d'un travail prévu.

Cette organisation consiste à déterminer et à coordonner la mise en œuvre des moyens nécessaires pour accomplir dans les meilleures conditions possibles les travaux à exécuter. Organiser un chantier revient donc à calculer tous les éléments ventilés en temps et de prendre toutes les mesures pour que la réalisation du projet se fasse :

- En conformité avec le projet.
- De bonne qualité.
- Au moindre délai.
- Au moindre coût.
- Sans accidents humains.

Le tri-type qualité –coût –délai demeure l'ossature et l'objectif à atteindre par une bonne organisation de l'exécution d'un projet ; par conséquent, pour réaliser un projet d'une façon efficace, il y a nécessité de travailler selon un plan de mise en œuvre soigneusement étudié qui détermine entre autres :

- Arrêter à l'avance les méthodes d'exécution à utiliser.
- Le matériel à utiliser.
- L'ordre d'intervention en respectant les contraintes technologiques.
- Les besoins en effectifs.
- Les besoins en matériaux.

Il est également nécessaire d'étudier un plan d'installation de chantier pour éviter différentes gênes et retard lors d'exécution, en un mot le scénario d'exécution prévisionnel du démarrage à la livraison du projet doit être imaginé à l'avance par le projeteur en organisation, le temps consacré à la préparation et à la maturation du projet permet de gagner sur le délai d'exécution.

## **1. Généralités :**

### **1.1. Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier :**

Il nous paraît indispensable de rappeler les rôles des différentes personnes amenées à intervenir dans l'acte de construction.

#### **1.1.1. Le maître de l'ouvrage :**

Il est appelé couramment le client, c'est une personne physique ou morale pour le compte de laquelle sont exécutés les travaux. Son rôle est de définir le but à atteindre (programme), d'organiser un financement, de passer et de régler les marchés des travaux. Après la réception des ouvrages, il en est le propriétaire et parfois le gestionnaire.

#### **1.1.2. Le maître d'œuvre :**

C'est une personne physique ou morale, chargée par le maître de l'ouvrage de recevoir l'ouvrage, d'établir le dossier de consultation des entreprises, d'assister le maître d'ouvrage dans le dépouillement des offres, de contrôler l'exécution des travaux et de proposer leur réception et leur règlement, après en avoir établi le décompte.

#### **1.1.3. L'entreprise :**

C'est la réunion des moyens mobiles et immobiles et du personnel dont l'objectif est de réaliser les travaux, c'est un organisme contractuel.

#### **1.1.4. L'entrepreneur :**

Personne physique quand il est individuel ou morale quand est une société, titulaire d'un marché de travaux conclu avec le maître d'ouvrage, chargée de l'exécution des travaux et, parfois de la conception détaillée des ouvrages. L'entrepreneur est responsable du chantier et de l'ouvrage en cours de construction tant que celui-ci n'a pas été réceptionné.

## **2. Installations du chantier :**

### **2.1 Installations destinées au personnel :**

Ce sont généralement les dortoirs, vestiaires, réfectoires, installations sanitaires et les bureaux de chantier.

### **2.2 Installations destinées au stockage des matériaux :**

Pour les ciments nous utilisons soit des silos, soit des baraquements en bois ou en métal, les agrégats sont stockés en plein air, seulement nous prévoyons un cloisonnement entre les différents types d'agrégats pour éviter leur mélange et de ce fait faciliter le dosage du béton. Les aciers doivent être stockés dans des endroits loin de la forte humidité (Baraquements, hangars...).

### **2.3 Installations destinées à la réparation des engins :**

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

### **2.4. Installations pour la préfabrication :**

Ce sont généralement des hangars munis de matériel nécessaire permettant la réalisation des éléments de l'ouvrage.

## **3. Description de projet :**

Notre projet est une étude d'aménagement, il est divisé en deux principaux ouvrages, de point de vue construction, et de point de vue travaux on peut citer trois types des travaux, travaux de maçonnerie, travaux de terrassement et remblayage, et compactage.

Donc on fait évaluer c'est travaux la de point de vue volume, et on va les transformer en coût a l'aide des prix unitaire, pour avoir le devis estimatif de ce projet.

Dans cette étude on a l'occasion aussi d'étudier les engins nécessaires pour les différents travaux et déterminer leurs rendements et leurs efficacités d'utilisation.

Pour le projet on a choisi l'étude par ouvrages, c'est à dire détermination des volumes des travaux en partant par une organisation par ouvrage.

### **3.1. Réalisation de la variante d'aménagement :**

La bonne connaissance du site de l'oued et la conception judicieuse d'un ouvrage bien adapté à son site ne suffisent pas à garantir la qualité et la sécurité de l'ouvrage. Le soin apporté à l'exécution à du canal d'aménagement et les moyens qui y sont consacrés ont également une importance primordiale pour la réussite des opérations de construction. Il est donc nécessaire d'assurer que le chantier est confié à tout le moyen nécessaire pour réaliser l'ouvrage dans les bonnes conditions.

#### **3.1.1. Les moyens de chantier :**

a)- Les 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.

b)- Les moyens matériels :

## Organisation de chantier

---

On peut distinguer le matériel général de terrassement, le matériel lié au type d'ouvrage et le matériel spécifique.

Pour l'ensemble de matériel on doit mentionner les marques, les types, les puissances, les rendements et le nombre des engins affecter au chantier ainsi que leur mode d'intervention suivant le phasage des travaux.

c)- Le matériel de terrassement :

Le matériel général de terrassement comprend les engins traditionnels mis en œuvre pour la constitution des grands canaux en béton arme, l'extraction et / ou le transport des matériaux et la réalisation des finitions.

### **3.2. Engins utilisés :**

Avant de commencer la construction de l'ouvrage du canal d'aménagement il faut faire les travaux de découpage des opérations.

La première opération pour la construction c'est le découpage de terre végétale sur des faibles profondeurs.

Dans ce cas nous allons utiliser la niveleuse automotrice.

#### **3.2.1. La niveleuse :**

La niveleuse automotrice est constituée de :

- Un tracteur à roues prolongées vers l'avant par un long bras coudé reposant lui même à son extrémité sur un essieu à deux roues directrices commandées depuis le tracteur.
- Toutes les roues sont inclinables sur leur essieux pour permettre à la niveleuse de se déplacée en toute terrain.
- Une couronne circulaire.
- Une lame (outil de travail monté sur la couronne).

#### **➤ Principe de fonctionnement :**

La lame est montée sur la couronne et par rapport à laquelle elle peut tourner ou se déplacer dans son prolongement, c'est à dire prendre toutes les positions possibles dans le plan de la couronne.

En faisant pivoter le bras portant la couronne on peut donner à celle ci une inclinaison. Les deux mouvements combinés de la lame et de la couronne permettent donc à l'outil

d'occuper toutes les positions possibles dans l'espace.

Cette mobilité de l'outil constitue le principal avantage de l'engin et lui permet d'effectuer une gamme de travaux.



**Figure 1 :** Niveleuse automotrice .

### 3.2.2. Dozer :

C'est un tracteur muni d'une lame à l'avant, cette lame est mobile dans certains sens d'où on aura les angledozers et les tipdozers.

#### ➤ Description de la lame :

La lame est concave de largeur supérieure à la largeur de l'engin qui la porte, elle est en acier dur et renforcé à sa base par une partie en acier au manganèse, elle est fixée au châssis de l'engin à l'aide d'un cadre robuste son mouvement est commandé soit par câbles, soit par vérins hydrauliques..

- Si la lame peut s'abaisser et s'élever verticalement on a le bulldozer ;
- Si en plus la lame peut prendre des positions obliques en pivotant autour d'un axe vertical on a l'angledozer ;
- Si en plus, on peut faire pivoter la lame autour d'un axe horizontal c'est à dire faire plus ou moins avancer son bord supérieur on a le tipdozer.

Les dozers sont munis de lame à joues à leurs extrémités latérales de manière à réduire les pertes de matériaux durant le déplacement.

### ➤ **Emploi des dozers :**

C'est un engin pouvant faire tout à la fois : il peut extraire, pousser, transporter (sur faible distance) et régaler les terres (mettre à niveau égal).

Les usages les plus fréquents des dozers sont :

- La préparation des terrains, défrichage et débroussaillage, en plus l'abattage des arbres ;
- Les terrassements ;
- La préparation des terrains, défrichage et débroussaillage, en plus l'abattage des arbres ;
- Les terrassements ;
- Nivellement des matériaux misent en dépôt par d'autres engins ;
- Creusements des faussées, dressage des talus, démolition des maçonneries, remblayage des trous ou de tranchées, déblayage des obstacles variés ;

Les dozers utilisent la puissance de poussées de tracteurs pour :

- **Le déroctage** : Il s'agit d'enlever des gros blocs de rochés. A la place de la lame du dozer, on monte à l'avant du tracteur un râteau muni des dents d'attaque en acier spécial (dur), ces dents disloquent les roches, les extraire et les transportés ;
- **Défrichage** : C'est encore un râteau monté à l'avant de l'engin mais moins dur que le précédent (celui de déroctage), il est destiné à arracher les racines tout en préservant la terre végétale ;
- **Chasse-neige** : On remplace la lame par une étrave ;
- **Abattage** : On monte à l'avant du tracteur un bras porte fourches, qui sert à prendre appuis sur l'arbre plus haut que pourrait le faire la lame et en augmentant le bras de levier il permet d'abattre l'arbre.



**Figure 2:** Dozer.



**Figure 3 :** Chargeur pneumatique.

### **3.2.3. Pelle hydraulique équipée en rétro :**

Engin de terrassement sur roues ou sur chenilles, utilisant, pour excaver ou charger des matériaux, un godet situé à l'extrémité d'un bras. Les déplacements du bras et du godet

## Organisation de chantier

---

peuvent être animés par une transmission hydraulique (pelle hydraulique) ou par des câbles (pelle à câble).

Dans la partie d'exécution des déblais (l'excavation de la tranche de la semelle) on utilise une pelle hydraulique équipée en rétro.

Elle est constituée de :

- Un châssis porteur ou Truck.
- Une cabine montée sur le truck et pivotant autour d'un axe vertical grâce à un chemin de roulement circulaire (couronne de galet).
- Des vérins hydrauliques qui jouent le rôle de la flèche et du bras dans le cas d'une pelle mécanique.
- Un godet muni des dents d'attaques en acier au manganèse très dure.



**Figure 4 :** pelle à chenilles avec godet à position rétro.

### 3.2.4. La Bétonnière :

Elle est utilisée pour le mélange et la fabrication de béton à base de gravier de sable d'eau et de ciments selon leurs doses et leur destination, on a soit des bétonnières simples ou autre appelé pompe à béton, dont voici quelques schémas :



**Figure 5 :** bétonnière en cours de fonctionnement.



**Figure 6 :** pompe à béton.

### 3.2.5. Matériel de compactage :

Après les travaux de réalisation des semelles et les demi-poteaux, il faut faire le remblayage de la fouille et le bien compacté. Même chose pour le remblayage des cases entre les ceintures et le coffrage perdu. Donc on a besoin d'un engin de compactage. On peut utiliser les compacteurs à rouleau lisse ou à pie mouton.



**Figure 7 :** Compacteur à rouleau lisse.

### 3.2.6. Camions :

Ils seront utilisés pour l'évacuation des déblais mais aussi pour le transport des sables et graviers vers le chantier.



**Figure 8 :** Camion.

**Tableau 6.1 :** Engins et leurs taches.

<b>Tache</b>	<b>Engins</b>	<b>Actions</b>
Travaux de préparation	Dozers	Enlever les obstacles et les herbes
	Chargeurs	
	Pelles	
	Camions	
Terrassement	Pelles	Donner la forme exacte du canal
	Chargeurs	
	Dozers	
	Niveleuse	
	Camions	
Compactage	Tous types de compacteurs à rouleaux lisses	Consolider les berges de l'oued pour éviter l'affaissement
	Compacteurs à pieds de mouton	Compacter le fond de l'oued
Coulage	Bétonneuse	Produire du béton
	Pompe à béton	Couler le béton

## 4. Planification :

### 4.1. Définition :

C'est une méthode dont dispose le cadre pour rendre son travail efficace, elle consiste :

- L'installation des postes de travail.
- L'observation instantanée.
- L'analyse des tâches.
- Le chronométrage.
- La définition des objectifs et des attributions.
- La simplification des méthodes.
- La stabilisation des postes de travail.

### 4.2. Techniques de la planification :

Il existe deux principales méthodes de planification à savoir :

- Méthodes basées sur le réseau.
- Méthodes basées sur le graphique.

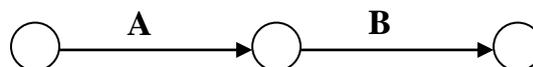
#### 4.2.1. Méthodes basées sur le réseau :

##### 4.2.1.1. 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 et la durée de réalisation. On distingue deux types de réseaux :

##### 1. Réseau à flèches :

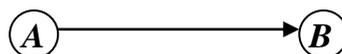
L'opération est représentée par une flèche et la succession des opérations par des nœuds.



L'opération A précède l'opération B

##### 2. 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.

##### 4.2.1.2. Construction du réseau :

Pour construire un réseau, il convient d'effectuer les six (6) opérations suivantes :

- a. Etablissement d'une liste des tâches.
- b. détermination des tâches antérieures.

## Organisation de chantier

---

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

### 4.2.1.3. La méthode de calcul basée sur le réseau :

La méthode de calcul utilisée dans notre projet est la méthode C.P.M (méthode du chemin critique), car les opérations se suivent.

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

1<sup>ère</sup> phase : l'effectif nécessaire pour effectuer le travail considéré.

2<sup>ème</sup> phase : analyser systématiquement le réseau, heure par heure, jour par jour, selon l'unité de temps retenue

3<sup>ème</sup> phase : adapter le réseau aux conditions ou contraintes fixées par l'entreprise.

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

Les paramètres indispensables dans l'exécution de cette méthode sont les suivants :

DCP	TR
DFP	DCPP
DFPP	MT

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.

$$\text{ET : } \begin{cases} DFP = DCP + TR \\ DCPP = DFPP - TR \end{cases}$$

#### ➤ Chemin critique (C.C) :

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

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

## Organisation de chantier

---

$$C.C \Leftrightarrow \begin{cases} MT = 0 \\ \sum TR_{C.C} = DCP \end{cases}$$

### 4.2.1.4. Calcul des durées :

Les durées des terrassements sont présentées dans le tableau (2).

**Tableau 6.2 :** Décomposition des travaux.

Tronçon	Décapages	Déblais	Remblais	Gravier	Béton de propreté	Béton armé	Délais
longueur	[m3]	[m 3]	[m 3]	[m 3]	[m 3]	[m 3]	[Jours]
100	72	270	2,7	18	13,5	28,9	30
550	396	1485	9,35	99	74,25	158,95	70
784	564,48	2116,8	20,77	141,12	105,84	179,74	90
Total	1032,48	3871,8	32,82	258,12	193,59	367,59	190

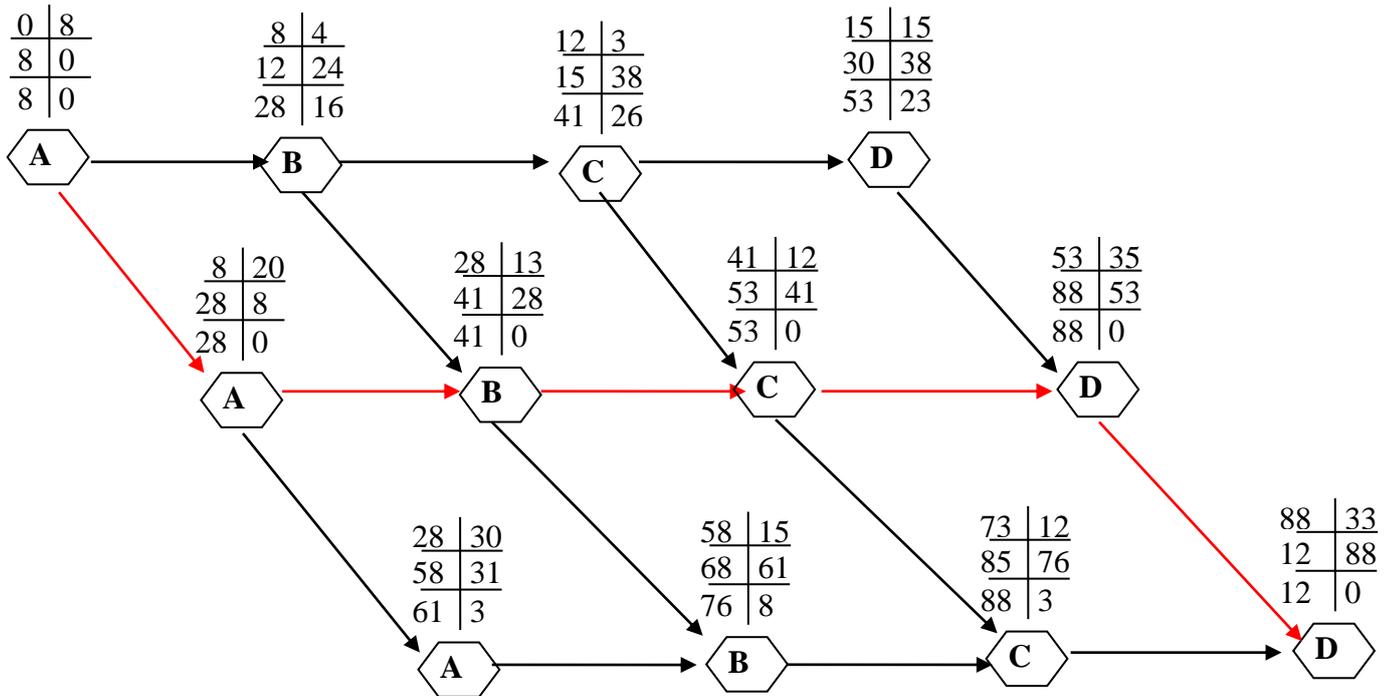
Le tableau (3) résume les différentes tâches et leurs durées dans l'ordre :

**Tableau 6.3:** Liste des tâches.

Notation	Opération	Durée [jour]
A <sub>1</sub>	Terrassement du tronçon 1	8
B <sub>1</sub>	Pose de Gravier 1	4
C <sub>1</sub>	Béton de propreté1	3
D <sub>1</sub>	Béton armé1	15
A <sub>2</sub>	Terrassement du tronçon 2	20
B <sub>2</sub>	Pose de Gravier 2	13
C <sub>2</sub>	Béton de propreté2	12
D <sub>2</sub>	Béton armé2	35
A <sub>3</sub>	Terrassement du tronçon3	30
B <sub>3</sub>	Pose de Gravier 3	15
C <sub>3</sub>	Béton de propreté3	12
D <sub>3</sub>	Béton armé3	33

### 4.2.1.5. Détermination du chemin critique :

Sur le réseau à nœuds suivant le chemin critique est comme suit :



**Figure 9 :** Réseau à nœuds.

### Conclusion :

D'après ce travail on peut conclure que l'organisation de chantier est nécessaire avant le commencement des travaux, car elle nous permet de définir tout les volumes des travaux nécessaires pour l'exécution du chantier. D'autre part on peut avoir une information sur le coût total de projet ainsi que son temps de réalisation.

## **-Conclusion générale-**

La maîtrise des crues constitue un centre d'intérêt d'actualité vers lequel convergent plusieurs approches. La simulation numérique en est une, elle permet de mieux comprendre le phénomène des crues, et cela dans le but d'apporter une contribution aux problèmes de gestion des risques d'inondation par le développement d'une politique plus rationnelle et d'établir des systèmes d'alertes les plus adaptés, ainsi que des plans de protection et d'intervention devant ce type de catastrophes.

Au cours de notre étude, nous avons analysé les données en notre disposition et déterminé les débits maximums pour chacun des cinq oueds traversant la zone, qui nous serviront pour la simulation des écoulements à l'aide du logiciel HEC-RASS. Ceci dans le but de dimensionner et aménager le cours d'eau oued Metlagh, commune de Beida Bordj, wilaya de Sétif.

Finalement nous avons proposé deux variantes, mais après une étude technico-économique une a été éliminée pour finir par retenir la première qui consiste en une réalisation d'un canal trapézoïdal en béton armé, de 1m de hauteur et de 1,2m de largeur.

## **-Références bibliographiques-**

- [1] **DEGOUTTE G**, Aide mémoire d'hydraulique a surface libre, Edition ENGREF, 66 p 2006.
- [2] **DEGOUTTE G**. Diagnostique aménagement et gestion des rivières-hydraulique et morphologie fluviale appliquées. Collection Tec & Doc. Paris. France. 394p 2006.
- [3] **Armando LENCASTRE**, Hydraulique Générale, 2eme édition, éditions EYROLLES, 1996.
- [4] HEC-RAS Users Manuel. US Army corps of engineers Hydrologic Engineering Center, version 4.1 January 2010.
- [5] **BENNIS, Saad**. Hydraulique et hydrologie. PUQ, 2007., 2ème Edition, 2009.
- [6] **DEGOUTTE G**. Diagnostic, aménagement et gestion des rivières: hydraulique et morphologie fluviales appliquées. Éd. Tec & doc, 2012.
- [7] **DUBREUIL, P**. Introduction à l'analyse hydrologique, Ed., Masson et Cie, 1974.
- [8] **MEYLAN, Paul**, FAVRE, Anne-Catherine, et MUSY, André. Hydrologie fréquentielle: une science prédictive. PPUR presses polytechniques, 2008.
- [9] **TOUAÏBIA B**. Manuel pratique d'hydrologie, édition Madani 2004