

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Abderrahmane MIRA de Bejaia



Faculté de Technologie  
Département d'Hydraulique

## MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

Mr **Talbi Saad Eddine**

Mr **Amenache Anis**

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER en Hydraulique**

Option : **OUVRAGES ET AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES**

### INTITULE :

**ÉTUDE DE L'AMÉNAGEMENT DE L'OUED SAF-SAF  
COMMUNE DE RAS EL OUED  
W. BORDJ BOU ARRÉRIDJ**

Soutenu le .... /.... /..... Devant le jury composé de :

- Président : **Mr. Sellaoui.A**
- Promoteur (s): **Mr. Nasri.k**
- Examineur (s) : **Mr. Merah.F**

Année Universitaire : 2020/2021

# Dédicace

- *Je dédie ce modeste travail avant tout à la lumière  
de ma vie,  
La source de mon bonheur et le guide de  
Mon chemin à : **mes très chers parents.***

*Que je ne saurais jamais remercier assez pour leurs  
sacrifices et Leur présence durant mes études et  
toute ma vie.*

- *A mes frères et ma chère sœur.*
  - *A toute la famille: TALBI.*
- *A mon cher amis et mon binôme  
Amenache Anis.*
- *A tous mes amis(es) et mes connaissances.*

**SAADEDINE**

## □ DÉDICACES □

*À chaque fois qu'on achève une étape importante dans notre vie, on fait une pensée pour se rappeler de ces personnes qui ont partagé avec nous tous les bons moments de notre existence, mais surtout les mauvais. Ces personnes qui nous ont aidés sans qu'on leur demande, soutenus sans réserve, aimé sans compter, ces personnes qui ont cru en nous et que grâce à qui notre bonheur et joie reviennent de droit, à qui un malheur en nous, en eux se transforme en pleur. Que le tout puissant nous garde ces personnes très chères à nos cœurs.*

*Je dédie ce modeste mémoire qui est l'accomplissement de longues années d'études, en premier lieu à :*

*Premier lieu à : À ma très chères parents à qui je dois beaucoup pour leur sacrifices, leur amour, leur aide et leur soutien. .*

*À mon frère Amine . À tous les membres de la famille : **AMENACHE***

*À Mes sœur Kathia , Liliam,,Imen,Sarah et leur maries moh et brahim et saidet leur enfants.sarah nélia rayan houda nada et adam*

*À mes très chères amies : Fouad(Zebbadi), Chocho, Muss, Lilu, Omar Bandi ,Abdu et Mennad et Chikh el assimi et dudu et tous ceux que J'ai oublié de citer.*

*À mon chère ami Saad Eddine qui est aussi mon Binôme de travaille .*



## Sommaire

Introduction générale.....	13
CHAPITRE I : ETUDE CLIMATIQUE ET HYDROLOGIQUE :	2
I.1. Introduction :	2
I.2. Présentation de la zone d'étude :	2
I.2.1. Situation de la zone d'étude :	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.2.2. Bassin versant de el hodna .....	3
I.2.3. Le hodna une région frontière .....	3
I.2.4. Sous Bassin versant de l'oued SAF-SAF .....	4
I.3. Etude du climat :	4
I.3.1. Conditions climatiques :	4
I.3.2. Pluviométrie .....	5
I.3.3. Température.....	5
I.3.4. Détermination de type de climat :	7
I.4. Etude du bassin versant de SAF-SAF :	7
I.4.1. Les caractéristiques géométriques.....	7
I.4.2. Caractéristiques de forme :	8
I.4.2.1. Indice de compacité de Gravelius Kc (1914) :	8
I.4.2.2. Rectangle équivalent ou Rectangle de Gravelius .....	9
I.4.3 Caractéristiques de relief.....	10
I.4.3.1. Courbe hypsométrique .....	10
I.4.3.2. Hauteurs caractéristiques .....	12
I.4.3.3. Les indice de pente.....	12
I.4.3.4. La dénivelée :	13
I.4.3.5. La dénivelée Spécifique « Ds .....	13
I.5. Caractéristiques hydrographiques du bassin versant :	14
I.5.1. La chevelure hydrographique :	14
I.5.2. CLASSIFICATION DE HORTON :	15
I.5.3. Densité de drainage Dd :	16
I.5.4. La pente moyenne du cours d'eau principale :	17
I.5.6. Temps de concentration du bassin versant .....	17

I.5.7. Vitesse de ruissellement :.....	19
I.6.Conclusion .....	20
CHAPITRE II : ETUDE PLUVIOMETRIQUE .....	22
II.1. Introduction : .....	22
II.2. Etude des précipitations :.....	22
II.3. Analyse des données pluviométriques :.....	23
II.4. Pluies maximales journalières : .....	23
II.4. 1 Précipitation maximales journalières :.....	23
II.5. Choix de la loi d'ajustement :.....	26
II.5.1 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON :.....	26
II.5.2 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL :.....	30
II.5.3 Comparaison entre deux lois d'ajustement :.....	33
II.6. Les pluies de courte durée : .....	33
Conclusion :.....	36
CHAPITRE III: ETUDE DES APPORTS ET DES CRUES.....	38
III.1. Introduction :.....	38
III.2 Etudes des apports : .....	38
III.2.1 Estimation de l'apport moyen annuel interannuelle : .....	38
III.2.1.1 Formule de DERI I.....	38
III.2.1.2 Formule de TURC :.....	38
III.2.1.3 Formule de SAMIE : .....	39
III.....	39
III.2.1.5 Formule d'ANRH.....	39
III.2.2 Caractéristique de l'écoulement : .....	40
III.3 Etude des crues : .....	42
III.3.1 Formules empiriques pour la détermination de crues :.....	42
III.3.1.1 Formule de MALLET-GAUTHIER :.....	42
III.3.1.2 Formule de SOKOLOVSKY :.....	43
III.3.1. 4. Formule Rationnelle (TURRAZA) :.....	43
III.3.1.5 Formule de GIANDOTTI .....	44
III.3.2. Hydrogramme de crue :.....	45
III.3.2.1 Construction des hydro grammes des crues (SOKOLOVSKY) :.....	47
III.4. Conclusion : .....	48
CHAPITRE IV : ETUDE HYDRAULIQUE SANS AMENAGEMENT :.....	50

IV.1. Introduction: .....	50
IV.2. Généralités sur les écoulements à surface libre : .....	50
IV.2.1. Les Canaux naturele : .....	50
IV.2.1.1. Les différents types de Canaux : [6].....	50
IV.2.1.2. Géométrie des canaux : .....	51
IV.2 .1.3. Ecoulement dans les canaux : .....	53
IV.2 .1.3. Types d'écoulement :[1][2] .....	54
IV.2 .1.4. Dimensionnement des canaux : .....	55
IV.3. Modélisation: .....	57
IV.3.1. Choix du type de modèle hydraulique :.....	57
IV.3.2. Présentation du logiciel HEC RAS : [3].....	57
IV.3.2.1. Les équations utilisées par le logiciel : [3].....	58
IV.3.2.2. Banque de données nécessaires à l'application du modèle HEC-RAS : .....	61
IV.4. Application du modèle HEC-RAS : .....	61
IV.4.1. A l'état Naturel :.....	61
IV.4.1.1. Modélisation de la géométrie : .....	61
IV.4.1.2. Le choix des valeurs de rugosité de Manning : .....	62
IV.4.1.3. Modélisation de l'écoulement : .....	63
IV.4.1.4 Simulation hydraulique : .....	64
IV.4.1.5. Résultats de la simulation : .....	64
IV.4.1.6 Analyse : .....	68
IV.4.1.7. Délimitation des zones inondables : .....	73
IV.5. Conclusion : .....	75
CHAPITRE IV ETUDE HYDRAULIQUE AVEC AMENAGEMENT :.....	77
V.1. Introduction : .....	77
V.2. Proposition d'aménagement : .....	77
V.3. But de L'aménagement d'oued SAF – SAF : .....	77
V.4. Dimensionnement des canaux : .....	77
V.4.1. Équation de Chézy:.....	78
V.5. Calcul des paramètres géométriques :[5] .....	78
V.5.1. Paramètres géométrique d'un canal à section trapézoïdale : .....	78
V.5.2. Section de débit maximum : .....	79
V.5.3. Profondeur normale (hn) : .....	79
V.5.4. Profondeur critique hc: .....	79

V.5.5. La pente critique $I_c$ : .....	80
V.5.6. Calcul de la ligne d'eau : .....	80
V.5.6.1. Equation de la surface libre de la ligne d'eau : .....	80
V.5.6.2. Calcul de la surface d'eau : .....	80
V.6. Calcul hydraulique du canal : .....	81
V.6.1. Le fruit de talus : .....	81
V.6.2. La rugosité : .....	81
V.6.3. La largeur du canal : .....	81
V.7. Calcul des paramètres de l'écoulement : .....	81
V.8. Conclusion : .....	89



## Listes Des Figures

Figures	Désignation	page
Figure I-1	Localisation de la commune de Ras El Oued	2
Figure I-2	Extrait de la carte du bassin hydrographique El Hodna	3
Figure I-3	Le bassin-versant d'El Hodna	4
Figure I-4	Répartition des précipitations moyennes mensuelles de la station Bordj Bou Arreridj	5
Figure I-5	Variations des Températures mensuelles (C°) à la station Bordj Bou Arreridj	6
Figure I-6	carte altimétrique du bassin versant (Oued SAF-SAF )	11
Figure I-7	Courbes hypsométrique du B.V Oued SAF-SAF	11
Figure I-8	Chevelure hydrographique du Bv Oued SAF-SAF	15
Figure I-9	chevelure hydrographique du Bv Oued SAF-SAF	16
Figure II-1	Représentation des observations sur papier normale	25
Figure II-2	Histogramme des observations	26
Figure II-3	Ajustement à la loi de GALTON (log normal)	29
Figure II-4	Ajustement pas la loi de Gumbel.	32
Figure II-5	Comparaison entre deux lois d'ajustement	33
Figure II-6	Courbe Pluies de Courtes durées.	35
Figure II-7	Courbe Intensité-Durée-Fréquence.	36
Figure III-1	Hydrogramme fréquentiels des différentes périodes de retour d'oued SAF-SAF	47
Figure IV.1	Types de canaux.	52
Figure IV.2	Eléments géométriques de la section.	53
Figure IV.3	Eléments géométriques pour différentes sections de canaux.	54
Figure IV.4	Schéma représentant les différents régimes d'écoulement.	56
Figure IV.5	représentation énergétique des Ecoulements à surface libre.	61
Figure IV.6	Découpage de la section pour le calcul du frottement	61
Figure IV.7	Modèle géométrique du cours d'eau.	63
Figure IV.8	Illustration d'un profil en travers	64
Figure IV.9	Présentation des conditions aux limites	64
Figure IV.10	Fenêtres de simulation pour le régime permanent.	65
Figure IV.11	Profil en long du cours d'eau à l'état naturel.	66

<b>Figure IV.12</b>	<b>Visualisation en 3D de l'oued SAF-SAF -tronçon (28811-158)</b>	<b>68</b>
<b>Figure IV.13</b>	<b>Visualisation des zones inondables sur RAS MAPPER (période 100 : crue centennial).</b>	<b>75</b>
<b>Figure IV.14</b>	<b>Illustration des zones inondables sur une carte Google satellite avec RAS MAPPER (période 10 : crue décennial).</b>	<b>75</b>
<b>Figure V.1</b>	<b>Proposition du canal.</b>	<b>82</b>
<b>Figure V.2</b>	<b>Profil en long du canal.</b>	<b>84</b>
<b>Figure V.3</b>	<b>Visualisation en 3D de l'oued SAF-SAF tronçon (50-8700).</b>	<b>84</b>
<b>Figure V.4</b>	<b>Visualisation en 3D de l'oued SAF-SAF tronçon (50-1600).</b>	<b>85</b>

## Liste Des Tableaux

Tableau	Désignation	Page
Tableau I-1	Répartition mensuelle des précipitations moyennes annuelles de la station BBA (ras el oued)	5
Tableau I-2	Température moyenne mensuelle (C°) a la station BBA (Ras el oued )	6
Tableau I-3	Caractéristique hypsométrique du bassin versant oued SAF-SAF	10
Tableau I-4	L'altitude moyenne calculée	12
Tableau I-5	La Classification d'O.R.S.T.S.O.M	14
Tableau I-6	La dénivelée et la dénivelée spécifique et leur classe	14
Tableau I-7	Temps de concentration du Bassin versant oued SAF-SAF et l'affluent oued SAF-SAF	19
Tableau I-8	Tableau récapitulatif des Caractéristiques Hydromorphométriques du bassin versant oued Safsaf et l'affluent oued SAF-SAF	20
Tableau II-1	Caractéristique de la station pluviométrique de bourj bou arerij	23
Tableau II-2	Répartition annuelle des PJM a la station BBA	24
Tableau II-3	Caractéristique de la série de donnée	24
Tableau II-4	Résultat de l'ajustement a la lois de GALTON	28
Tableau II-5	Comparaison Caractéristique de l'échantillon	30
Tableau II-6	Résultat de l'ajustement à la lois de GUMBEL	31
Tableau II-7	Comparaison Caractéristique de l'échantillon	33
Tableau II-8	Pluit et intensité max de durée T(h) et de période de retour T (ans)	34
Tableau III-1	Récapitulatif des résultats des résultats des apports	40
Tableau III-2	Les apports fréquentielle du bassin oued SAF-SAF	42
Tableau III-3	Débit max de crue pour différents période (formule de MALLET-GAUTHIER)	42
Tableau III-4	Débit max de crue pour différents période (formule SKOLOVISKI)	43
Tableau III-5	Débit max de crue pour différents période (formule TURRAZA)	44
Tableau III-6	Débit max de crue pour différents période (formule de GIANDOTTI)	45
Tableau III-7	R2sumer de calcule de différent formule des débits de différent fréquence de oued SAF-SAF	46
Tableau III-8	Tableau récapitulatif des temps de concentration de monté et décrue	47
Tableau III-9	Débits de crue pour différent périodes de retour oued SAF-SAF	47
Tableau IV-1	Valeurs estimées pour le coefficient de Manning Strickler en fonction de la	57
Tableau IV-2	Les valeurs de la rugosité du cours d'eau	63
Tableau IV-3	Résultats de la simulation pour une période de retour de 100 ans.	67
Tableau V-1	Les caractéristiques géométriques d'un canal à section trapézoïdale	79
Tableau V-2	Les paramètres de l'écoulement du canal.	83

# **INTRODUCTION**

## **GENERALE**

## **Introduction générale :**

le risque d'inondation en Algérie fait partie des dix risques majeurs présents sur le territoire et cités par la loi 04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable (J.O.R.A., 2004). Il est en deuxième position après les séismes et les risques géologiques dans le classement national des risques majeurs, vu l'ampleur des dégâts matériels et immatériels engendrés. Dans le cadre d'une analyse rétrospective des risques naturels, et dans notre cas le risque d'inondation en milieu urbain, l'étude préliminaire consiste à établir un inventaire des catastrophes enregistrées sur le territoire algérien. La compilation, la plus exhaustive possible, de ces événements est nécessaire pour définir les villes confrontées à une récurrence significative des inondations et ainsi définir les causes de ces dernières. Elle est la base de toute étude d'occupation du sol, dont la stratégie nationale de lutte contre les inondations en territoire algérien issue de la collaboration entre l'Union Européenne et l'Algérie (Délégation de l'Union Européenne en Algérie, 2013). Cette initiative permettra de contribuer à l'aboutissement des deux objectifs primaires du projet. Ils se matérialiseront par une banque de données de tous les principaux événements extrêmes survenus depuis 30 ans au minimum, et par l'identification des causes, naturelles ou anthropiques, de ces inondations pour l'intégralité du territoire algérien.

Les inondations produites dans ces régions présentant un environnement topographique défavorable comme le cas de la ville de BBA traversées par des Oueds. De par sa situation géographique, cette agglomération à forte concentration de population et sous l'effet d'une urbanisation pseudo-anarchique sur sa périphérie et non réglementée présente des grands risques, des pertes humaines et des destructions de constructions sont enregistrées à chaque inondation aussi légère qu'elle soit. L'examen des événements catastrophiques survenus dans cette zone, notamment celui du 1994 montre clairement la nécessité de prémunir contre ce fléau naturel qui ne cessait de rebondir à chaque événement pluvieux exceptionnel. Afin d'apporter rapidement des solutions aux problèmes qui se posent ou risquent de se poser à court et moyen termes ; et pour être capable d'assurer une gestion intégrée et durable de l'eau, la protection de la ville de BBA et de sa population s'avère une des priorités des pouvoirs publics et une étude devrait être lancée dans ce sens. Notre travail s'inscrit dans une optique visant à entreprendre un projet d'étude qui permet de concevoir un système de protection de la ville du BBA. En effet, ce projet consiste en la réalisation d'un système de drainage des eaux pluviales provenant du bassin versant, qui débouche dans un exutoire à la périphérie de la ville de BBA (Côté Est).

Cette démarche, sans doute, requiert des outils de travail allant du recueil de données du site jusqu'à l'élaboration du schéma d'aménagement.

La présente étude concerne l'aménagement des Oueds **SAF-SAF**, pour la protection de la commune de **Ras El Oued** contre les inondations.

Pour mener cette étude, Des reconnaissances sur les sites ont eu lieu afin de voir les limites des crues sur les lits des oued **SAF-SAF** a l'état naturel et par conséquent estimé cette crue exceptionnelle.

Le présent rapport traite l'étude hydrologique qui rentre dans le cadre tracé qui aura pour but essentiel la détermination des pluies et des débits de crues pour les différents périodes de retour (10 ans, 20 ans, 50 ans, 100 ans, 1000 ans).

Procèdera dans le cadre de cette étude au :

- Recueil et analyse des données hydrologiques à l'échelle du bassin versant (stations pluviométrique et hydrométrique,)
- Définition sur une carte de délimitation du Bassin Versant y compris le réseau hydrographique.
- Détermination des caractéristiques du bassin Versant (superficie, longueur du talweg, dénivelée, pente...), et calcul du temps de concentration.
- Détermination des débits de crues pour plusieurs fréquences en périodes de retours (10 ans, 20 ans, 50 ans, 100 ans, 1000 ans).

Ce travail est structuré en cinq chapitres :

Dans le premier chapitre, la zone d'étude est définie, et décrit une présentation détaillée du bassin versant de l'Oued **SAF-SAF** qui fait partie du bassin hydrographique d'EL Hodna.

Le deuxième chapitre, est consacré à l'étude hydro climatique telle que la pluviométrie, la Température.

Le troisième chapitre, l'étude des crues est présentée.

Dans le quatrième chapitre, une étude de la modélisation hydrologique pluie-débit est établie, une description de la théorie du modèle hydrologique HEC-RAS est effectuée sans aménagement.

Dans le cinquième chapitre, il est décrit l'utilisation du modèle de simulation hydrologique HEC-RAS avec aménagement ainsi que son application aux sous-bassins de l'oued **SAF-SAF**, et enfin, on conclue notre travail par une conclusion générale.

# **Chapitre I :**

# **Etude Climatique**

# **Et Hydrologique**

## CHAPITRE I : ETUDE CLIMATIQUE ET HYDROLOGIQUE :

### I.1. Introduction :

Le dimensionnement, la sécurité et la bonne exploitation des ouvrages hydrauliques sont étroitement liés aux paramètres hydrologiques notamment les apports et les débits de crues. 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 et la surface terrestre. On parle d'hydrosphère pour désigner la partie de la planète dans laquelle l'eau se trouve. Les cycles hydrologiques sont donc présents dans l'hydrosphère. 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. [1]

### I.2. Présentation de la zone d'étude :

La daïra de **Ras El Oued** (Ex. Tocqueville), située à 38 Km au sud de Bordj Bou Arreridj

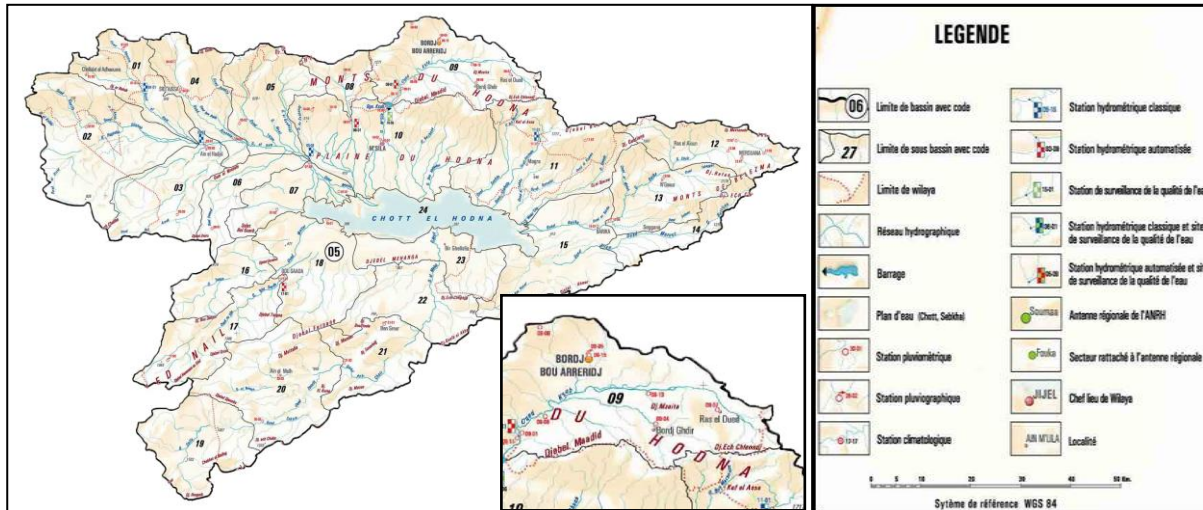


Figure I-1 localisation de la zone d'étude (ras el oued)



### I.2.1. Situation de la zone d'étude :

La zone d'étude se situe dans le sous bassin (09) du grand bassin versant d'El Hodna(05).



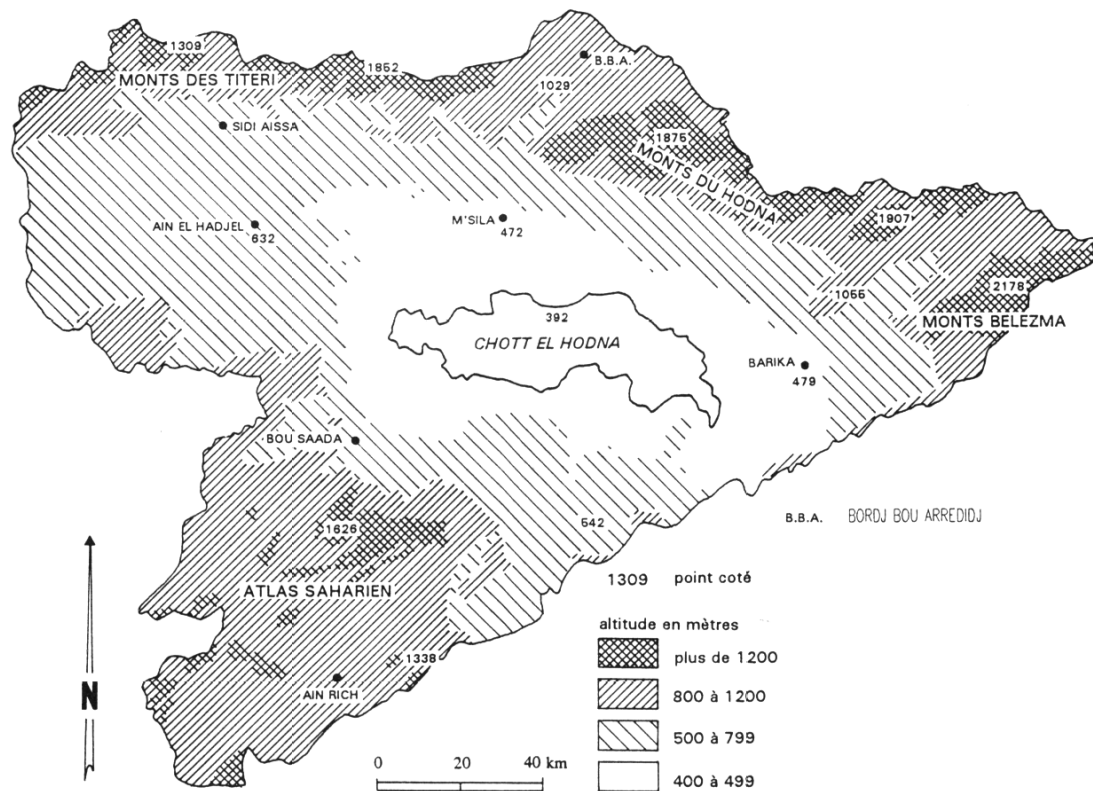
**Figure I-2 : Extrait de la carte du bassin hydrographique El Honda (localisation de la zone d'étude)**

### I.2.2. Bassin versant d'El Hodna : [2]

Le bassin-versant du Hodna se trouve fortement marqué par un climat à tendance aride mis en évidence par la faiblesse des précipitations. La chaîne montagneuse du Hodna forme une barrière face aux perturbations venant du nord. Cette situation est souvent aggravée par une évaporation élevée et une faible couverture végétale favorisant le travail de l'érosion. Cette tendance à l'aridité du climat n'exclut pas la présence de ressources en eau. Les Hodnéens ont depuis longtemps pratiqué une irrigation basée sur l'irrigation dirigée. Les précipitations bien que faibles, tombent sous forme d'averses se traduisant par des écoulements en crues. Les oueds enrichis par les nombreuses sources qui prennent naissance aux pieds des montagnes ont des apports non négligeables. Ce paradoxe : climat aride -richesse en eau, est confirmé par les grandes potentialités offertes par les aquifères en place. L'amélioration de la situation hydraulique réside dans la récupération des eaux de pluie par des retenues et l'exploitation rationnelle des eaux souterraines

### I.2.3. Le hodna une région frontière :

D'une superficie de 26 000 km<sup>2</sup>, le bassin-versant du Hodna marque la transition entre le domaine tellien au nord et le Sahara au sud. Le passage entre ces deux domaines, marqué par une succession d'ensembles montagneux (le Tell au nord, l'Atlas Saharien au sud) et de plaines, favorise la diversité des milieux bioclimatiques. Cela influe fortement sur l'activité socio-économique de ces régions. Le cadre montagneux : un accès difficile. Le bassin du Honda est souvent cité comme un territoire dont l'accès est difficile, notamment par le nord.



**Figure I-3 : Le bassin-versant du Hodna**

#### **I.2.4. Sous Bassin versant de l'oued SAF-SAF :**

Le Bassin versant d'oued SAF-SAF est situé à environ 27 Km à vol d'oiseau au Sud Est du chef lieu de Wilaya (Bourj Bou Arerij) dans la commune de Ras El oued la partie montagneuse du bassin versant est occupée par des broussailles qui sont étendues, habillant des pentes d'un maquis parfois très dense.

### **I.3. Etude du climat :**

L'étude de la climatologie est très importante car avant toute projection ou dimensionnement d'un aménagement ou d'un ouvrage hydraulique, il faut impérativement tenir compte des facteurs climatiques.

#### **I.3.1. Conditions climatiques :**

De par sa situation géographique, le climat Ras El Oued géographique, est de type méditerranéen. Une saison sèche de mai à Septembre et d'une saison humide d'octobre à avril.

La zone d'étude se situe à la wilaya de Bordj Bou Arreridj, elle est caractérisée par un climat de type semi-aride, son régime climatique dépend de deux paramètres principaux : la précipitation et la température

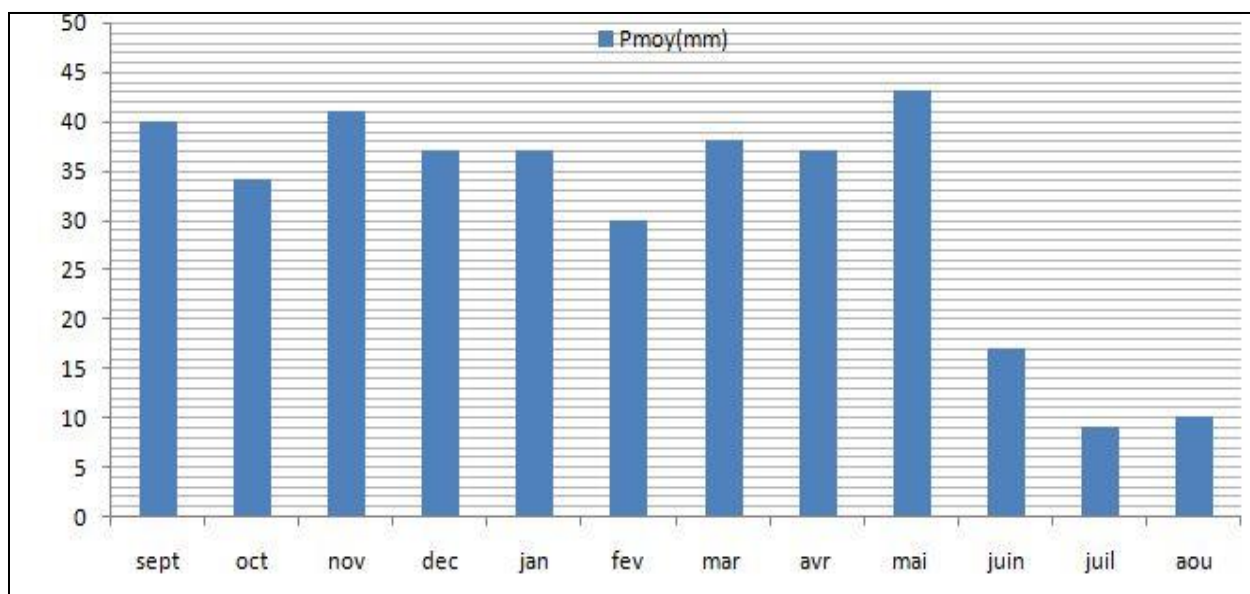
Bordj Bou Arreridj bénéficie d'un climat de steppe. Les pluies sont faibles. Selon la classification de Koppen-Geiger, le climat est de type semi-aride.

### I.3.2. Pluviométrie :

La région à laquelle appartient le bassin versant dispose d'un nombre important de station pluviométriques ayant des données sur des périodes relativement longues. La pluie varie avec l'altitude, pour cela, nous avons jugé adéquat d'utiliser cette dépendance pour l'estimation de la pluie moyenne du bassin versant. Cette méthode a pour avantage d'utiliser l'ensemble de l'information disponible dans la région,

**Tableau I-1 : Répartition mensuelle des précipitations moyennes annuelles de la station pluviométrique de Bordj Bou Arreridj**

mois	sept	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	aou	Annuelle
Pmoy(mm)	40	34	41	37	37	30	38	37	43	17	9	10	373
P %	10,72	9,12	10,99	9,92	9,92	8,04	10,19	9,92	11,53	4,56	2,41	2,68	100



**Figure I-4** Répartition des précipitations moyennes mensuelles de la station Bordj Bou Arreridj

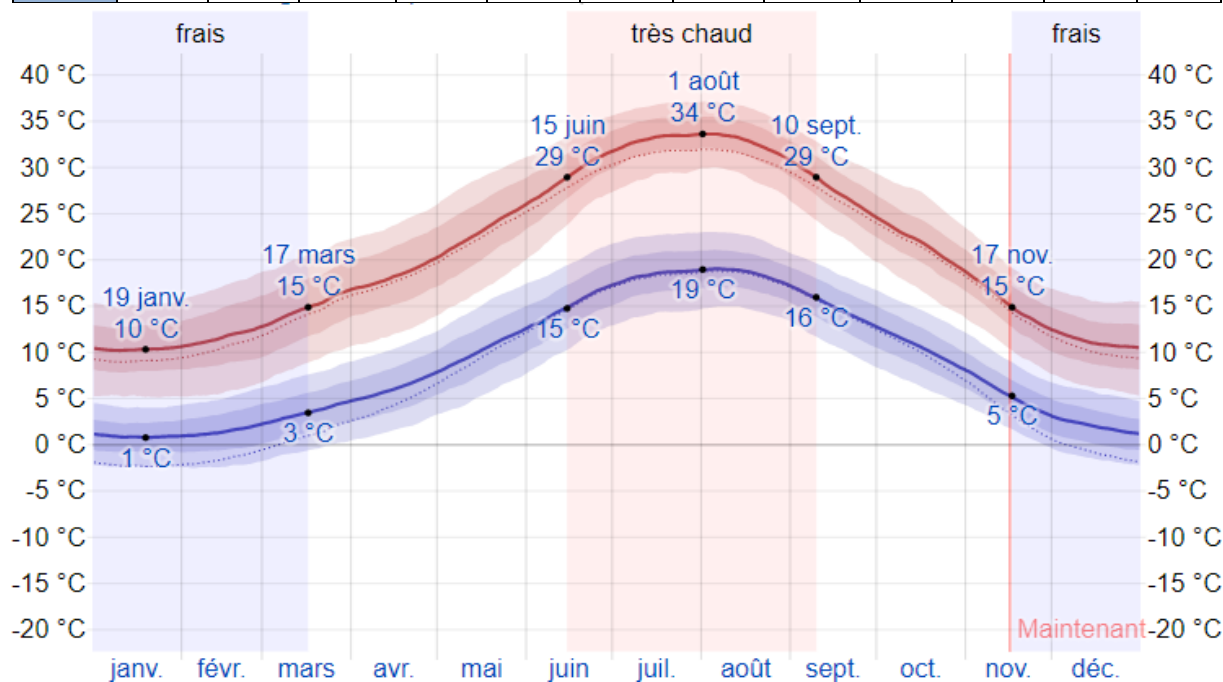
### I.3.3. Température :

La température a un rôle déterminant dans l'étude climatologique

Les valeurs de la température sont consignées dans le tableau (I-1) :

**Tableau I-2:** Températures moyennes mensuelles (C°) à la station Bordj Bou Arreridj

moi	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	aout	sép	oct	Nov	déc
Haute	10 °C	12 °C	15 °C	18 °C	23 °C	29 °C	33 °C	33 °C	27 °C	22 °C	15 °C	11 °C
Temp.	5 °C	6 °C	9 °C	12 °C	17 °C	22 °C	26 °C	26 °C	21 °C	16 °C	10 °C	6 °C
Basse	1 °C	1 °C	4 °C	6 °C	10 °C	15 °C	18 °C	18 °C	15 °C	10 °C	5 °C	2 °C

**Figure I-5 :** Variations des Températures mensuelles (C°) à la station Bordj Bou Arreridj

L'histogramme et le tableau des températures moyennes mensuelles, montrent que :

La saison très chaude dure 2,8 mois, du 15 juin au 10 septembre, avec une température quotidienne moyenne maximale supérieure à 29 °C. Le mois le plus chaud de l'année à Bordj-Bou-Arreridj est juillet, avec une température moyenne maximale de 33 °C et minimale de 18 °C.

La saison fraîche dure 4,0 mois, du 17 novembre au 17 mars, avec une température quotidienne moyenne maximale inférieure à 15 °C. Le mois le plus froid de l'année à Bordj-Bou-Arreridj est janvier, avec une température moyenne minimale de 1 °C et maximale de 10 °C.

### **I.3.4. Détermination de type de climat :**

Le climat de la région d'étude est chaud et tempéré. D'après Köppen et Geiger, le climat est classé comme : Csa (climat semi-aride).

A BBA, les précipitations sont plus importantes en hiver qu'en été. La moyenne pluviométrique est de 373 mm par an.

La température moyenne annuelle en général est de 17.5 C°. Il y fait froid l'hiver jusqu'à 2 C° enregistrés et très chaud l'été avec une moyenne de chaleur allant jusqu'à 35 C°

L'indice annuel d'aridité de Martonne 1926 exprime le rapport entre les précipitations et les températures et permet de trouver le type de climat qui règne dans la région. Il se calcule par la formule suivante :

$$Ia = \frac{p}{t+10} \dots \dots \dots (I.1)$$

Avec

**P** : précipitation moyenne annuelle.

**T** : température moyenne annuelle.

## **I.4. Etude du bassin versant de SAF-SAF :**

### **I.4.1. Les caractéristiques géométriques :**

L'utilisation des caractéristiques morpho-métriques a pour but de caractériser le comportement hydrologique du bassin

Les principales caractéristiques morpho-métriques du bassin versant sont les suivantes :

#### **a. Le périmètre :**

Son calcul dépend de l'échelle de la carte et de la densité du réseau hydrométrique, il est mesuré à l'aide du curvimètre et n'est généralement pas utilisé directement,

**p= 78.31 (km)**

**b. La surface :**

Elle est mesurée à l'aide du planimètre à partir du tracé du bassin versant. Pour le bassin versant considéré on a : **S= 156.38 (km<sup>2</sup>)**

**c. Le thalweg principal : Lp**

La longueur du thalweg principal est estimée à : **Lp= : 19.55 (km)**

**I.4.2. Caractéristiques de forme :**

L'étude de la forme des bassins est importante car elle permet de mieux comprendre le comportement hydrologique. Un bassin compact, de forme quasi-circulaire a une réponse hydrologique beaucoup plus rapide pour une même averse qu'un bassin allongé, parce que la plupart des points du bassin sont à peu près à la même distance de l'exutoire. Comme il est difficile d'exprimer réellement la forme d'un bassin versant, on fait appel à trois indices qui sont : l'indice de compacité et le rectangle équivalent et Coefficient d'allongement.

**I.4.2.1. Indice de compacité de Gravelius Kc (1914) :**

L'indice admis par les hydrologues pour caractériser la forme d'un bassin versant est l'indice de compacité de GRAVELIUS qui est le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface. ...

Le coefficient est supérieur à 1 et d'autant plus voisin de cette valeur que le bassin est compact

Il caractérise la forme du bassin versant, et renseigne sur la vitesse de concentration des débits Et la puissance des crues ainsi que sur l'érosion, Appelé aussi indice de forme. Cet indice est le rapport entre le périmètre du bassin P et la circonférence du cercle P<sub>c</sub> de rayon R Ayant la même superficie S que bassin, soit :

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \dots \dots \dots (I.2)$$

Avec:

P : périmètre du bassin versant (Km) ;

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

Si : KC = 1 => bassin circulaire

Si : KC > 1,12 => bassin allongé

Si : KC = 1,12 => bassin carré

Pour le bassin versant de oued SAF-SAF : **Kc= 1.77**

D'après la valeur de l'indice **kc** on peut dire que notre bassin versant est de forme allongée

#### **I.4.2.2. Rectangle équivalent ou Rectangle de Gravelieus**

Cette notion traduit une transformation géométrique dont laquelle on assimile le bassin versant a un rectangle équivalent ayant le même périmètre et la même superficie. Il permet de comparer les bassins versants entre eux du point de vue de l'écoulement.

En utilisant le coefficient de compacité, **M.Roche** a établi des relations donnant la longueur et la largeur d'un rectangle équivalent représentatif du Bassin Versant.

Soit :

**L** et **l** les côtés du rectangle équivalent (respectivement Longueur et largeur).

$$L = \frac{kc\sqrt{s}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{kc}\right)^2} \right] \dots \dots \dots (I.3)$$

$$l = \frac{kc\sqrt{s}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{kc}\right)^2} \right] \dots \dots \dots (I.4)$$

Avec :

**L** : longueur du rectangle équivalent en (Km) ;

**I** : largeur du rectangle équivalent en (Km) ;

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

**Kc** : Le coefficient de compacité ou de Gravelieus.

#### I.4.3 Caractéristiques de relief

Le relief a une influence remarquable sur l'écoulement, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement nous avons calculé la répartition de la surface du bassin versant par le Système d'Information Géographique (SIG). Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices ou de caractéristiques suivants :

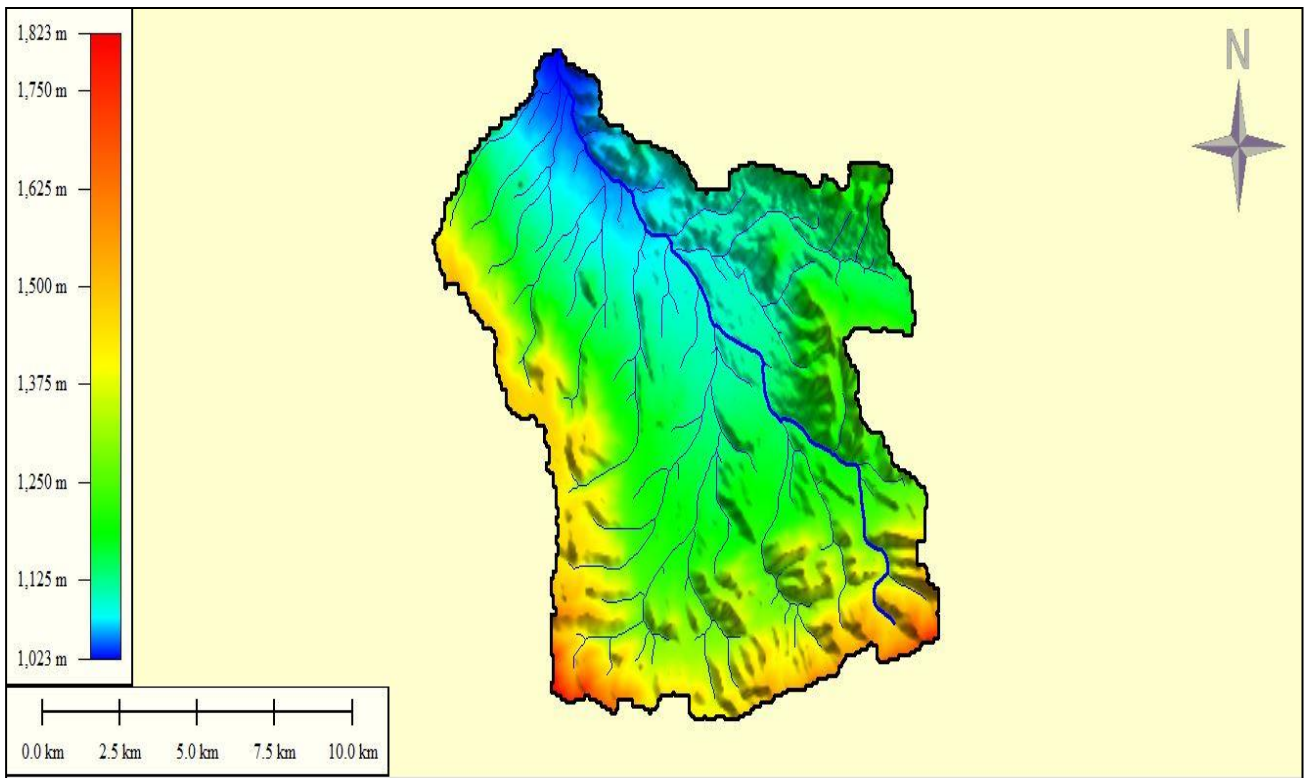
##### I.4.3.1. Courbe hypsométrique

Pour caractériser le relief de la zone d'étude, nous avons calculé la répartition de la surface du bassin versant par le Système d'Information Géographique (SIG). Les résultats sont mentionnés dans le tableau qui suit :

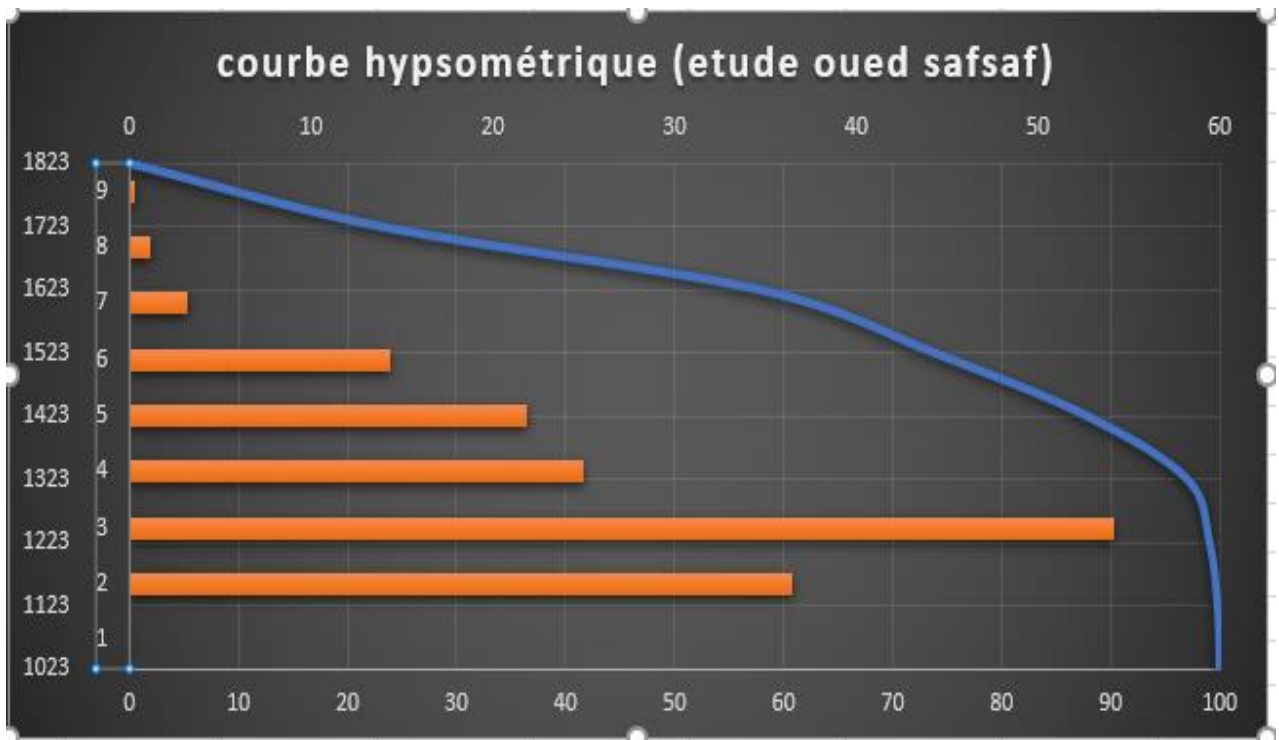
**Tableau I-3 : Caractéristique hypsométrique du bassin versant (Oued SAF-SAF)**

Elévation (m)	Altitude (m)	Surface entre courbes		Surfaces cumulées	
		Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
1023	1023	0	0	0	0
1023-1123	1123	36,461	23,316	36,461	23,32
1123-1223	1223	54,164	34,636	90,625	57,95
1223-1323	1323	24,955	15,958	115,580	73,91
1323-1423	1423	21,870	13,985	137,450	87,89
1423-1523	1523	14,310	9,151	151,760	97,05
1523-1623	1623	3,200	2,046	154,960	99,09
1623-1723	1723	1,140	0,729	156,100	99,82
1723-1824	1824	0,280	0,179	156,380	100,00
$\Sigma$		<b>153,2</b>	<b>100,000</b>		





**Figure I-6 :** carte altimétrique du bassin versant (Oued SAF-SAF)



**Figure I-7 :** Courbe hypsométrique du bassin versant (Oued SAF-SAF)

### I.4.3.2. Hauteurs caractéristiques

A partir de la courbe hypsométrique (I-7), on détermine :

- L'altitude à 5% de la surface,  $H_{5\%}=1774\text{m}$
- L'altitude à 95% de la surface,  $H_{95\%}=1133\text{m}$
- L'altitude maximal,  $H_{\text{max}} = 1823\text{m}$ .
- L'altitude minimal,  $H_{\text{min}} = 1024\text{m}$ .

L'altitude moyenne est ainsi définie par la formule :  $H_{\text{moy}} = \frac{\sum Si \times \Delta H}{S}$

**Tableau I-4 : L'altitude moyenne calculée**

Altitude (m)	$\Delta H$	Si (Km <sup>2</sup> )	$\Delta H * Si$
1023-1123	1073	36,461	39122,65
1123-1223	1173	54,164	63534,37
1223-1323	1273	24,955	31767,72
1323-1423	1373	21,87	30027,51
1423-1523	1473	14,31	21078,63
1523-1623	1573	3,2	5033,60
1623-1723	1673	1,14	1907,22
1723-1824	1773,5	0,28	496,58
$\Sigma$			192968,28

L'altitude moyenne calculée est :

$$H_{\text{moy}}=1233.97 \text{ m}$$

Où :

$\Delta H$ : altitude moyenne entre deux courbes de niveau en m.

$Si$ : Surface partielle comprise entre deux courbes de niveau en Km<sup>2</sup>.

$S$  : Surface totale du Bassin Versant en Km<sup>2</sup>.

### I.4.3.3. Les indice de pente

#### a. Indice de Pente Global (I<sub>g</sub>):

Le relief joue un rôle capital dans la plus ou moins grande aptitude au ruissellement des terrains. Son appréciation peut être faite à l'aide de l'indice de pente globale  $I_g$  qui est calculé comme suit:

$$I_g = \frac{Du}{L} \dots \dots \dots (I.5)$$

Avec :

**I<sub>g</sub>** : Indice de pente global ;

**D** : Dénivelée entre H<sub>5%</sub> et H<sub>95%</sub> (m) ; H<sub>5%</sub> et H<sub>95%</sub> :

Ou H<sub>5%</sub> et H<sub>95%</sub> Sont les altitudes correspondantes à S<sub>5%</sub> et S<sub>95%</sub> (m) ;

**L** : Longueur du rectangle équivalent (km).

D'où : **D = H<sub>5%</sub> - H<sub>95%</sub> = 1774 - 1133 = 641 m**

**I<sub>g</sub> = 12.71 m / Km soit 1.2 %**

#### **I.4.3.4. La dénivelée :**

**Du**: Dénivelée utile (**Du= H<sub>5%</sub> - H<sub>95%</sub>**)

**L**: Longueur du rectangle équivalent

#### **I.4.3.5. La dénivelée Spécifique « D<sub>s</sub>**

##### **b. Dénivelée Spécifique (D<sub>s</sub>):**

Elle est définie comme suit :

$$D_s = I_g \sqrt{S} \dots \dots \dots (I.5)$$

Avec :

**I<sub>g</sub>** : Indice de pente global

**D** : Dénivelée entre H<sub>5%</sub> et H<sub>95%</sub> (m) ;

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

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

**Tableau I-5 : La classification d'O.R.S.T.O.M.**

La classification	Etat du relief	L'intervalle de Ds
R1	Relief très faible	Ds<10m
R2	Relief faible	10m<Ds<20m
R3	Relief assez faible	25m<Ds<50m
R4	Relief modéré	50m<Ds<100m
R5	Relief assez fort	100m<Ds<250m
R6	Relief fort	250m<Ds<500m
R7	Relief très fort	Ds>500m

**Tableau I-6 : La dénivelée et la dénivelée spécifique et leur classe.**

Bassin versant	Dénivelée (m)	Dénivelée Spécifique (m)	Classe
Bv oued SAF-SAF	641	159	Assez fort
Sous bassin oued SAF-SAF	428	141.02	Assez fort

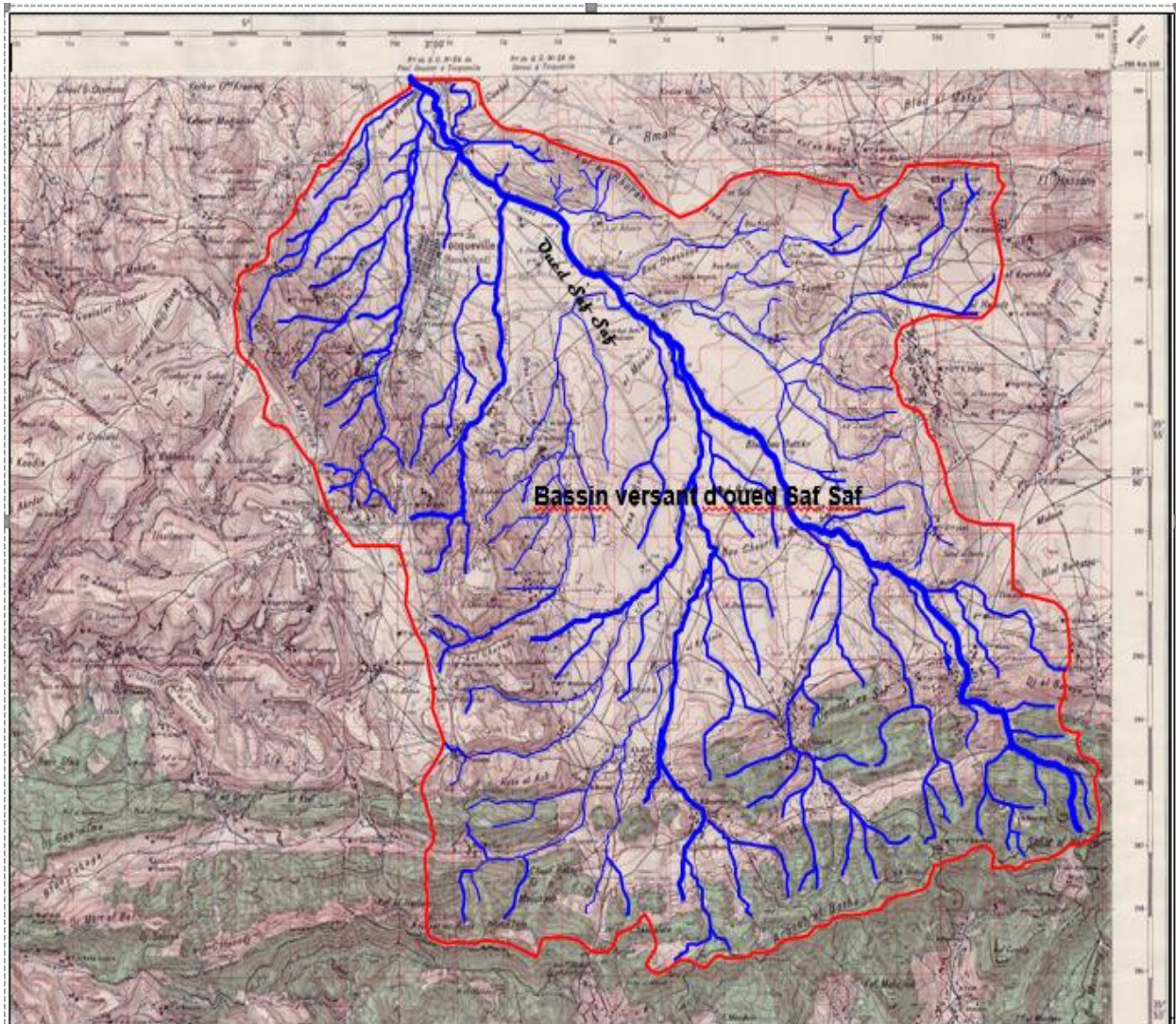
## I.5. Caractéristiques hydrographiques du bassin versant :

### I.5.1. La chevelure hydrographique :

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrographique est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du bassin. il peut prendre une multitude de formes. La différenciation de ce dernier due à quatre facteurs principaux, la géologie (nature des roches, sensibilité plus ou moins forte à l'érosion), le climat, la pente du terrain et l'action de l'homme (drainage, construction de barrages, endiguement). Le réseau hydrographique est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du bassin, et il peut prendre une multitude de formes.

Le réseau hydrographique du bassin versant est dense, constitué par un draineur principal

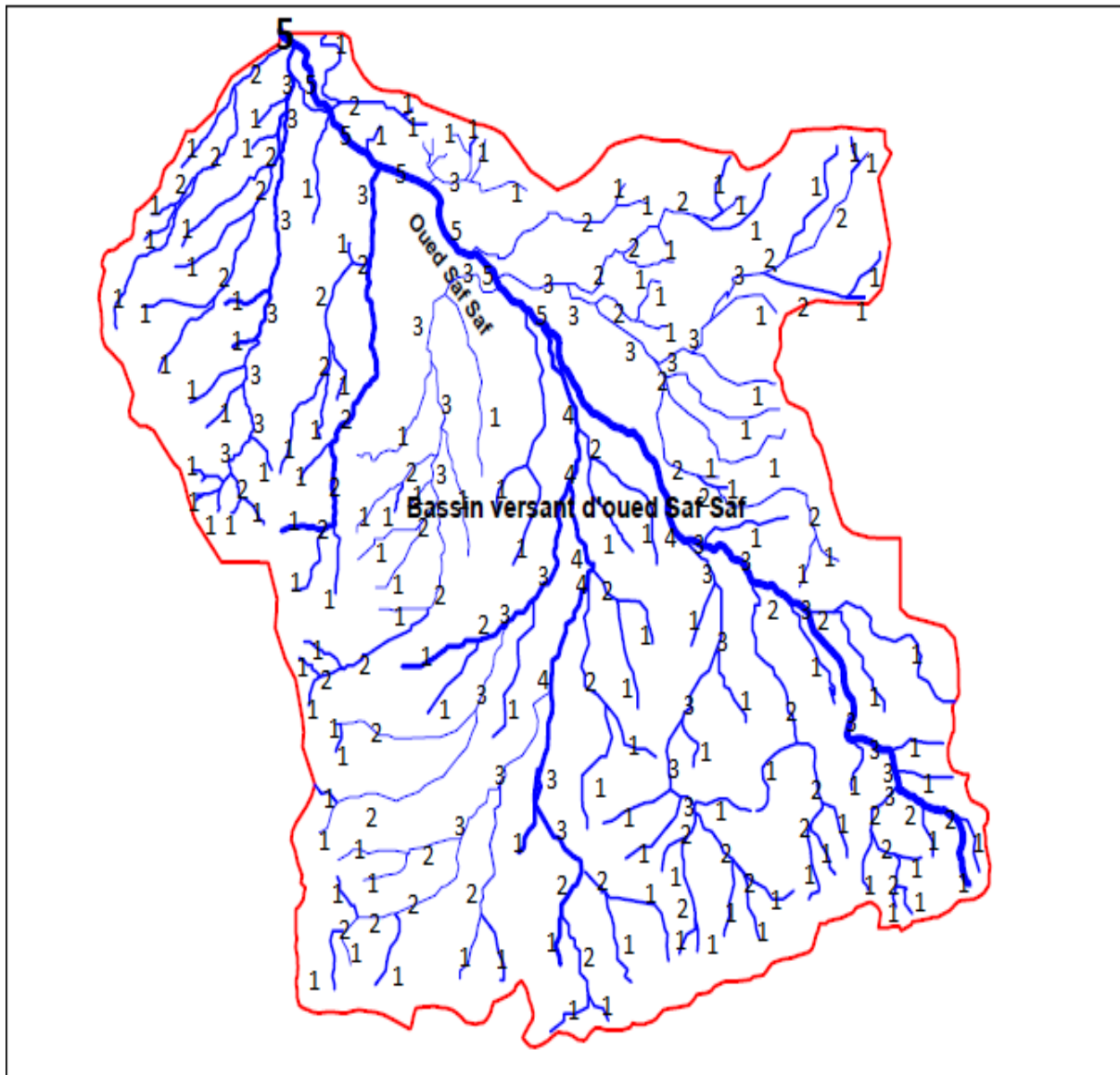
Oued **SAF-SAF** s'écoulant dans la direction SW- NE. Sur le versant Ouest de l'Oued **SAF-SAF**, 04 affluents principaux : Oued Oum Ali, Oued Titast , Oued Bou Djerra et Oued Mizane. Le versant Est est moins marqué par la chevelure hydrographique.



**Figure I-8 :** Chevelure hydrographique du Bv oued SAF-SAF.

### **1.5.2. CLASSIFICATION DE HORTON :**

Tout cours d'eau sans affluent est d'ordre 1, tout cours d'eau ayant un affluent d'ordre  $x$  est d'ordre  $x + 1$ , et garde cet ordre sur toute sa longueur. À la confluence de deux talwegs d'importance égale, on donne l'ordre supérieur au plus long.



**Figure I-9 :** chevelure hydrographique du Bv oued SAF-SAF

Dans la figure si dessus on constat que notre bassin versant (oued SAF-SAF) est d'ordre 5

### **I.5.3. Densité de drainage Dd :**

La densité de drainage, introduite par Horton, est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant. Elle est exprimée en Km/ km<sup>2</sup>

$$Dd = \frac{\sum Li}{S} \dots \dots \dots (I.6)$$

Avec :

**Dd** : Densité de drainages (km/ km<sup>2</sup>)

**Li** : Longueur de cours d'eau (km).

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

Soit : **Dd = 2.76 km/ km<sup>2</sup>**

La densité de drainage est un indicateur révélateur de la géologie et du climat. Un bassin formé de matériaux très perméables et muni d'une couverture végétale continue aura en général une densité de drainage faible. Par contre, un bassin formé de roches imperméables mais meubles. Comme des marnes ou des argiles, va souvent présenter une densité de drainage élevée. Celle-ci est accentuée par la présence de pentes élevées et par un climat où les précipitations sont intenses mais courtes en durée.

#### **I.5.4. La pente moyenne du cours d'eau principale :**

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

$$Pmoy = \Delta H / L$$

**Pmoy** : Pente moyenne du cours d'eau (m/m).

**ΔH** : Dénivellation entre deux points suffisamment distance H5%\_H95%(m).

**ΔL** : Longueur du cours d'eau principale (m).

Soit : **Pmoy = 22, 762 m/km**

#### **I.5.6. Temps de concentration du bassin versant**

Il est défini comme étant le temps nécessaire pour la goutte de pluie qui tombe, au point le plus éloigné dans le Bassin Versant pour atteindre l'exutoire du cours d'eau; pour le calculer nous avons utilisé

❖ **Formule de GIANDOTTI :**

$$Tc = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \dots\dots\dots(I.7)$$

Avec :

**S** : Surface du bassin versant.

**L** : La longueur du rectangle équivalent.

**H<sub>moy</sub>**: l'altitude moyenne du bassin versant.

**H<sub>min</sub>**: l'altitude minimale du bassin versant.

❖ **Formule de Williams :**

$$Tc = 14.557 * L * S^{-0.1} * I^{-0.2} \dots\dots\dots(I.8)$$

Où :

**Tc** : Temps de concentration en heures

**L** : Longueur du talweg principale en km

**I** : La pente moyenne du talweg en m/m

**S** : Surface du bassin versant.

❖ **Formule de PASSINI :**

$$Tc = 0.108 * ((S * L)^{\frac{1}{3}} / I^{0.5}) \dots\dots\dots(I.9)$$

**TC**: le temps de concentration en heures

**S** : Surface du bassin versant en km<sup>2</sup>.

**L** : longueur du talweg principal en km.

**I**:pente en m/m.

❖ **Formule Espagnol :**

$$Tc = 18 * L^{0.77} * I^{-0.1925} \dots\dots\dots(I.10)$$

**TC**: le temps de concentration en minutes

**L** : longueur du talweg principal en km.

**I**:pente du cours d'eau principal en m/m.



❖ **Formule US corps of Engineers:**

$$Tc = 16.682[L * (I^{-0.25})]^{0.77} \dots\dots\dots(I.11)$$

Où :

**Tc** : Temps de concentration en minutes

**L** : Longueur de la rivière principale en km

**I** : La pente moyenne de l'oued en m/m

❖ **Formule californienne :**

$$Tc = 8.712\left[\frac{L}{\sqrt{I}}\right]^{0.77} \dots\dots\dots(I.12)$$

**Tc** : Temps de concentration en minutes.

**L** : Longueur de la rivière principale en km.

**I** : La pente moyenne de l'oued en m/m.

**Tableau I-7** : Temps de concentration des bassins versant oued SAF-SAF et son affluent

OUEDS	GIANDOTTI	williams	PASSINI	Californien	Espagnol	US corps	Tc moy
Oued SAF-SAF	6.83	6.14	7.01	6.23	6.17	5.72	6.35
affluent d'O. SAF-SAF	4.95	4.78	5.01	4.53	4.67	4.33	4.71

Sur la base de ces résultats, et la considération du talweg principal, nous proposons d'adopter les valeurs trouvées par la formule de GIANDOTTI. Cette formule est la plus utilisée en Algérie parce qu'elle tient compte de tous les paramètres géométriques du bassin.

**I.5.7. Vitesse de ruissellement :**

On entend par ruissellement, l'écoulement par gravité à la surface du sol, suivant la pente du terrain. Et dans le micro-réseau hydrographique, des eaux météoriques qui ont échappé à l'infiltration, à l'évaporation et au stockage superficiel. Cette vitesse est déterminée par la formule suivante :

$$Vr = \frac{L}{Tc} \dots \dots \dots (I.13)$$

Avec :

**L**: Longueur de talweg principale en (km).

**Tc** : Temps de concentration en (heure).

Soit : **Vr = 3.07 km/h**

**Tableau I-8 : Tableau récapitulatif des caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant d'oued SAF-SAF et son affluent**

Caractéristiques	Symbole	Unité	Oued SAF-SAF	Affluent d'O. SAF-SAF
Superficie	S	Km <sup>2</sup>	156.38	56.68
Périmètre	P	Km	78.31	50.27
Indice de compacité	kC	/	1.77	1.88
Longueur du rectangle équivalent	L	Km	34.99	22.85
Largeur du rectangle équivalent	l	Km	4.47	2.48
Altitudes caractéristiques	H <sub>5%</sub>	m	1490	1518
	H <sub>95%</sub>	m	1045	1090
	H <sub>max</sub>	m	1823	1775
	H <sub>min</sub>	m	1024	1078
	H <sub>moy</sub>	m	1233.9	1247.8
Longueur de talweg principale	Lp	Km	19.55	14.43
Dénivelée utile	Du	m	641	428
Densité de drainage	Dd	Km/ km <sup>2</sup>	2.76	1.41
Indice de pente global	Ig	m/m	0.012	0.019
Dénivelée spécifique	Ds	m	159	141.02
Relief			Modéré	Modéré
Temps de concentration	Tc	Heure	6.83	4.78

## I.6. Conclusion :

Le bassin versant d'oued **SAF-SAF**, avec sa superficie de 156.38 Km<sup>2</sup>, et un périmètre de 78.31 Km, à une forme allongée, ce qui lui donne un temps de concentration 6.83 h, il est situé dans la zone Nord-est de l'Algérie qui est considérée comme la région la plus arrosée en Algérie ; donc il est soumis à des fortes probabilités d'inondation, s'il n'est pas bien entretenu.

# Chapitre II :

## Etude

# Pluviométrique

---

## CHAPITRE II : ETUDE PLUVIOMETRIQUE

### II.1. Introduction :

La Pluviométrie en Algérie a été étudiée par plusieurs auteurs, (P. Seltzer, 1913-1938, H. Gaussen, 1918-1947, G. Medinger, 1913-1953, M. Chaumont et C. Paquin, 1913-1963).

La Plupart des stations du bassin ont été arrêtées pendant la guerre d'Algérie, d'autres ont subi des Modifications après 1962. Ceci se traduit par des résultats entachés d'erreurs et le nombre élevé de lacunes à l'échelle mensuelle et annuelle. D'autre part un bon nombre de stations a été Installé, lors de la restructuration du réseau pluviométrique algérien et leurs données sont très utiles pour l'établissement d'une série pluviométrique récente (1970-1998). L'intérêt et le but de cette série et de permettre la confrontation avec l'écoulement correspondant afin de dégager une étude hydro pluviométrique et d'estimer la lame d'eau moyenne tombée sur le bassin.

Par ailleurs, vu la qualité médiocre des observations, les données ne sont pas toujours dépourvues d'erreurs pour résoudre ce problème de fiabilité des données, l'emploi d'outils statistiques et graphiques est nécessaire pour contrôler la qualité des échantillons pluviométriques et déceler l'anomalie qui pourrait les affecter en vue de leur homogénéisation. cette dernière opération est indispensable si l'on veut déterminer de façon plus ou moins précise les caractéristiques des précipitations.

### II.2. Etude des précipitations :

La région à laquelle appartient le bassin versant dispose d'un nombre important de station pluviométriques ayant des données sur des périodes relativement longues. La pluie varie avec l'altitude, pour cela, nous avons jugé adéquat d'utiliser cette dépendance pour l'estimation de la pluie moyenne du bassin versant. Cette méthode a pour avantage d'utiliser l'ensemble de l'information disponible dans la région, pour cela, nous avons utilisé la station pluviométrique dont les caractéristiques sont reportées dans le tableau (II-1)

### II.3. Analyse des données pluviométriques :

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

Avant l'évaluation des précipitations sur les bassins versant, nous avons analysé les données disponibles à la station pluviométrique de BBA Les données sont relevées à partir de la station **Bordj Bou Arreridj** compte tenu de sa situation (au même sous bassin versant **05-09**) (les mêmes caractéristiques climatiques et physiques) et la fiabilité des données (les mesures étant continues et effectuées par le même opérateur). Les données se répartissent sur une durée de 47 ans (1951-1998). La station disponible sur le site est donnée dans le tableau

Suivant :

**Tableau II-1 : Caractéristiques de la station pluviométrique de Bordj Bou Arreridj**

Station	Code	Altitude (m)	Années d'observation	Pluie moyenne annuelle (mm)
B.B.A	05 -09 – 05	922	47 ans	396

### II.4. Pluies maximales journalières :

Les pluies maximales journalières de rares fréquences sont des pluies génératrices des crues d'importants débits, contre lesquels il faut protéger le canal.

#### II.4. 1 Précipitation maximales journalières :

L'étude consiste à faire un ajustement pour la série de données des précipitations maximales journalières du tableau II.2 par une loi théorique afin de déterminer une intensité de pluie de durée et de période de retour donnée.

Pour l'étude des pluies journalières maximales, les données sont relevées à partir de la station **el Bordj Bou Arreridj**. Les données relatives à cette station sont portées dans le **tableau II-2** pour une série de 47 ans (1951-1998).

**Tableau II-2 : Répartition annuelle des PJM a la station Bordj Bou Arreridj**

Année	P (mm)		Année	P (mm)		Année	P (mm)
1951-1952	46,4		1967-1968	98		1983-1984	29,6
1952-1953	29,2		1968-1969	49,2		1984-1985	49
1953-1954	40		1969-1970	17		1985-1986	31,9
1954-1955	41,2		1970-1971	31,6		1986-1987	24,4
1955-1956	61,8		1971-1972	26,4		1987-1988	27,3
1956-1957	25		1972-1973	21,3		1988-1989	53,5
1957-1958	113,5		1973-1974	23,9		1989-1990	18,6
1958-1959	40,5		1974-1975	17		1990-1991	66
1959-1960	40,3		1975-1976	21,4		1991-1992	64,4
1960-1961	52,4		1976-1977	23,1		1992-1993	46,1
1961-1962	50		1977-1978	26,2		1993-1994	45,9
1962-1963	17,7		1978-1979	21,4		1994-1995	30
1963-1964	18,5		1979-1980	11,7		1995-1996	67,8
1964-1965	79,2		1980-1981	66,4		1996-1997	38
1965-1966	26,6		1981-1982	17,6		1997-1998	58,9
1966-1967	20,4		1982-1983	24,6		1998-1999	/

Dans notre étude, on suit les étapes suivantes :

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

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

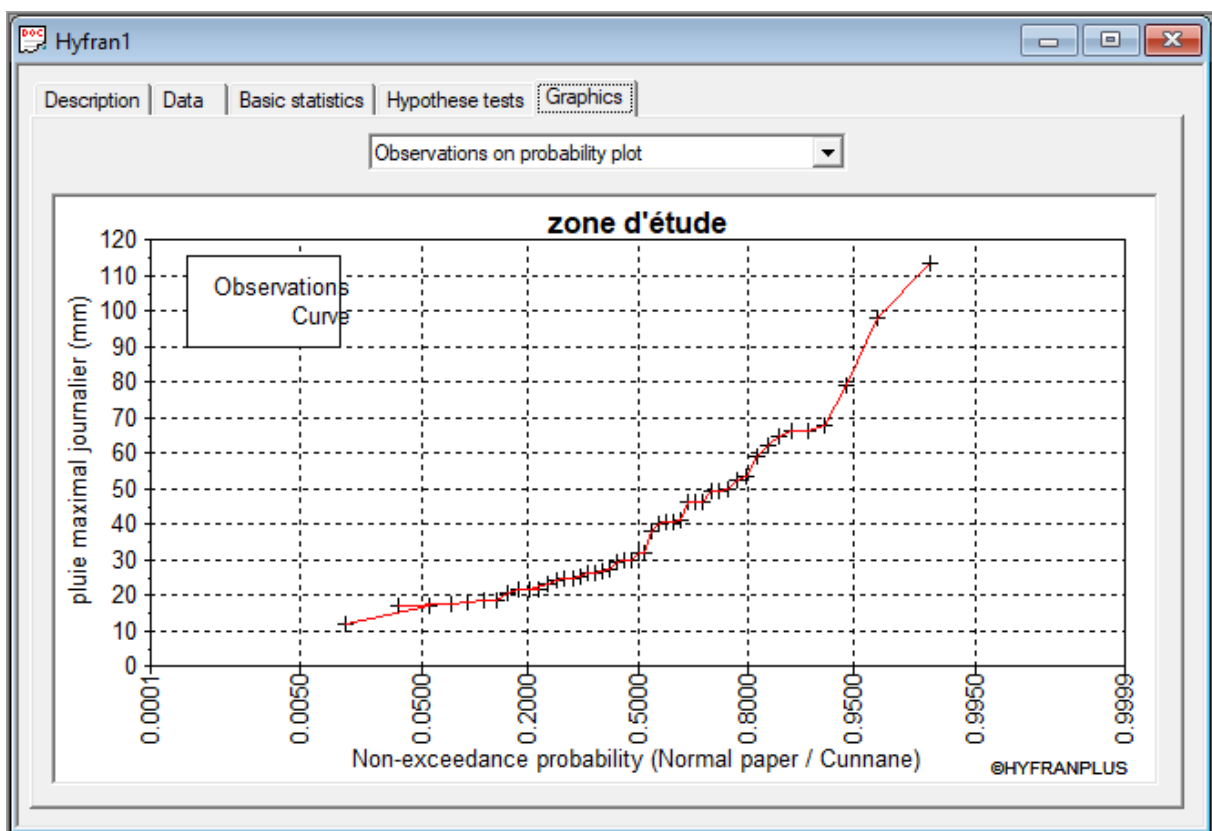
HYFRAN et sont représentées dans le tableau **II-3** suivant :

**Tableau II-3 : Caractéristique de la série de donnée avec N = 47ans**

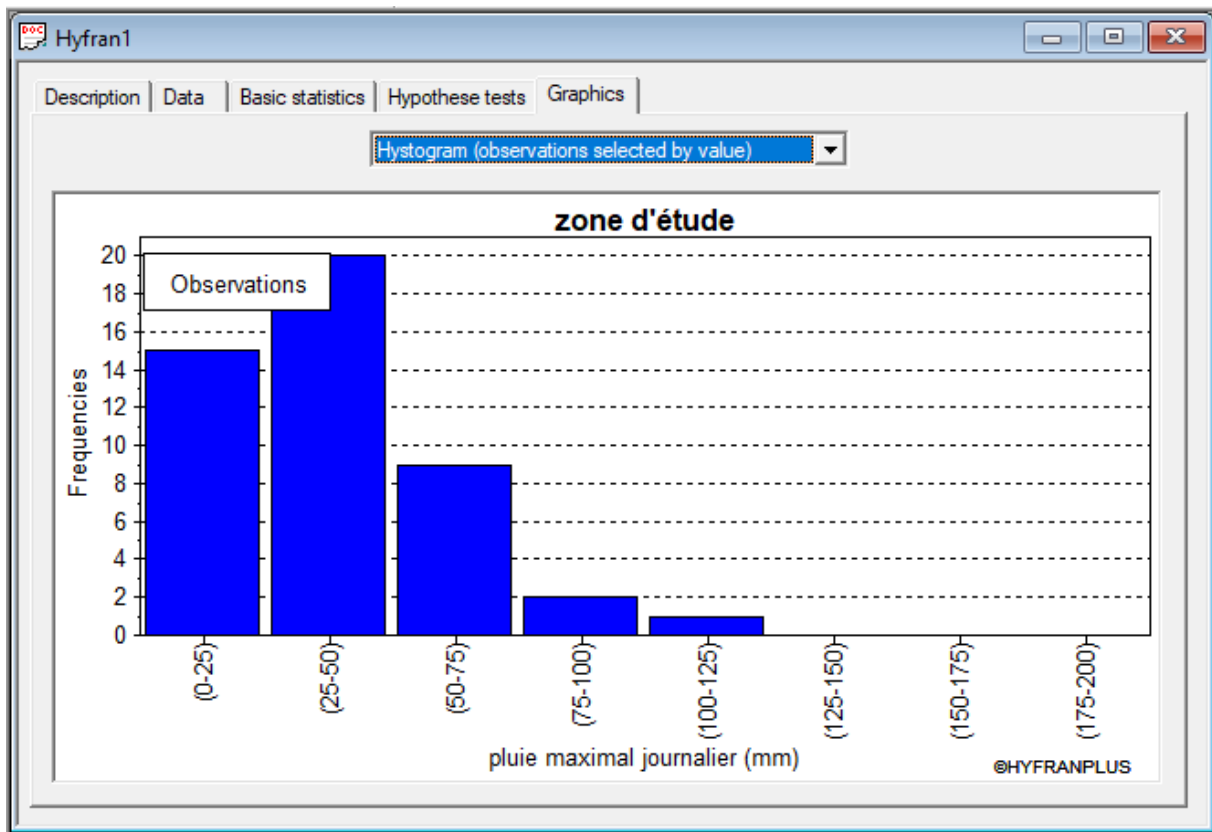
Caractéristiques	valeurs
Année d'observation	47
Minimum	11.7
Maximum	114
Moyenne	39.4
Ecart type	22
Médiane	31.6

<b>Coefficient de variation cv</b>	0.558
<b>Coefficient d'asymétrie cs</b>	1.37
<b>Coefficient d'aplatissement</b>	4.55
<b>L'exposant climatique</b>	0.35

La représentation des observations sur du papier normale e leurs histogramme sont présentées dans les figures (II.1) et (II.2) respectivement :



**Figure II.1** : Représentation des observations sur papier normal



**Figure II.2 :** Histogramme des observations.

## II.5. Choix de la loi d'ajustement :[4]

Les lois d'ajustement sont nombreuses et ne peuvent être appliquées à un échantillon que si les conditions d'homogénéités et stationnarités sont réunies. Les critères de choix d'une loi sont liés à un ajustement graphique d'abord et ensuite à un test de dispersion. L'allure des points sur du papier à probabilité permet d'accepter ou de rejeter la loi. Dans présente étude on applique la loi de GALTON (Loi Log normale) et la loi de GUMBEL (Double exponentiel) et ce avec le logiciel HYFRAN.

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

### II.5.1 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON :

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



$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-0.5u^2} du \dots \dots \dots (\text{II.1})$$

Ou :

$$U = \frac{\text{Ln } X_i - \text{Ln } \bar{X}}{\delta \text{Ln } x} \quad (\text{variable réduite de gauss})$$

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

$\sigma$ : L'écart-type de l'échantillon

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

$$\text{Ln } X (p\%) = \text{Ln } (\bar{X}) + \delta \cdot \text{Ln } u (p\%)$$

$$\text{Ln } \bar{X} = \frac{\sum_1^{47} \text{Ln } X_i}{N} \dots \dots \dots (\text{II.2})$$

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

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

$$F(x) = \frac{m-0.5}{n} \dots \dots \dots (\text{II.3})$$

Avec :

- m : Rang de précipitation ;
- n : Nombre d'observations (47) .

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

$$U = \frac{\text{Ln } x_i - \text{Ln } \bar{x}}{\delta \text{Ln } x} \dots \dots \dots (\text{II.4})$$

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

Nombre d'observation :  $n = 47$

❖ **Paramètre :**

$\mu = 3.2456$

$\sigma = 0.4345$

❖ **Quantile :**

$q = F(x)$  (probabilité au non dépassement)

$T = 1/(1-q)$ .

Les résultats d'ajustement obtenus par la loi de GALTON sont représentées dans le tableau II-4 suivant :

**Tableau II.4 : Résultats de l'ajustement à la loi de GALTON**

Période de retour (ans)	Probabilité (q)	XT (mm)	Ecart type	Intervalle de confiance
10000	0.9999	238	51.2	137 – 338
2000	0.9995	190	36.9	118 – 263
1000	0.9990	171	31.5	110 – 233
200	0.9950	131	20.9	90.4 – 172
<b>100</b>	<b>0.9900</b>	<b>115</b>	<b>17</b>	<b>82 – 149</b>
<b>50</b>	<b>0.9800</b>	<b>100</b>	<b>9.47</b>	<b>73.6 – 126</b>
<b>20</b>	<b>0.9500</b>	<b>80.9</b>	<b>6.89</b>	<b>62.3 – 99.5</b>
<b>10</b>	<b>0.9000</b>	<b>67</b>	<b>4.71</b>	<b>53.5 – 80.5</b>
<b>5</b>	<b>0.8000</b>	<b>53.3</b>	<b>3.41</b>	<b>44 – 62.5</b>
3	0.6667	43.0	2.61	36 – 49.7
<b>2</b>	<b>0.5000</b>	<b>34.4</b>	<b>2.12</b>	<b>29.3 – 39.5</b>
1.4286	0.3000	26.2	2.61	22 – 30.3
1.25	0.2000	22.2	2.12	29.3 – 39.5
1.1111	0.1000	17.7	1.96	22 – 30.3
1.0526	0.0500	14.6	1.82	18.4 – 26.1
1.0204	0.0200	11.8	1.71	14.1 – 21.2
1.0101	0.0100	10.3	1.59	11.3 – 18
1.005	0.0050	9.01	1.51	6.20 – 11.8
1.001	0.0010	6.90	1.43	4.41 – 9.38
1.0005	0.0005	6.22	1.20	3.85 – 8.58
1.0001	0.0001	4.97	1.07	2.87 – 7.07

❖ **Test d'homogénéité :**

Test d'adéquation du Khi carré

❖ **Hypothèses :**

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

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

❖ **Résultat :**

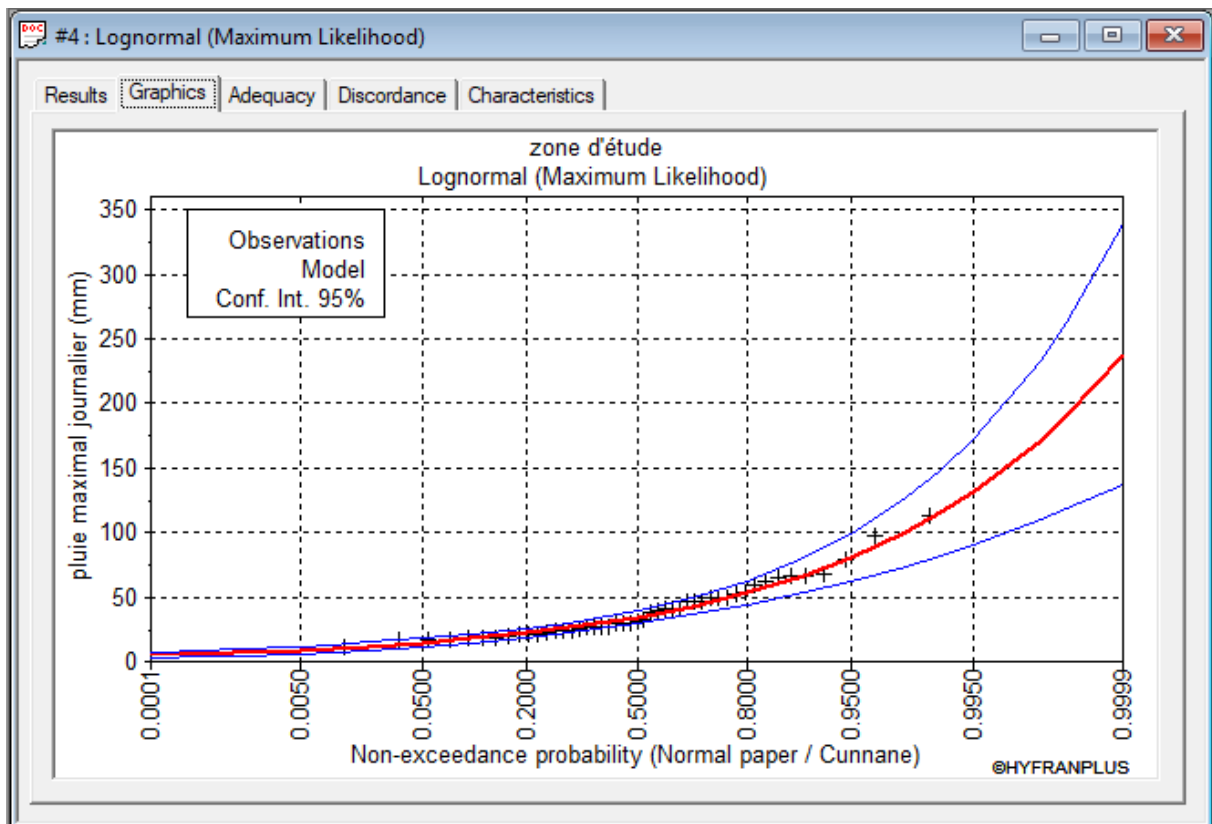
Résultat de la statistique :  $X^2 = 4.96$

P-value :  $P = 0.7329$

Degrés de liberté : 5

Nombre de classes : 8

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



**Figure II-3 :** Ajustement à la loi de GALTON (log normal)

Tableau II.5 : comparaison Caractéristiques de l'échantillon

Gumbel (méthode des moments)	Caractéristique de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	Aucun	11.7
Maximum	Aucun	114
Moyenne	39.4	39.4
Ecart Type	21.9	22
Médiane	34.4	31.6
Coefficient de variation ( $Cv$ )	0.557	0.558
Coefficient d'asymétrie ( $Cs$ )	1.84	1.37
Coefficient d'aplatissement ( $Ck$ )	9.60	4.55

### II.5.2 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL :

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

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \dots\dots\dots(\text{II.5})$$

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),
- ✓  $x_0$  : Ordonnée à l'origine en (mm).

On peut écrire :

$$Y = -\text{Ln}(-\text{Ln}(F(x))) \dots\dots\dots(\text{II.6})$$

**Gumbel (Méthode des moments) :**

❖ **Procédé d'ajustement :**

- Classement des valeurs par ordre croissant en leur affectant un numéro d'ordre.
- Calculer la fréquence expérimentale en utilisant la formule de cumule qui s'applique

Pour les lois normales et quasi normales :

$$F(x) = \frac{m-0.5}{n} \dots \dots \dots (II.7)$$

m : rang de précipitation

n : nombre d'observation (47).

- Calculer la variable de GUMBEL pour chaque valeur observée.

$$Y = -Ln(-Ln(F(x))) \dots \dots \dots (II.8)$$

### Résultats de l'ajustement par la loi de GUMBEL :

Nombre d'observations : 47

#### Quantile :

Q = F(X) (probabilité au non dépassement).

T = 1/ (1 - q)

Tableau II.6 : Résultat de l'ajustement à la loi de GUMBEL.

Période de retour (ans)	Probabilité (q)	Xt (mm)	Ecart type	Intervalle de confiance
10000	0.9999	187	24.5	139 – 235
2000	0.9995	160	20.3	120- 200
1000	0.9990	148	18.5	112- 184
200	0.9950	120	14.4	92.1- 148
<b>100</b>	<b>0.9900</b>	<b>108</b>	<b>12.6</b>	<b>83.6- 133</b>
<b>50</b>	<b>0.9800</b>	<b>96.3</b>	<b>10.8</b>	<b>75.2- 118</b>
<b>20</b>	<b>0.9500</b>	<b>80.4</b>	<b>8.45</b>	<b>63.8 – 97</b>
<b>10</b>	<b>0.9000</b>	<b>68</b>	<b>6.69</b>	<b>54.9- 81.2</b>
<b>5</b>	<b>0.8000</b>	<b>55.2</b>	<b>4.95</b>	<b>45.5 – 64.9</b>
3	0.6667	45	3.74	37.6– 52.3
<b>2</b>	<b>0.5000</b>	<b>35.8</b>	<b>2.94</b>	<b>30– 41.5</b>
1.4286	0.3000	26.3	2.70	21– 316
1.25	0.2000	26.3	2.70	15.7– 27
1.1111	0.1000	21.3	2.88	8.68– 21.7
1.0526	0.0500	15.2	3.33	3.29–18.1
1.0204	0.0200	10.7	3.77	-2.30–14.5
1.0101	0.0100	6.12	4.29	-5.76– 12.4
1.005	0.0050	3.33	4.64	-8.76– 10.9
1.001	0.0010	0.925	4.94	-14.5 –7.23
1.0005	0.0005	-5.26	5.76	-16.5– 6.03
1.0001	0.0001	-8.55	6.21	-20.7– 3.62

La figure suivante nous montre le résultat de l'ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL

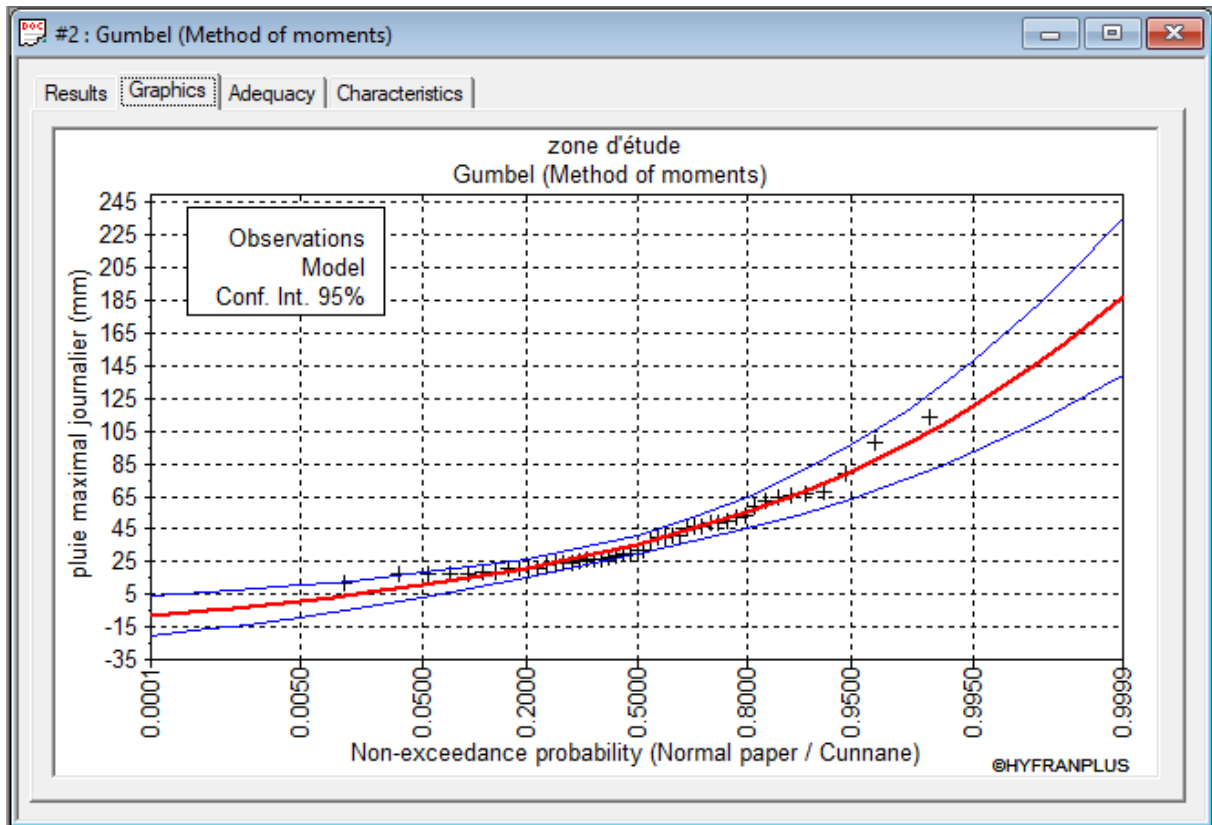


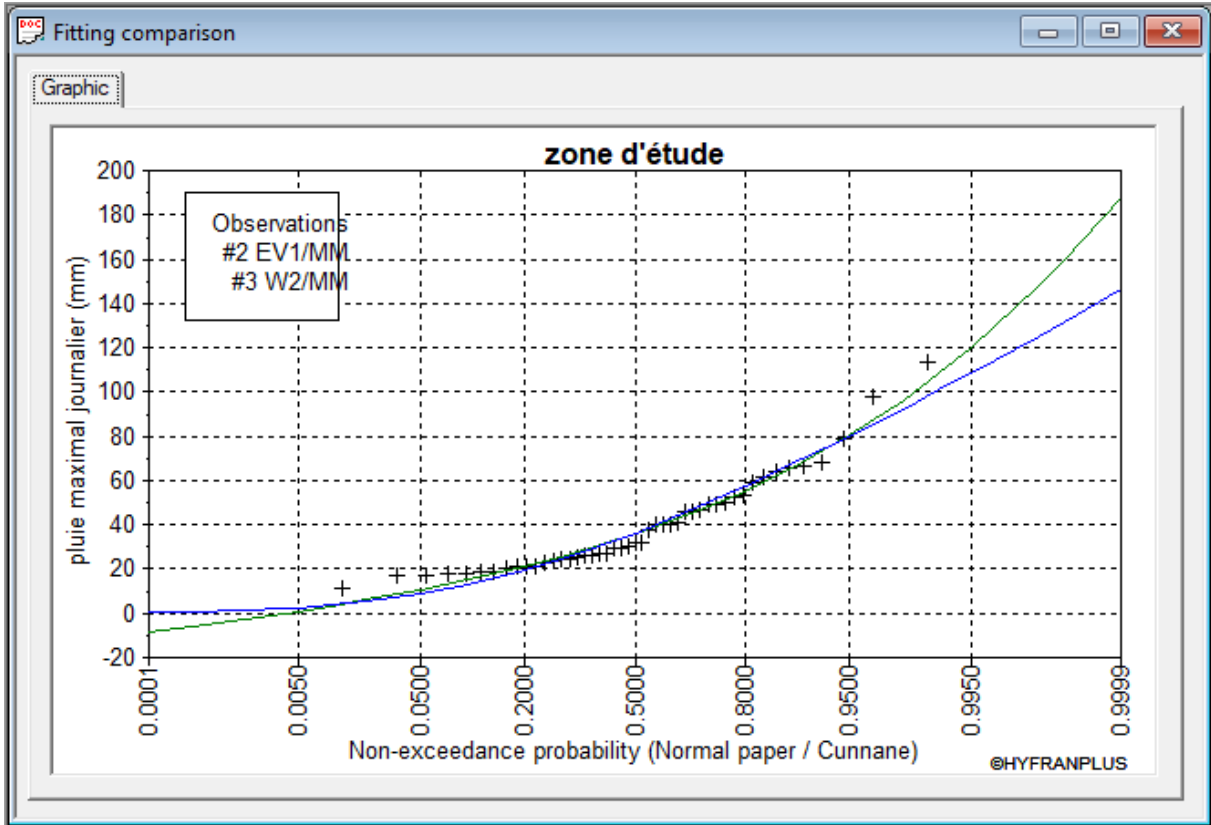
Figure II.4 : Ajustement pas la loi de Gumbel.

Tableau II.7 : Comparaison des caractéristiques de loi et de l'échantillon.

Gumbel (méthode des moments)	Caractéristique de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	Aucun	11.7
Maximum	Aucun	114
Moyenne	39.4	39.4
Ecart Type	22	22
Médiane	35.8	31.6
Coefficient de variation ( $Cv$ )	0.558	0.558
Coefficient d'asymétrie ( $Cs$ )	1.14	1.37
Coefficient d'aplatissement ( $Ck$ )	2.4	4.55

**II.5.3 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 II.5 :** Comparaison entre deux lois d’ajustement

**Remarque :**

En se référant aux graphes obtenus, par ces deux lois, celui de GUMBEL et GALTON, nous avons remarqué que l’ajustement issu de la loi de GALTON est le meilleur; du moment que la position des données expérimentales sont plus proches de la droite théorique. Alors on opte pour la loi de GALTON (Log normale).

**II.6. Les pluies de courte durée :**

Nous passons des pluies journalières maximales aux pluies de courte durée de même Fréquence en utilisant la relation suivante :

$$Ptc = PJmax\left(\frac{Tc}{24}\right)^b \dots\dots\dots(II.9)$$

Où :

**Ptc** : pluie de courte durée de fréquence donnée, (mm).

**Pjmax** : pluie journalière maximale de même fréquence, (mm).

**Tc** : temps de concentration, (heure).

**b** : exposant climatique = 0,35.

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

$$I_{tc} = P_{tc}/t.....(II.10)$$

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

**Ptc** : Pluies de courte durée (mm),

**I<sub>tc</sub>** : Intensité maximale (mm/h).

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

**Tableau II.8 : Pluies et intensités maximales de durée t (h) et de périodes retour T (ans).**

Periode de retour	10		20		50		100		1000	
	Ptc(mm)	I <sub>tc</sub> (mm)	Ptc	I <sub>tc</sub>	Ptc	I <sub>tc</sub>	Ptc	I <sub>tc</sub>	Ptc	I <sub>tc</sub>
Fréquence (%)	0.9		0.95		0.98		0.99		0.999	
T(h)	68.06		71.22		96.36		108.33		147.87	
0.5	17,56	35,11	18,37	36,74	24,86	49,72	27,95	55,89	38,15	76,29
1	22,38	22,38	23,42	23,42	31,68	31,68	35,62	35,62	48,62	48,62
2	28,52	14,26	29,85	14,92	40,38	20,19	45,40	22,70	61,97	30,98
3	32,87	10,96	34,40	11,47	46,54	15,51	52,32	17,44	71,42	23,81
4	36,35	9,09	38,04	9,51	51,47	12,87	57,86	14,47	78,98	19,75
5	39,31	7,86	41,13	8,23	55,65	11,13	62,56	12,51	85,40	17,08
6	41,90	6,98	43,84	7,31	59,32	9,89	66,68	11,11	91,02	15,17
6.83	43,84	6,42	45,87	6,72	62,07	9,09	69,78	10,22	95,25	13,95



7	44,22	6,32	46,27	6,61	62,60	8,94	70,38	10,05	96,07	13,72
8	48,28	5,36	50,53	5,61	68,36	7,60	76,85	8,54	104,90	11,66
9	53,40	4,45	55,88	4,66	75,60	6,30	84,99	7,08	116,02	9,67
15	57,74	3,85	60,42	4,03	81,74	5,45	91,90	6,13	125,44	8,36
18	61,54	3,42	64,40	3,58	87,13	4,84	97,95	5,44	133,71	7,43
21	64,95	3,09	67,97	3,24	91,96	4,38	103,38	4,92	141,12	6,72
24	68,06	2,84	71,22	2,97	96,36	4,02	108,33	4,51	147,87	6,16

Les graphes représentant les courbes des pluies à courte durée et les courbes Intensité-Durée Fréquence pour notre station et à différentes fréquences sont données dans les figures (II- 6) et (II- 7)

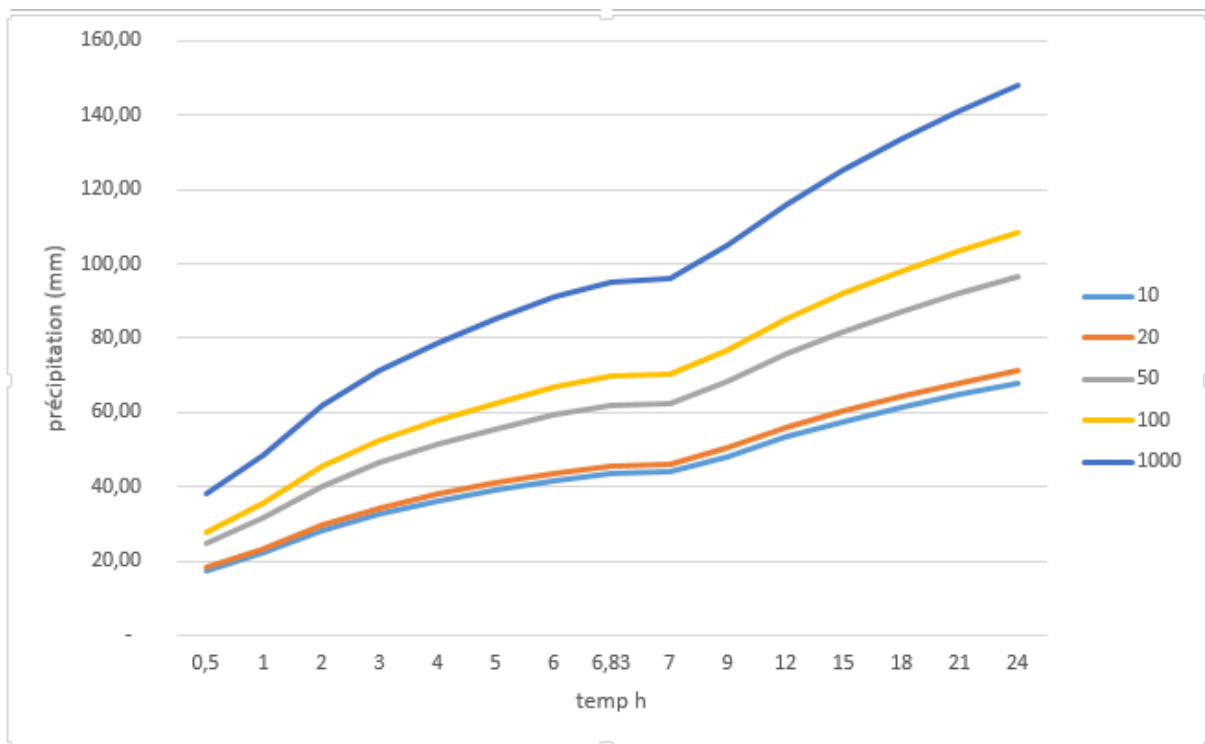
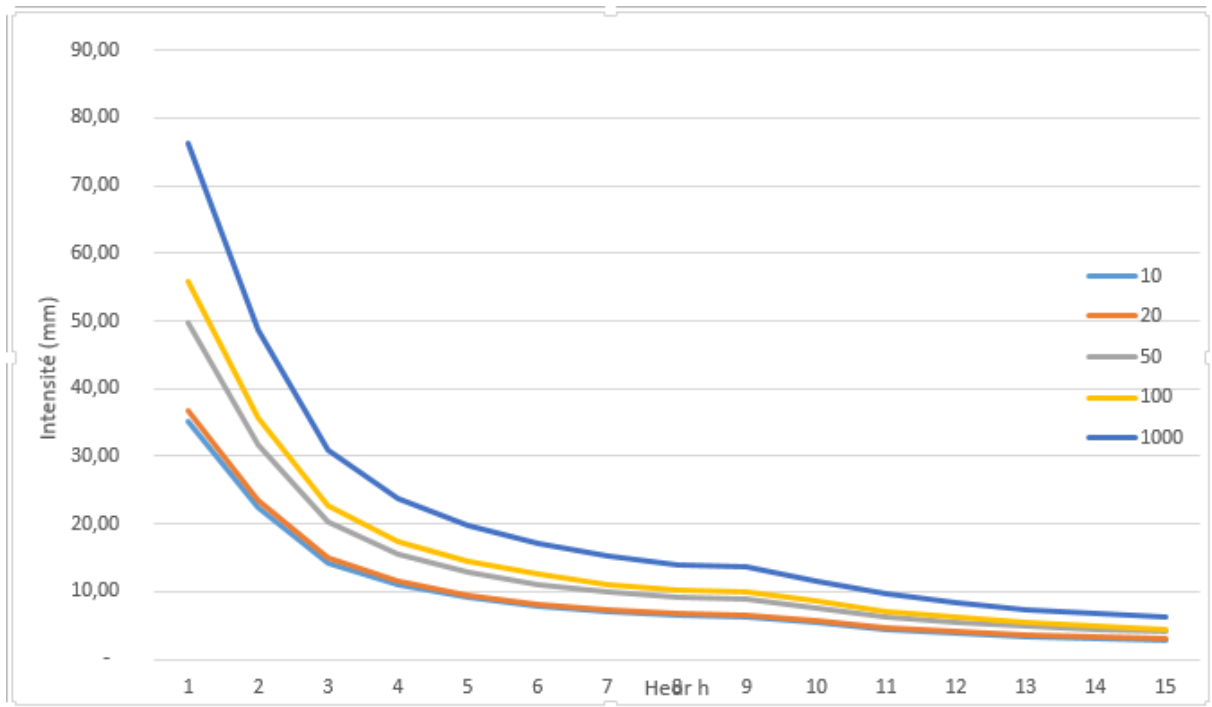


Figure II-6 : Courbe Pluies de Courtes durées.



**Figure II.7 :** Courbe Intensité-Durée-Fréquence.

### II.7 Conclusion :

Parmi les deux lois de l'ajustement, la droite de Gumbel donne, dans notre cas, la meilleure loi d'ajustement des précipitations maximales journalières. A la station de Bordj Bou Arirrij, la pluie maximale journalière (figure II-6) correspondante au temps de concentration 6.83 h et pour une période de récurrence de 1000 ans, est de 95.25 mm, et l'intensité maximale (figure II-7) est de 77.22 mm/h.

# **Chapitre III: Etude Des Apports Et Des Crues**

## CHAPITRE III: ETUDE DES APPORTS ET DES CRUES :

### III.1. Introduction :

Le bassin versant de l'oued **SAF-SAF** se caractérise aussi par une pluviosité assez irrégulière, tombant sous forme d'averses générant ainsi souvent des crues. Les orages sont fréquents généralement de Décembre à Janvier et accompagnés de pluies torrentielles. Ce qui nous mène à parler probablement des inondations de l'oued **SAF-SAF** qui a été l'objet d'une crue régulière généralement à partir du mois de décembre

### III.2 Etudes des apports :

La détermination de ces apports est orientée de préférence aux observations hydrométriques, quand elles existent sur le bassin versant propre du site étudié ou par analogie avec un bassin voisin. A défaut de ces dernières, des modèles et des formules empiriques basés sur la pluviométrie devront être appliqués, ces modèles dépendent de la précipitation et du déficit.

#### III.2.1 Estimation de l'apport moyen annuel interannuelle :

L'apport moyen interannuel est estimé par l'utilisation des formules empiriques, des différents auteurs, suivantes :

##### III.2.1.1 Formule de DERI .I :

$$A0 = 0.915 * Pmoy^{2.684} . S^{0.842} \dots\dots\dots(III.1)$$

**Pmoy** : Pluie moyenne annuelle (396mm) ;

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

$$Le = \frac{A0}{S}$$

**Le** : lame d'eau écoulée en (mm).

**A0** : apport moyen en (m<sup>3</sup>).

##### III.2.1.2 Formule de TURC :

$$Le = Pmoy - D$$

$$D = \left[ \frac{Pmoy}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{Pmoy}{L}\right)^2}} \right] \dots\dots\dots(III.2)$$

Avec :

**P<sub>moy</sub>** : pluie moyenne annuelle

**D** : Déficit de l'écoulement (mm) ;

**L** : Variable théorique ;  $L = 300 + 25 T_{moy} + 0.05 (T_{moy})^3$

**T<sub>moy</sub>** : Température moyenne annuelle ( $17.7^0$ ). **A0** =Le\*S

**III.2.1.3 Formule de SAMIE :**

$$Le = P_{moy}^2 (293 - 2.2\sqrt{S}) \dots\dots\dots(III.3)$$

$$A0 = Le * S$$

**Avec :**

**P<sub>moy</sub>** : Pluie moyenne annuelle

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

**Le** : lame d'eau écoulée (mm)

**A0** : apport moyen en (m<sup>3</sup>).

**III.2.1.4 Formule de MEDINGER :**

$$A0 = Le * S \dots\dots\dots(III.4)$$

$$Le = 1.024(P_{moy} - 0.26)^2$$

**Avec :**

**Le** : lame d'eau écoulée (mm).

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

**III.2.1.5 Formule d'ANRH :**

$$A0 = 0.915 * S^{0.842} * P_{moy}^{2.684} \dots\dots\dots(III.5)$$

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

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

Tableau III-1 : Récapitulatif des résultats des apports

Formule	Lame d'eau (mm)	Apport moyen annuelle en (Hm3)
DERI I	38.63	6.041
TURC	10.48	1.633
SAMIE	65.10	4.163
MEDINGER	16.03	2.507
ANRH	89.05	4.022
MOYENNE	43.85	3.67

**Remarque :**

D'après ces résultats, on opte pour l'apport moyen annuel donné par la formule de l'A.N.R.H. Elle nous paraît la plus réaliste et plus récente, car elle est proche de la valeur moyenne.

**III.2.2 Caractéristique de l'écoulement :****a) Module de l'écoulement :**

Il est donné par la relation suivante :

$$Me = \frac{A0}{T} \dots \dots \dots (III.6)$$

**A0** : Apport moyen annuelle (litre).

**T** : Temps d'une année en (second) ''T=31,536.106 Secondes''.

**b) Module de l'écoulement relatif ou spécifique :**

$$q = \frac{Me}{S} \dots \dots \dots (III.7)$$

**q** : Module de l'écoulement (l/s).

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

**c) Lame d'eau écoulée :**

$$Le = \frac{A0}{S} \dots \dots \dots (III.8)$$

**A0** : Apport moyen annuel (litre)

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

**d) Coefficient de l'écoulement :**

$$C_e = \frac{L_e}{P_{moy}} \dots \dots \dots (III.9)$$

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

**L<sub>e</sub>** : Lamme d'eau écoulée en (mm).

**e) Coefficient de variation :**

Pour le calcul du coefficient de variation Cv, sans série d'observation des raisons de manque de donnée pour, on doit utiliser les formules empiriques :

➤ **Formule de SOKOLOVSKY :**

$$Cv = (0,78 - 0,29 \log M_0) - 0,063 \log(s + 1) \dots \dots \dots (III.10)$$

**Avec :**

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

➤ **Formule d'OURK GUIPROVODKHOZ :**

$$Cv = \frac{0.7}{M_0 - 0.127} \dots \dots \dots (III.11)$$

**Avec :**

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

➤ **Formule de L'ANTONOV :**

$$Cv = \frac{0.7}{(S+1000)^{0.097}} \dots \dots \dots (III.12)$$

**Avec :**

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

➤ **Formule de KRISTEKLY MENKEL:**

$$Cv = \frac{0.83}{(S^{0.06} * q^{0.27})} \dots \dots \dots (III.13)$$

**q** : Module de l'écoulement relatif

Les résultats caractéristiques d'écoulement dans le tableau suivant :

Tableau III -2 : Les apports fréquentiels du bassin oued SAF-SAF.

Formule	q(l/s/km <sup>2</sup> )	cv
DERI I	4,23	0,41
TURC	2,63	0,47
SAMIE	1,39	0,56
MEDINGER	2,96	0,45
ANRH	1,53	0,54
MOYENNE	<b>2.54</b>	<b>0.48</b>

### III.3 Etude des crues :

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

#### III.3.1 Formules empiriques pour la détermination de crues :

##### III.3.1.1 Formule de MALLET-GAUTHIER :

$$Q_{max} = 2 * k \text{Log}(20H) * \frac{S}{\sqrt{L}} * \sqrt{1 + 4\text{Log} T - \text{Log} S} \dots \dots \dots (\text{III.14})$$

Avec :

**K** : Constante comprise entre 1 et 3

**H** : Précipitation moyenne interannuelle en (mm)

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

**L** : Longueur du talweg principal en (Km)

**T** : période de retour (ans)

Tableau 2 Tableau III-3 : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de MALLET-GAUTHIER) oued SAF-SAF (BBA).

<b>BASSIN versant</b>	<b>Fréquence (%)</b>	0.90	0.95	0.98	0.99	0.999
	<b>Période de retour (an)</b>	10	20	50	100	1000
<b>Bv oued SAF-SAF</b>	<b>Qmax (m3 /s)</b>	<b>332,83</b>	<b>264,14</b>	<b>239,63</b>	<b>202,75</b>	<b>169,60</b>



**III.3.1.2 Formule de SOKOLOVSKY :**

Dans cette méthode, la crue est déterminée comme un débit max généré par une averse une pluie de courte durée correspond au temps de concentration. Le temps de montée de la crue est donc pris égal au temps de concentration.

$$Q_{max} = 0.28 * P_{tc} * \alpha_T * K * S / T_c \dots \dots \dots (III.15)$$

Où :

**Q<sub>max</sub>** : Débit de pointe d'une fréquence « F », en m<sup>3</sup>/s.

**P<sub>tc</sub>** : Pluie de courte durée correspondante au temps de concentration « T<sub>c</sub> » et à

Une fréquence « F », (mm).

**K** : coefficient de forme de l'hydro-gramme de crue.

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

**T<sub>c</sub>** : temps de concentration, (heure)

**α<sub>T</sub>** : coefficient de ruissèlement de la crue fonction du période de retour « T ».

**Tableau III-4 : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de SOKOLOVSKI) oued SAF-SAF (BBA)**

BASSIN versant	Fréquence (%)	0.90	0.95	0.98	0.99	0.999
	Période de retour (an)	10	20	50	100	1000
Bv oued SAF-SAF	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /s)	373,93	259,65	210,56	160,16	121,34

**III.3.1. 4. Formule Rationnelle (TURRAZA) :**

$$Q_{max} = C_e . P_{tc} . S / T_c \dots \dots \dots (III.16)$$

Où :

**C<sub>e</sub>** : coefficient d'écoulement

**S** : superficie du bassin versant, (km<sup>2</sup>)

**P<sub>tc</sub>** : pluie de courte durée pour t = T<sub>c</sub>, (mm)

**T<sub>c</sub>** : temps de concentration, (heure).

**Tableau III-5 : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de TURRAZA) oued SAF-SAF (BBA).**

BASSIN versant	Fréquence (%)	0.90	0.95	0.98	0.99	0.999
	Période de retour (an)	10	20	50	100	1000
Bv oued SAF-SAF	Qmax (m3 /s)	395,69	267,13	226,29	181,59	147,13

**III.3.1.5 Formule de GIANDOTTI :**

$$Q_{max} = \lambda * S * P_{tc} \sqrt{\frac{(H_{moy} - H_{min})}{(4 * \sqrt{S}) + 1.5L}} \dots \dots \dots (III.17)$$

Où :

**S** : surface du bassin versant, (Km<sup>2</sup>)**P<sub>tc</sub>** : pluie de courte durée pour fréquence donnée**H<sub>min</sub>** : altitude minimale du Bassin Versant**H<sub>moy</sub>** : altitude moyenne du Bassin Versant**L** : longueur du talweg principal.**λ** : coefficient dépendant les paramètres climatiques et physiques du bassin (λ = 0.1a 0.16)**Tableau III-6 : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de GIANDOTTI) oued SAF-SAF (BBA).**

BASSIN versant	Fréquence (%)	0.90	0.95	0.98	0.99	0.999
	Période de retour (an)	10	20	50	100	1000
Bv oued SAF-SAF	Qmax (m3 /s)	324,16	250,10	228,17	198,35	175,32

Les résultats de calcul de toutes les formules pour notre bassin versant sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau III-7 : résumer de calcul avec différent formule des Débit de différentes fréquences (Oued SAF-SAF)**

Fréquence	0.999	0.99	0.98	0.95	0.90
Période de retour (an)	1000	100	50	20	10
TURRAZA	395,69	267,13	226,29	181,59	147,13
SOKOLOVSKY	373,93	259,65	210,56	160,16	121,34
GIANDOTTI	324,16	250,10	228,17	198,35	175,32
M-G	332,83	264,14	239,63	202,75	169,60
Moyenne des formules	356,65	260,25	226,16	185,71	153,35
Q adopté (m <sup>3</sup> /s)	373,93	259,65	210,56	160,16	121,34

D'après les tableaux précédents, les formules empiriques utilisées sont souvent appliqué sur les bassins du nord Algérien. C'est la raison pour laquelle ces valeurs sont plus proche aux observations dans l'annuel hydrologique.

Les résultats les plus proches par apport à la moyenne des méthodes calculées. Elles seront portés autant que débits de crue fréquentielles dans notre étude.

### III.3.2. Hydrogramme de crue :

Les hydrogrammes de crue sont déterminés par la méthode de SOKOLOVSKY, cette dernière les assimile à partir de deux équations paraboliques, l'une pour la montée des crues, l'autre pour la descente (la décrue).

➤ Pour la montée des crues :

$$Qm = Mmax \left( \frac{T}{Tm} \right)^2 \dots\dots\dots(III.18)$$

Avec :

Tm=Tc temps de montée

➤ Pour la décrue :

$$Qd = Qmax \frac{(Td-t)^3}{Tb} \dots\dots\dots(III.19)$$

Td = δ Tm (Sokolovski).

Td : Temps de décrue.

Tb : Temps de base

$$T_h = T_m + T_d$$

$\delta$  : Coefficient dépendant des caractéristiques du bassin versant, il est pris en général compris entre (2 et 4), celui-ci est fonction du cours d'eau (longueur), de la perméabilité et du boisement du bassin, on prend  $\delta=2$ .  $T_d = \delta$  et  $T_c = T_b = T_d + T_m$

Tableau III-8 : Tableau récapitulatif des temps de concentration, de montée et de décrue.

Bassin versant	$\delta$	$t_c = t_m$	$t_d$	$t_h$
Bv oued SAF-SAF	3	6.83	20.49	27.32

Pour construire l'hydrogramme de crue de notre bassin d'oued SAF-SAF, nous avons utilisé les valeurs des débits de crues pour différentes périodes de retour, les résultats obtenus sont exposés dans les tableaux (III-9).

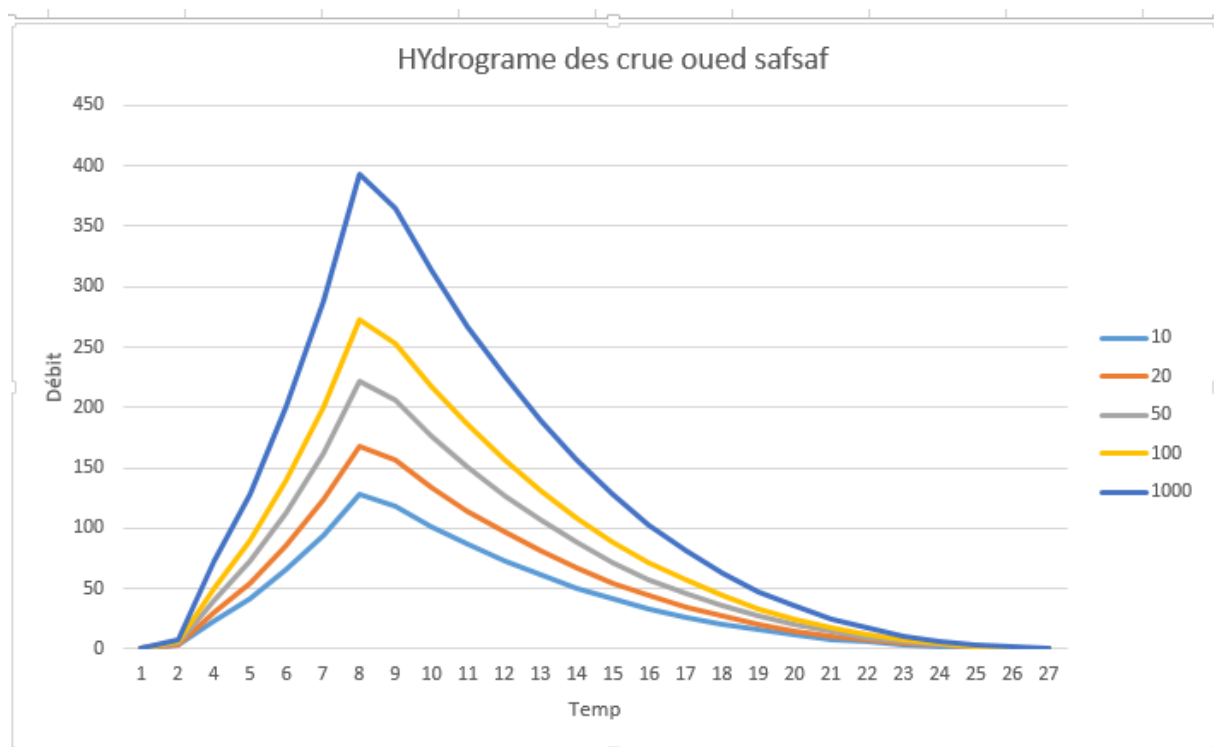
L'hydrogramme de crues est représenté dans les Figures (III-1).

Tableau III-9 : Débit de crues pour différentes périodes de retour d'oued SAF-SAF

Ans \ T(h)	10	20	50	100	1000
0	0	0	0	0	0
1	2,601133146	3,433307109	4,513718437	5,566047645	8,015837458
2	10,40453258	13,73322844	18,05487375	22,26419058	32,06334983
3	23,41019831	30,89976398	40,62346593	50,09442881	72,14253712
4	41,61813033	54,93291375	72,21949499	89,05676232	128,2533993
5	65,02832864	85,83267773	112,8429609	139,1511911	200,3959365
6	93,64079324	123,5990559	162,4938637	200,3777152	288,5701485
6,83	121,34	160,16	210,56	259,65	373,93
6,9	118,344813	156,20657	205,362483	253,240733	364,699817
8	101,718391	134,260899	176,510832	217,662603	313,46265
9	86,7270399	114,473403	150,496502	185,583286	267,264233
10	73,2861283	96,7323744	127,172632	156,821685	225,843761
11	61,3110253	80,9261069	106,392364	131,196701	188,940429

12	50,7170998	66,9428936	88,0088392	108,527237	156,293433
13	41,419721	54,6710278	71,8751974	88,6321952	127,641967
14	33,3342578	43,9988028	57,8445799	71,3304767	102,725227
15	26,3760792	34,8145117	45,7701273	56,4409838	81,2824074
16	20,4605543	27,0064479	35,5049804	43,7826185	63,0527038
17	15,5030521	20,4629045	26,90228	33,1742829	47,7753114
18	11,4189416	15,0721748	19,8151669	24,4348788	35,1894251
19	8,12359183	10,7225521	14,0967817	17,3833082	25,0342401
20	5,5323718	7,30232954	9,60026541	11,8384732	17,0489516
21	3,56065053	4,69980046	6,17875865	7,61927566	10,9727547
22	2,12379705	2,80325807	3,68540222	4,54461763	6,54484448
23	1,13718037	1,50099562	1,9733369	2,43340106	3,50441616
24	0	0	0	0	0

### III.3.2.1 Construction des hydrogrammes des crues (SOKOLOVSKY) :



**Figure III-1** : Hydrogramme fréquentiels des différentes périodes de retour d'oued SAF-SAF.

### **III.4. Conclusion :**

L'objectif de ce chapitre est de calculer les caractéristiques du bassin versant qui influent sur l'oued à aménager. De présenter les principales méthodes utilisées pour l'estimation des crues, de choisir la méthode adéquate pour tracer les hydro grammes des crues qui nous permettent de voir leur évolution dans le temps et d'avoir le débit optimal pour l'utiliser dans le dimensionnement.

# Chapitre IV :

# Etude Hydraulique

# Sans Aménagement

---

**CHAPITRE IV : ETUDE HYDRAULIQUE SANS AMENAGEMENT :****IV.1. Introduction :**

Dans ce chapitre nous allons faire l'étude hydraulique de l'oued principal **SAF-SAF** en amont de la C.W 143 jusqu'au en aval sur distance totale de 10.20 Km à l'état initial, à l'aide de logiciel HEC-RAS dans le but de vérifier la section d'aménagement à adopter pour le oued **SAF-SAF** en prenant des dimensions suffisantes pour évacuer la crue de projet calculées par l'étude hydrologique.

**IV.2. Généralités sur les écoulements à surface libre :****IV.2.1. Les Canaux naturels:**

On appelle canal un système de transport dans lequel l'eau s'écoule et dont la surface libre est soumise à la pression atmosphérique.

L'étude hydraulique d'un canal se pose souvent aux ingénieurs sous la forme suivante :

Pour une pente longitudinale de fond, il faut évacuer un certain débit ; la forme et les dimensions du canal sont à déterminer.

**IV.2.1.1. Les différents types de Canaux : [6]**

On distingue deux catégories de canaux :

- 1) Les canaux naturels.
- 2) Les canaux artificiels.

➤ **Les canaux naturels :**

Ce sont les cours d'eau qui existent naturellement sur (ou sous) terre; tels que les ruisselets, torrents, rivières, fleuves et estuaires. Les propriétés géométriques et hydrauliques des canaux naturels sont généralement assez irrégulières.

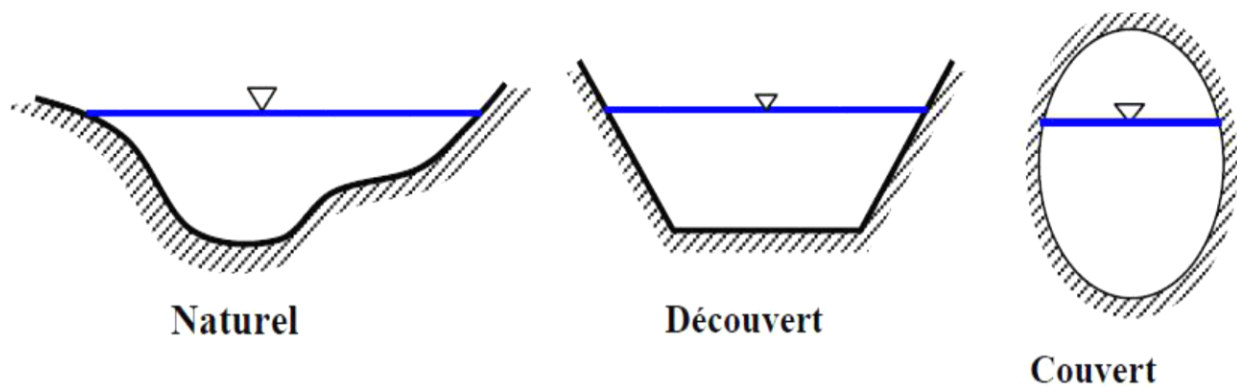
L'application de la théorie hydraulique ne donne que des résultats approximatifs obtenus moyennant certaines hypothèses.



➤ **Les canaux artificiels :**

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

Les propriétés hydrauliques des canaux artificiels sont généralement assez régulières. L'application de la théorie hydraulique donne souvent des résultats satisfaisants.



**Figure IV.1 :** Types de canaux.

**IV.2.1.2. Géométrie des canaux :**

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

Un canal dont la section ne varie pas et dont la pente longitudinale et la rugosité restent constantes, la hauteur d'eau pouvant cependant varier, est appelé canal prismatique, sinon, on l'appelle canal non prismatique.

A part les éléments géométriques d'une section, l'étude hydraulique des canaux prend également en considération les pentes longitudinales du canal, En l'occurrence :

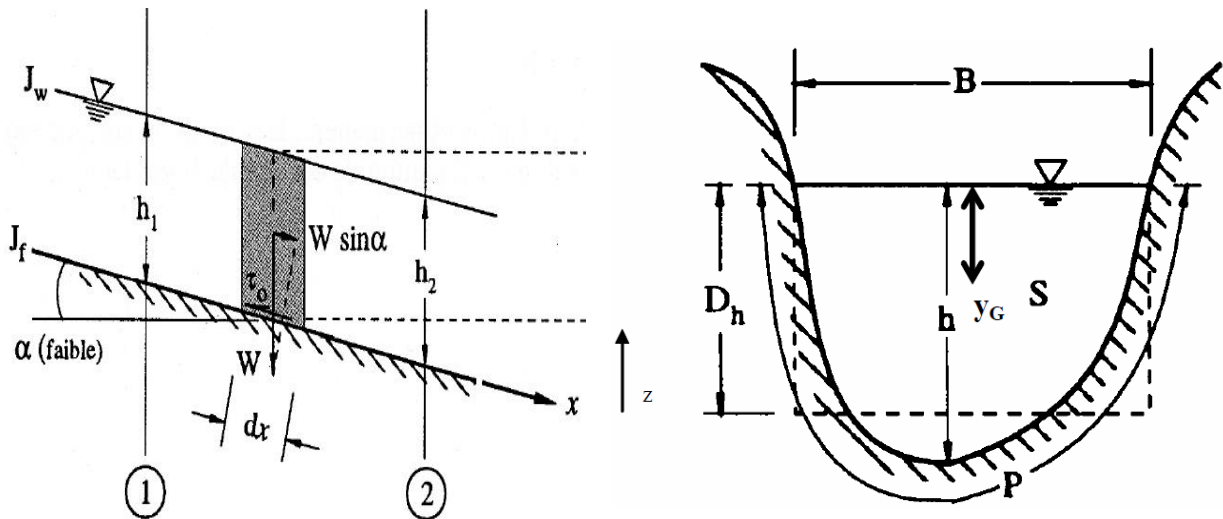


Figure IV.2: Eléments géométriques de la section.

- 1) la pente de fond du canal,  $I_f$ ,
- 2) la pente piézométrique ou pente de la surface libre,  $J_w$ .

La valeur de la pente de fond dépend essentiellement de la topographie et de la constitution du terrain.

Cette pente, généralement faible, peut être exprimée par :  $I = \text{tg } \theta = \sin \theta$   $\theta$ : l'inclinaison de la pente.

Les éléments géométriques d'une section, ou surface mouillée,  $A$ , sont les suivants :

- La section transversale d'un canal est la section plane normale à la direction de l'écoulement.
- La surface mouillée,  $S$ , est la portion de la section occupée par le fluide dans la section du canal.
- Un canal dont la section, la pente et la rugosité ne varient pas suivant le sens de l'écoulement est appelé canal prismatique (Les caractéristiques hydrauliques peuvent varier!!).
- Le périmètre mouillé,  $P$ , est formé par la longueur de la ligne de contact entre la surface mouillée et les parois de la section (la largeur de la surface libre n'entre pas en compte).
- Le rayon hydraulique est donné par :  $Rh = \frac{S}{P}$ .....(IV.1)
- La largeur superficielle ou largeur au miroir,  $B$ , est la largeur du canal au niveau de la surface libre.

$$RH = \frac{DS}{DH} \dots \dots \dots (IV.2)$$

- La profondeur hydraulique est donnée par :

$$Dh = \frac{S}{B} \dots \dots \dots (IV.3)$$

- La profondeur h :

La profondeur, h, ou hauteur d'eau est considérée comme la profondeur maximum.

La Figure donne les formules des éléments géométriques pour cinq (05) différents types de sections de canaux. Certains cours d'eau naturels ont une forme géométrique assez irrégulière, mais peuvent toutefois être approximés par des sections trapézoïdales ou paraboliques

					$h = R(1 - \cos \delta)$	
Surface S		$S = mh^2$	$S = bh + mh^2$	$S = Bh - \frac{(B-b)^2}{4m}$	$S = \frac{D^2}{4}(\delta - \sin \delta \cos \delta)$	$S = Dh + D^2 \left( \frac{\pi}{8} - \frac{1}{2} \right)$
Périmètre mouillé P		$P = 2h\sqrt{1+m^2}$	$P = b + 2h\sqrt{1+m^2}$	$P = 2h + b + \frac{(B-b)(\sqrt{1+m^2}-1)}{m}$	$P = D\delta$	$P = 2h + D \left( \frac{\pi}{2} - 1 \right)$
Rayon Hydraulique $R_h$		$R_h = \frac{mh}{2\sqrt{1+m^2}}$	$R_h = \frac{bh + mh^2}{b + 2h\sqrt{1+m^2}}$	$R_h = \frac{S}{P}$	$R_h = \frac{D}{4} \left( 1 - \frac{\sin \delta \cos \delta}{\delta} \right)$	$R_h = \frac{S}{P}$
Largeur B		$B = 2mh$	$B = b + 2mh$	B	$B = D \sin \delta$	$B = D$
Profondeur hydraulique $D_h$		$D_h = \frac{h}{2}$	$D_h = \frac{bh + mh^2}{b + 2mh}$	$D_h = \frac{S}{B}$	$D_h = \frac{D(\delta - \sin \delta \cos \delta)}{4 \sin \delta}$	$D_h = \frac{S}{B}$
$S_{yG}$		$S_{yG} = \frac{mh^3}{3}$	$S_{yG} = \left( \frac{b}{2} + \frac{mh}{3} \right) h^2$	$S_{yG} = \frac{Bh^2}{2} - \frac{h(B-b)^2}{4m} + \frac{(B-b)^3}{24m^2}$	$S_{yG} = \frac{D^3}{8} \left( \sin \delta - \frac{\sin^3 \delta}{3} - \frac{\delta \cos \delta}{3} \right)$	$S_{yG} = \frac{D}{2} \left( h - \frac{D}{2} \right)^2 + \frac{\pi D^2}{8} \left( h - \frac{D}{2} \right) + \frac{D^3}{12}$

Figure IV.3 : Eléments géométriques pour différentes sections de canaux.

IV.2 .1.3. Ecoulement dans les canaux :

Les écoulements dans les canaux naturels et artificiels sont des écoulements à surface libre.

Cet écoulement présente par définition la particularité de comporter une surface libre en contact avec l'air, généralement soumise à la pression atmosphérique (*Carlier, 1986*).

L'écoulement à surface libre est dû à la pente de fond du canal et non, comme pour les conduites, à la différence de charge entre deux sections.

#### **IV.2 .1.3. Types d'écoulement : [7][8]**

##### **- Écoulement stationnaire (permanent) :**

L'écoulement est permanent si les vitesses moyennes et ponctuelles ( $V$  et  $U$ ) ainsi que les la profondeur  $h$  ou  $dh$  restent invariables dans le temps en tout point dans l'espace dans toutes les directions, par conséquent le débit est constant entre les diverses sections du canal (sans apport latéral).

##### **- Écoulement non stationnaire (non permanent) :**

L'écoulement est non permanent si la profondeur d'eau  $dh$  ainsi que les autres paramètres ( $V$  et  $U$ ) varient avec le temps et par conséquent le débit n'est pas constant.

##### **- Écoulement uniforme :**

L'écoulement uniforme implique deux conditions : la permanence et la continuité.

L'écoulement est uniforme si la profondeur, la pente, la vitesse et la section droite demeurent constantes sur une longueur donnée du canal.

##### **- Écoulement non uniforme :**

L'écoulement est non uniforme quand la profondeur de l'écoulement varie le long du canal ouvert : . L'écoulement non uniforme peut être permanent ou non. On peut également le qualifier de tranquille, rapide ou critique.

##### **- Écoulement laminaire :**

L'écoulement laminaire se produit généralement dans les canaux ouverts pour des valeurs du nombre de Reynolds,  $Re$ , inférieures ou égales à 2320. (Lors du calcul du nombre de Reynolds en utilisant le rayon hydraulique  $RH$ , la valeur limite de  $Re$  est de 580).

##### **- Ecoulement turbulent**

L'écoulement turbulent se produit généralement dans les canaux ouverts pour des valeurs du nombre de Reynolds, Re, supérieures à 10000.

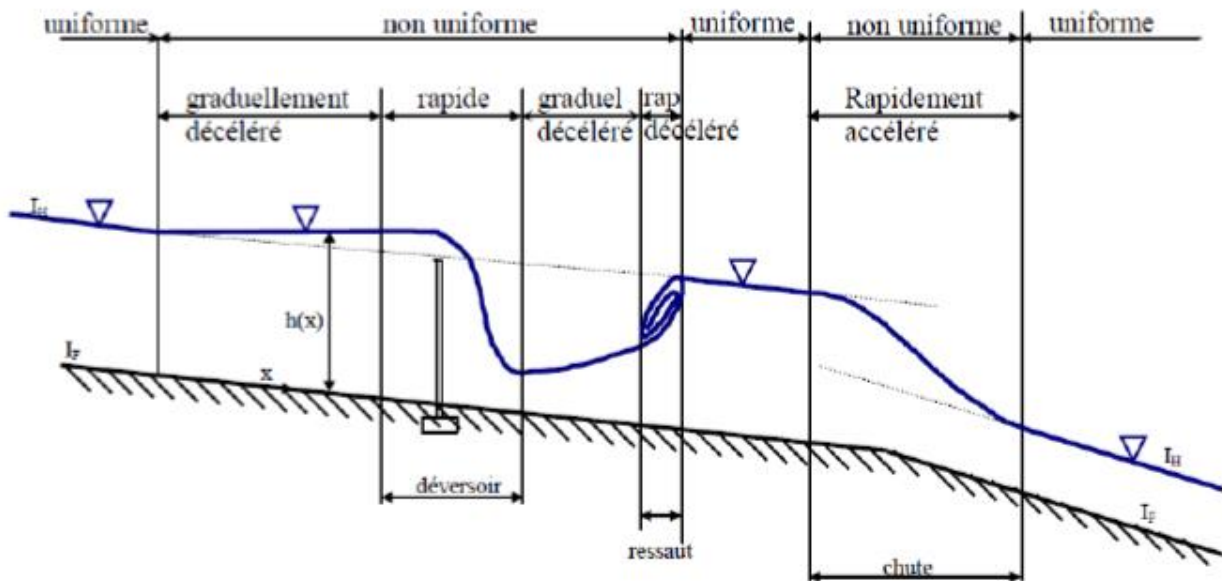


Figure IV.4 : Schéma représentant les différents régimes d'écoulement.

**IV.2 .1.4. Dimensionnement des canaux :**

Le dimensionnement de la variante choisie nécessite un débit de crue fonction de la période de retour. Nous avons opté pour un débit centennal, auquel on ajoute le débit solide ; cependant, ce débit négligeable comparant au débit de crue probable, on ajoutera donc une hauteur qui compense ce débit dans le dimensionnement du cana

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \dots \dots \dots (IV.4)$$

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

$$V = C\sqrt{R * I} \dots \dots \dots (IV.5)$$

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

$$Q = Ks * S * Rh^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (IV.6)$$

Avec :

- Rh : Rayon hydraulique (m).
- I : Pente de fond du canal .
- Ks : Coefficient de rugosité de STRICKLER.
- S : Section mouillée.

**Tableau (IV.1) :** Valeurs estimées pour le coefficient de Manning Strickler en fonction de la nature des Parois.

Nature des parois	n (Manning) ( S / m <sup>1/3</sup> )	K (Strickler) (m <sup>1/3</sup> / S )
Béton lisse	0.011 à 0.013	77 à 91
Béton brut	0.013 à 0.016	62 à 77
Canal en terre, non enherbé	0.017	60
Canal en terre, enherbé	0.02	50
Rivière de plaine, sans végétation arbustive	0.025 à 0.029	35 à 40
Rivière de plaine, large, végétation peu dense	0.033	30
Rivière à berges étroites très végétalisées	0.067 à 0.1	10 à 15
Lit majeur en prairie	0.033 à 0.05	20 à 30
Lit majeur en vigne ou taillis	0.067 à 0.1	10 à 15
Lit majeur urbanisé	0.067 à 0.1	10 à 15
Lit majeur en forêt	>0.1	<10

### **IV.3. Modélisation:**

#### **IV.3.1. Choix du type de modèle hydraulique :**

Le choix du logiciel qui permet de cartographier l'aléa inondation est une étape importante. La comparaison entre les modèles 1D et 2D a été faite par des chercheurs sur la capacité de simuler l'étendue de l'inondation d'une crue donnée à l'aide de trois modèles : un modèle 1D représenté par le HEC-RAS de l'US Army Corps Engineers et deux modèles 2D représentés par Telemac 2D développé par Electricité de France et Lisflood-Fp. Les résultats de comparaison montrent la capacité de modèle HEC-RAS (1D) comparable au modèle Telemac (2D) en matière de représentation de l'étendue de l'inondation.

Pour cela, on a choisi le modèle (1D) HEC-RAS qu'il a une version disponible gratuite et plus simples à manipuler. Ainsi les données nécessaires pour cette modélisation hydraulique sont les débits issus de l'étude hydrologique, la géométrie du cours d'eau dans sa traversé de la ville ainsi que la pente longitudinale et la rugosité de lit et des berges dans les différents points de calcul.

#### **IV.3.2. Présentation du logiciel HEC RAS : [9]**

Le logiciel HEC-RAS est un logiciel libre de droit de simulation de l'hydraulique dans les rivières et canaux. Il a été conçu par le Hydrologic Engineering Center du U.S Army Corps of Engineers (le corps des ingénieurs de l'armée américaine). Il permet d'évaluer les débits et hauteurs d'eau sur l'ensemble des sections d'une rivière. Il utilise des équations d'hydraulique à surface libre (Saint-Venant 1D, Manning-Strickler...) et des modèles pour les seuils, le frottement etc. Il est présentement utilisé dans plusieurs firmes d'ingénierie et organismes gouvernementaux.

Dans sa version actuelle, ce logiciel permet d'effectuer des calculs d'écoulements filaires à surface libre en régime permanent. Les calculs de lignes d'eau permettent tant l'analyse de la capacité de cours d'eaux (risques de débordement, inondations) que l'étude de l'impact de modifications des conditions de bords (ponts, endiguements) pour en quantifier l'impact sur le bassin versant.

Ce logiciel s'est déjà montré très performant pour ce type d'étude. Il permet de visualiser les profils en travers et de modéliser des phénomènes naturels comme par exemple des crues ou une montée des eaux sans débordement. Ce logiciel utilise des données en ASCII ce qui autorise un traitement de données simplifié.

**IV.3.2.1. Les équations utilisées par le logiciel : [9]**

HEC-RAS est capable de résoudre une simplification unidimensionnelle des équations d'écoulement (Pour cela le logiciel utilise une méthode par éléments finis basés sur le " box scheme "). La ligne d'eau est calculée d'une section à une autre en résolvant l'équation de l'énergie par une méthode itérative (standard step method). Elle est obtenue à partir de l'équation de quantité de mouvement, et représente la conservation de la charge hydraulique. L'équation résolue est la suivante :

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e \dots \dots \dots (IV.7)$$

Avec :

Y : hauteur d'eau

Z : côte du fond

V : vitesse d'écoulement moyenne sur une section

g : Accélération de la pesanteur

$\alpha$  : coefficient de pondération

$h_e$ : perte de charge. Le coefficient de perte de charge sera calculé à l'aide de la formule suivante :

$$h_e = L \bar{S}_f + C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right| \dots \dots \dots (IV.8)$$

Avec :

L : la distance entre les deux profils ;

$S_f$ : la pente de la ligne d'énergie (pente de frottement) ;

C : le coefficient d'expansion ou de concentration.

De manière générale, nous devons résoudre 2 équations :

- L'équation de conservation de la masse :



$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_i = 0 \dots \dots \dots (IV.9)$$

Avec :

A : est la section du canal

S : est la section inondée

Q : est le débit

Q<sub>i</sub> : les apports latéraux

- L'équation de conservation de la quantité de mouvement s'écrit :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(VQ)}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial Z}{\partial x} + Sf\right) = 0 \dots \dots \dots (IV.10)$$

Avec :

Q : le débit

V : la vitesse moyen.

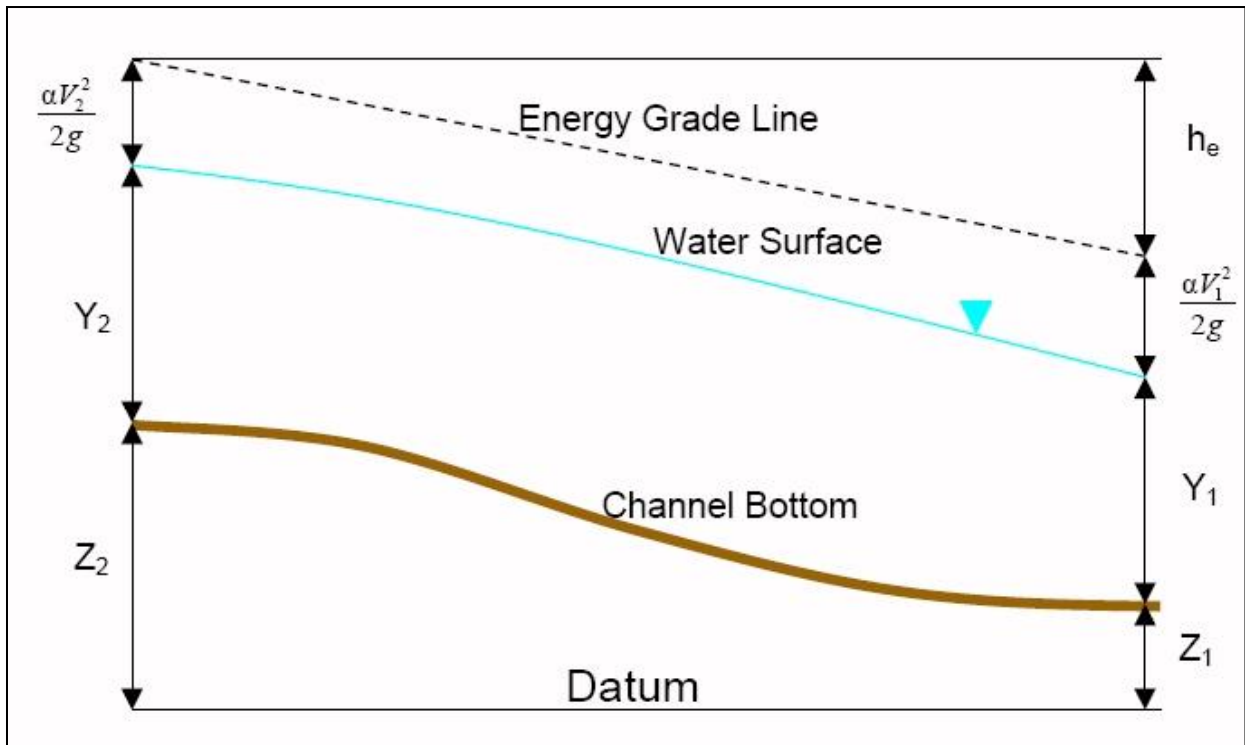
Sf : la pente de la ligne d'énergie (pente de frottement).

$\frac{\partial Z}{\partial x}$  : la pente de la hauteur d'eau.

A : la section.

Pour résoudre ces équation , le logiciel utilise la théorie des différences finies qui est à la fois pratique et simple pour ce cas 1D, il utilise un schéma implicite qui permet d'utiliser un pas de temps beaucoup plus important que dans le cas du schéma explicite .

On voit donc que le débit sur chaque section est calculé à partir de la hauteur d'eau puisque le rayon hydraulique, la section mouillée ainsi que les pertes de charge dépendent de la hauteur d'eau. On peut visualiser cette conservation de la charge à l'aide de la figure suivante :



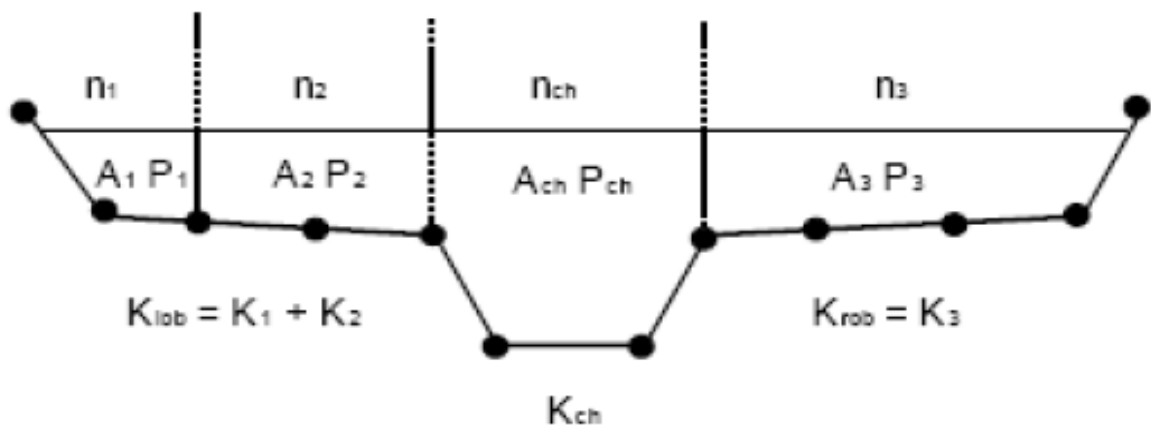
**Figure IV.5 :** représentation énergétique des Ecoulements à surface libre

Pour obtenir des résultats satisfaisants il est nécessaire d'évaluer correctement les pertes de charge, et donc le frottement.

Pour cela HEC-RAS découpe chaque section en plusieurs domaine verticaux et évalue le frottement sur chacun de ces domaines.

En effet le frottement depend la vitesse et on se doute bien que la vitesse n'est pas la même sur les bords, dans le lit majeur ou dans le lit mineur.

Le découpage se fait comme sur l'image qui suit :



**Figure IV.6 :** Découpage de la section pour le calcul du frottement

**IV.3.2.2. Banque de données nécessaires à l'application du modèle HEC-RAS :**

L'application du modèle HEC-RAS nécessite une banque de données concernant le site étudié :

Les données géométriques relatives à chaque section :

- La section en travers, définie par une série de couples distance-altitude
- La distance à la section suivante (Rives et axe canal).
- Les coefficients de contraction et d'expansion
- Les coefficients de rugosité

Les données de l'écoulement et les conditions aux limites.

**IV.4. Application du modèle HEC-RAS :****IV.4.1. A l'état Naturel :**

L'application du modèle HEC-RAS est basée sur la subdivision du réseau ramifié ou maillé en plusieurs sections perpendiculaires à l'écoulement.

L'application du modèle HEC-RAS a été faite sur un tronçon réel décrit par un levé topographique de l'Oued SAF-SAF. Les sections géométriques introduites dans le modèle HEC-RAS sont extrait du logiciel Autodesk Civil 3d.

**IV.4.1.1. Modélisation de la géométrie :**

La réalisation de la géométrie des cours d'eau consiste à implanter des profils en travers représentatifs sur lesquels on calcule la hauteur d'eau et d'autres caractéristiques de l'écoulement. Le maillage du cours d'eau est réalisé à l'aide de logiciel AUTO-CAD CIVIL 3D, Le tronçon du cours d'eau est illustré dans la figure suivante :

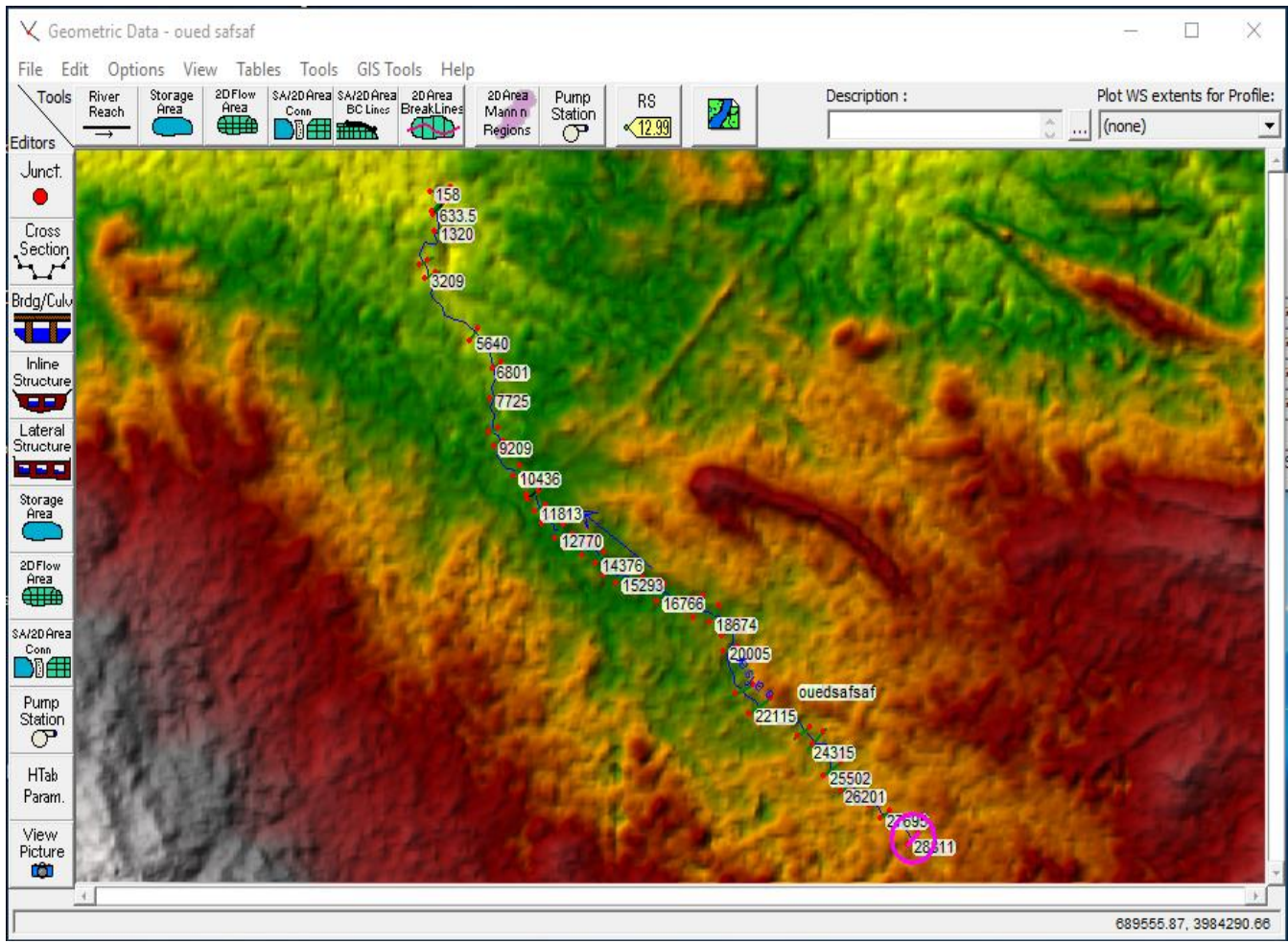


Figure IV.7: Modèle géométrique du cours d'eau.

**IV.4.1.2. Le choix des valeurs de rugosité de Manning :**

Les valeurs de la rugosité ou le coefficient de Manning n sont indiquées pour la rive gauche, le canal principal, et la rive droite, ont été donnée selon la nature du canal et le matériau qui constitue les berges du cours d'eau.

**Tableau (IV.2) :** Les valeurs de la rugosité du cours d'eau

Berge droite	Lit mineur	Berge gauche
Rivière de plaine, large, végétation peu dense	Rivière de plaine, large	Rivière de plaine, large, végétation peu dense
0.03	0.017	0.03

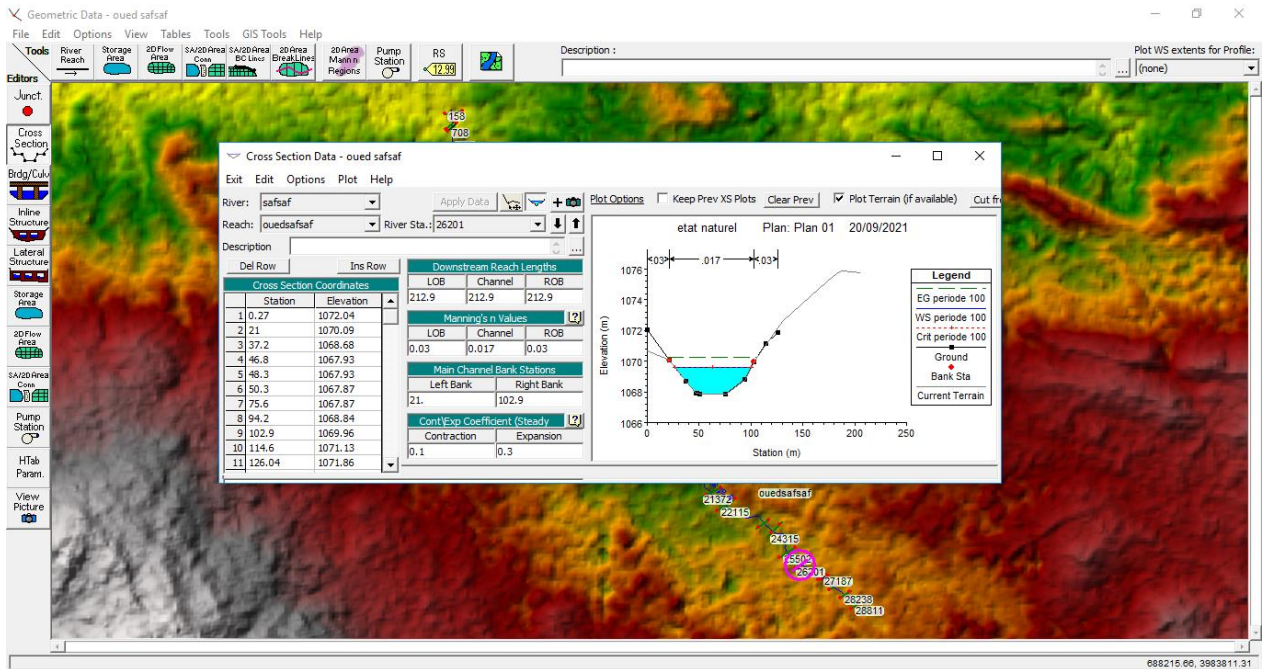


Figure IV.8 : Illustration d'un profil en travers.

#### IV.4.1.3. Modélisation de l'écoulement :

Nous mettons Hypothèse d'introduire les débits et la pente en amont et aval pour tous les tronçons

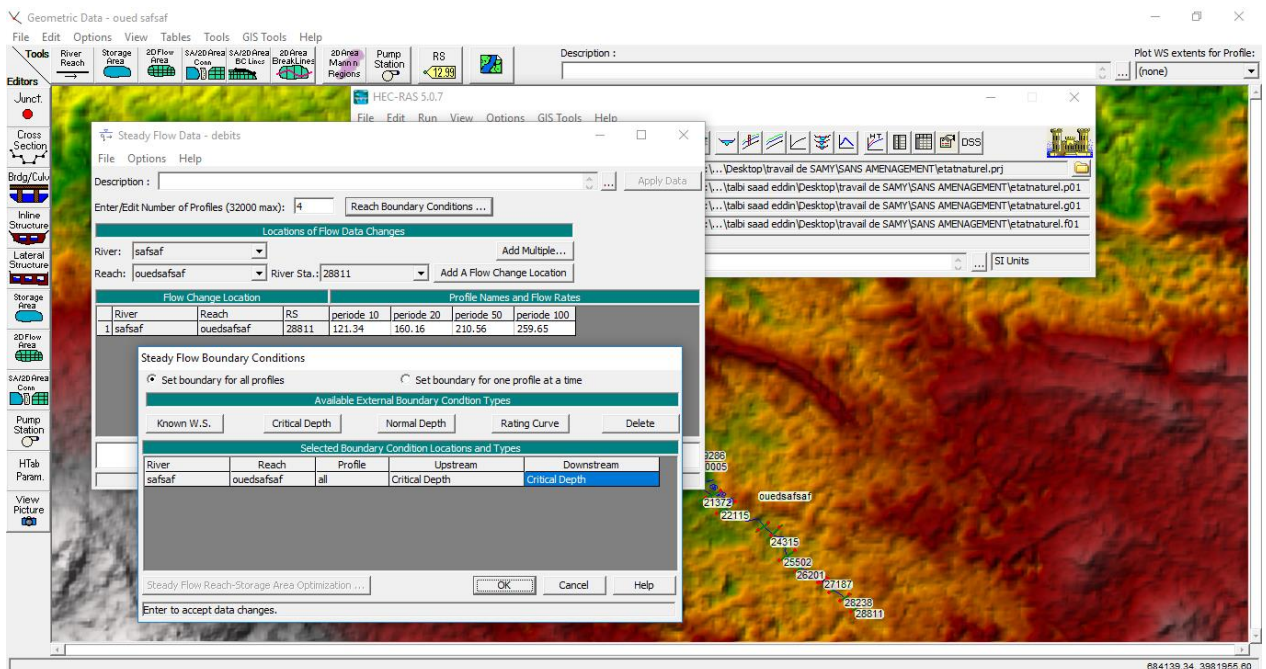


Figure IN.9 : Présentation des conditions aux limites.

#### IV.4.1.4 Simulation hydraulique :

Après avoir défini la géométrie, les données hydrométriques nécessaires à la simulation et après avoir enregistré les fichiers correspondants, on choisit le type de régime supposé turbulent pour notre cas et on peut passer à la simulation hydraulique.

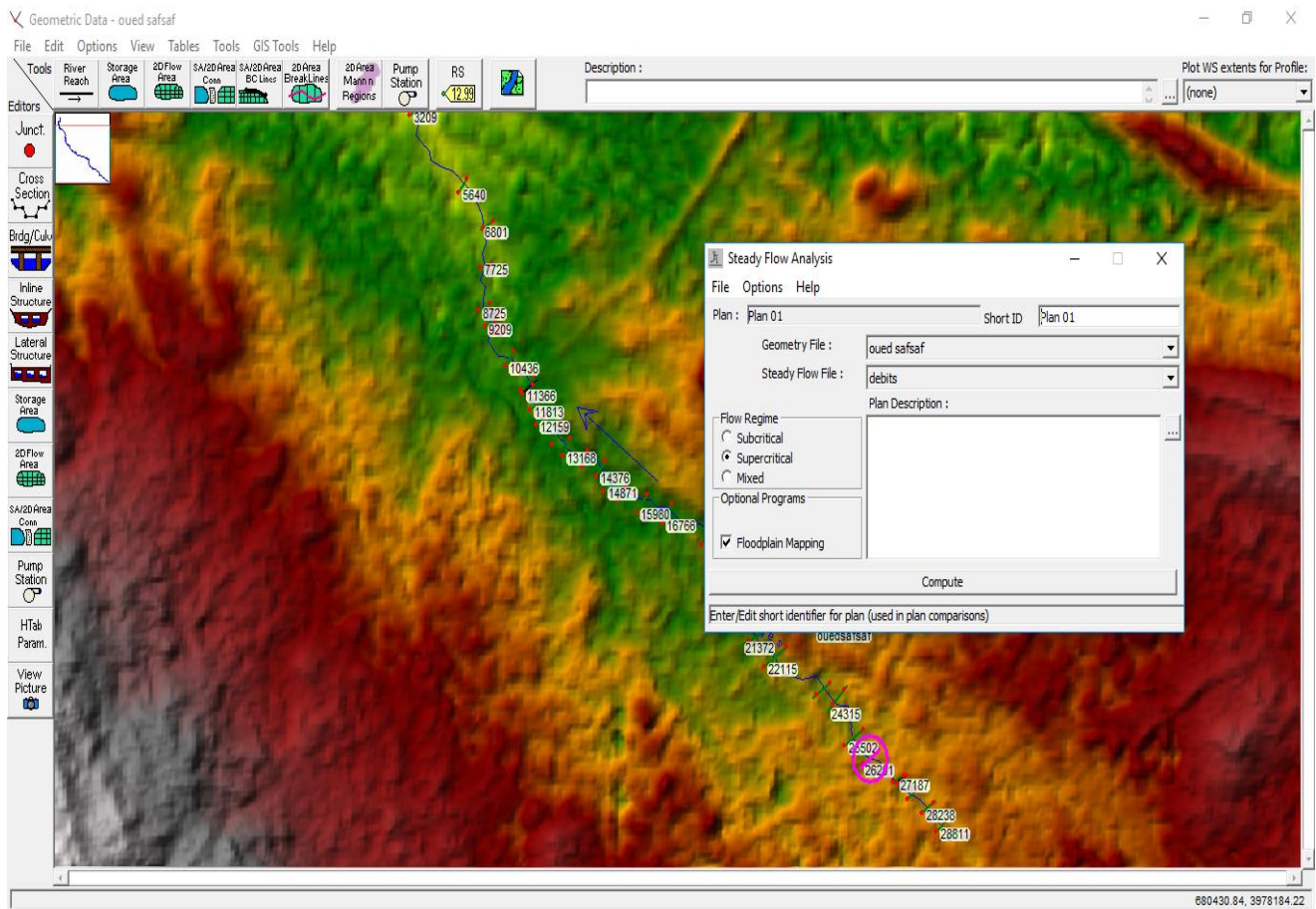


Figure IV.10: Fenêtres de simulation pour le régime permanent.

#### IV.4.1.5. Résultats de la simulation :

Une fois que le modèle fini tous les calculs avec succès, on peut commencer à visualiser les résultats. Plusieurs options de visualisation des résultats de calcul sont disponibles et on peut visualiser et imprimer plusieurs types de résultats tabulés (Tableaux synoptiques) et graphiques qui sont présentés dans les figures suivantes :

-Simulation des crues pour différentes périodes de retour à l'état naturel :

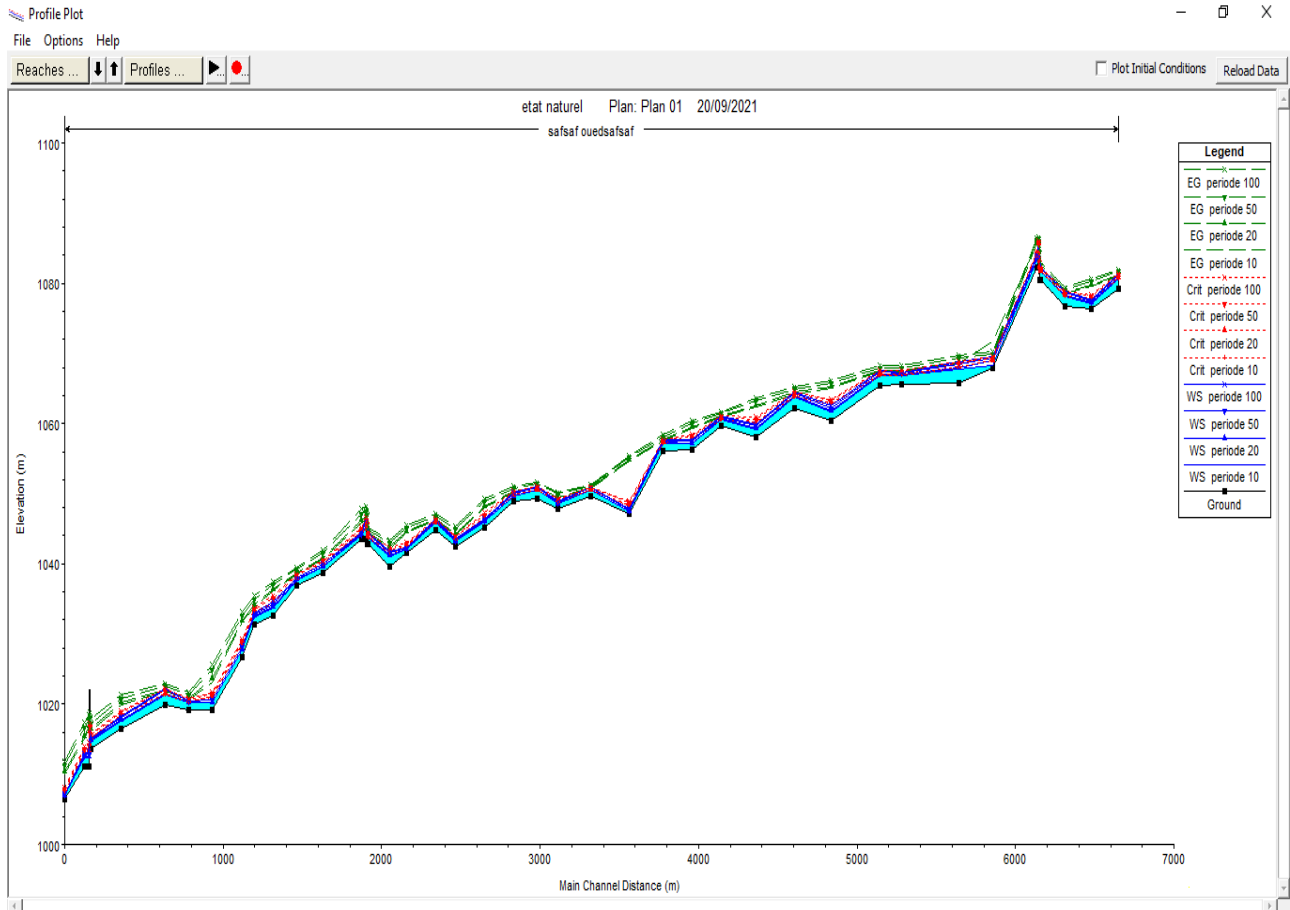


Figure IV.11: Profil en long du cours d'eau à l'état naturel.

**Tableau IV.3** : Résultats de la simulation pour une période de retour de 100 ans.

River sta	Q	min ch	w.s elev	crit w.s	E.G elev	E.G stlope	vel chnl	flow area	top width	H eau	froude
	m <sup>3</sup> /s	m	m	m	m	m/m	m/s	m <sup>2</sup>	m	m	/
28811	259.65	1079.21	1081.14	1081.14	1081.68	0.002779	3.26	79.69	73.87	2.38	1.00
27154.5	259.65	1080.39	1082.10	1082.10	1082.64	0.002811	3.26	79.55	74.21	2.66	1.01
27122	259.65	1082.31	1083.67	1084.29	1086.12	0.022173	6.94	37.43	52.96	1.36	2.64
26201	259.65	1067.87	1069.40	1069.40	1069.96	0.002734	3.32	78.24	69.67	1.53	1.00
19286	259.65	1059.66	1060.98	1060.98	1061.47	0.002915	3.10	83.86	87.04	1.49	1.01
15980	259.65	1049.62	1050.83	1050.83	1051.17	0.003108	2.59	101.38	160.60	1.19	0.99
14871	259.65	1049.62	1050.83	1050.83	1051.17	0.003108	2.59	101.38	160.60	1.12	0.99
11299	259.65	1049.36	1050.87	1050.87	1051.36	0.002919	3.10	83.68	86.67	1.46	1.01
10436	259.65	1038.71	1039.89	1040.40	1041.55	0.013428	5.71	45.48	59.25	1.18	2.08
9209	259.65	1036.85	1037.94	1038.32	1039.20	0.013336	4.98	52.12	82.95	1.09	2.01
7725	259.65	1031.35	1032.83	1033.47	1035.03	0.017312	6.57	39.53	50.47	1.48	2.37
3209	259.65	1019.18	1020.38	1020.67	1021.29	0.010110	4.23	61.31	101.15	1.20	1.74
2733	259.65	1019.86	1021.97	1021.97	1022..62	0.002632	3.58	72.61	56.09	2.05	1.00
633.5	259.65	1013.02	1013.02	1015.65	1017.30	0.020283	6.96	38.82	54.34	1.37	2.53
158	259.65	1006.40	1007.17	1007.84	1011.32	0.077651	9.02	28.78	70.49	0.77	4.51

**River sta** : Station**Q (m<sup>3</sup>/s)** : Débit**Min ch (m)** : Cote minimale de la section



**W.S Elev (m)** : Cote de niveau d'eau

**Crit w.s (m)** : Cote de niveau d'eau pour un écoulement critique

**E.G Elev (m)** : Cote d'énergie

**E.G Slope (m/m)** : Pente de la ligne d'énergie

**Vel Chnl (m/s)** : Vitesse de la zone centrale de la section

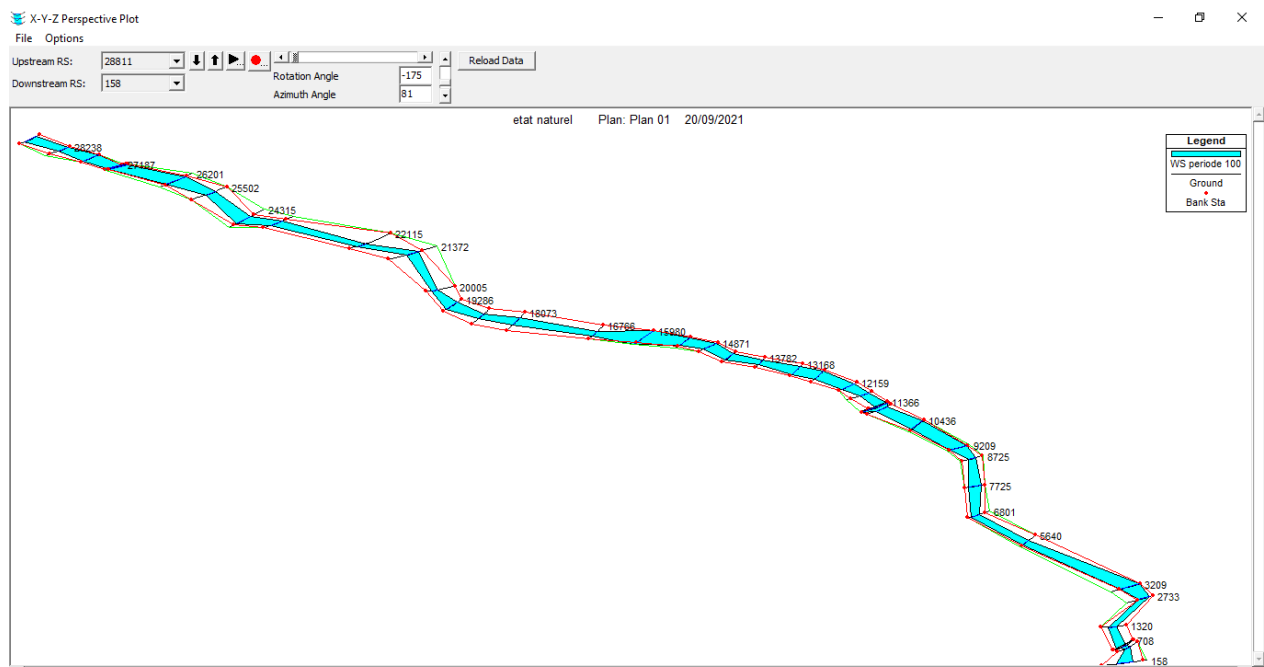
**Flow Area (m<sup>2</sup>)** : Surface hydraulique de la section (surface mouillée)

**Top Width (m)** : Largeur hydraulique de la section (largeur au miroir)

**Froude** : Nombre de Froude

### Remarque :

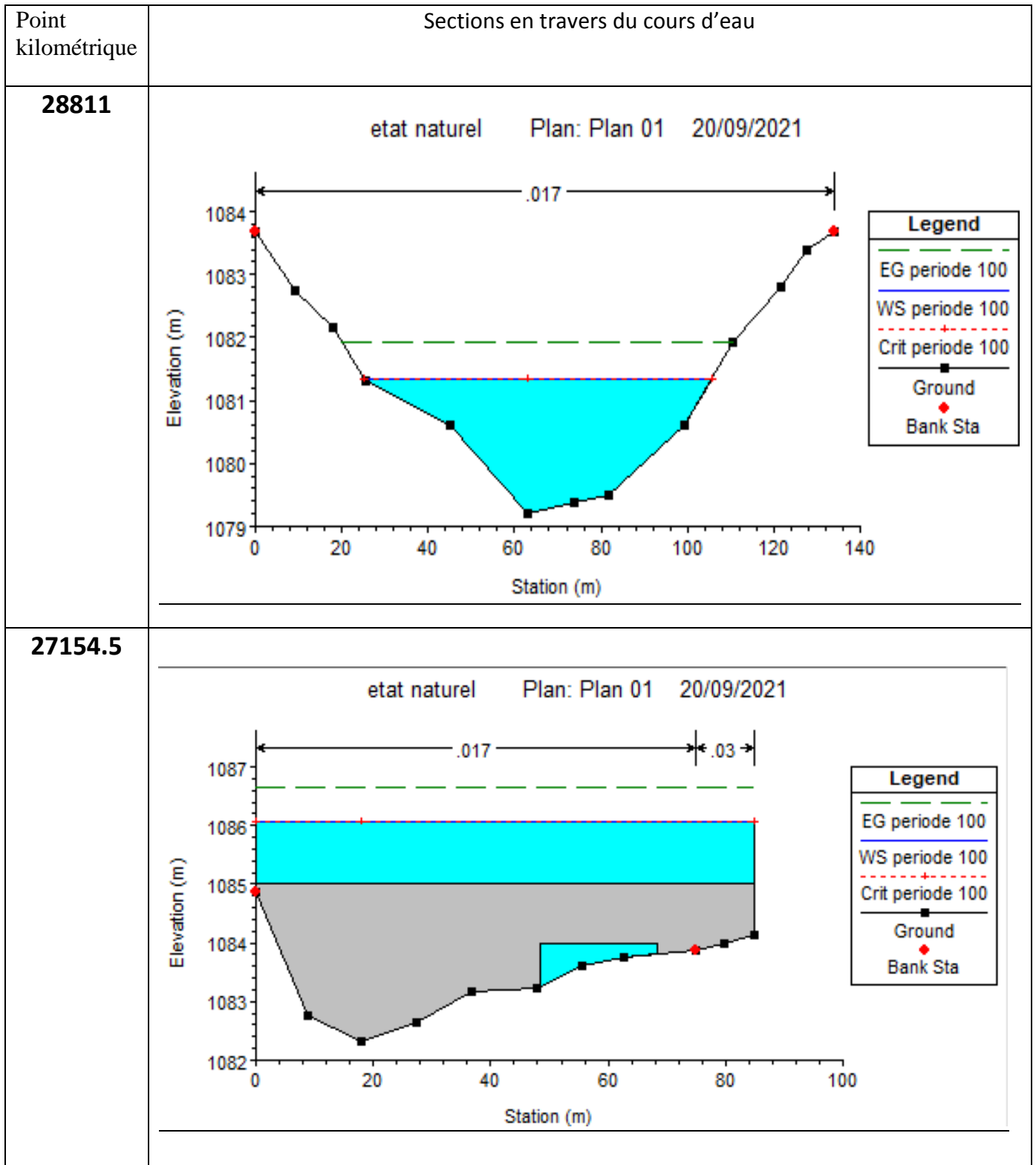
Pour la crue centennale, la vitesse d'écoulement moyenne est de 4.98m/s la pente est non uniforme, la surface mouillée moyenne pour les sections en travers est de 52.12m<sup>2</sup>. La visualisation en 3D du tronçon sur HEC RAS nous montre que l'eau déborde presque toute au long de sa longueur, les résultats sont illustrés dans la figure suivante :



**Figure IV.12** : Visualisation en 3D de l'oued SAF-SAF -tronçon (28811-158).

IV.4.1.6 Analyse :

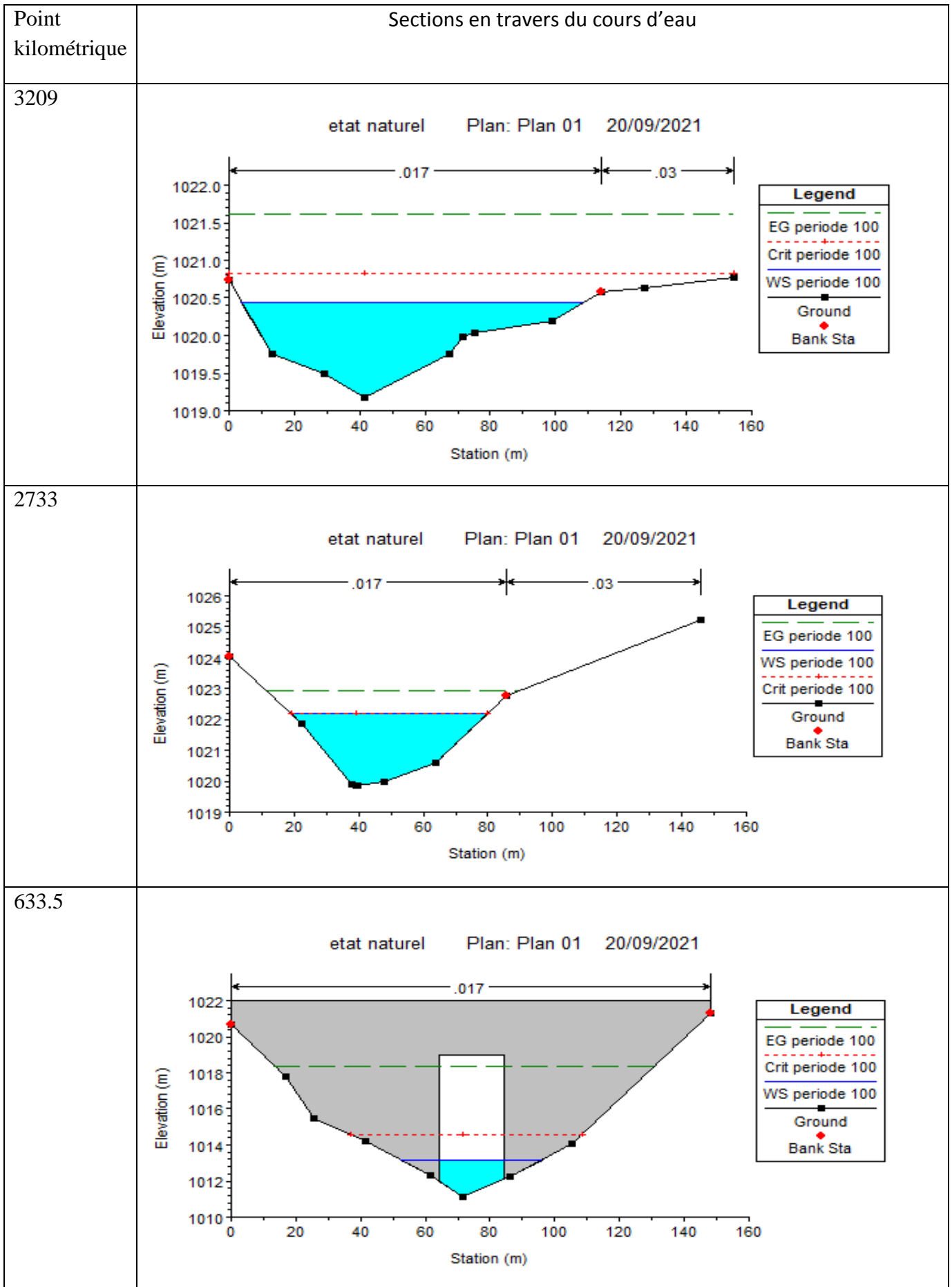
Pour la crue centennale de débit 259.65m<sup>3</sup>/s.

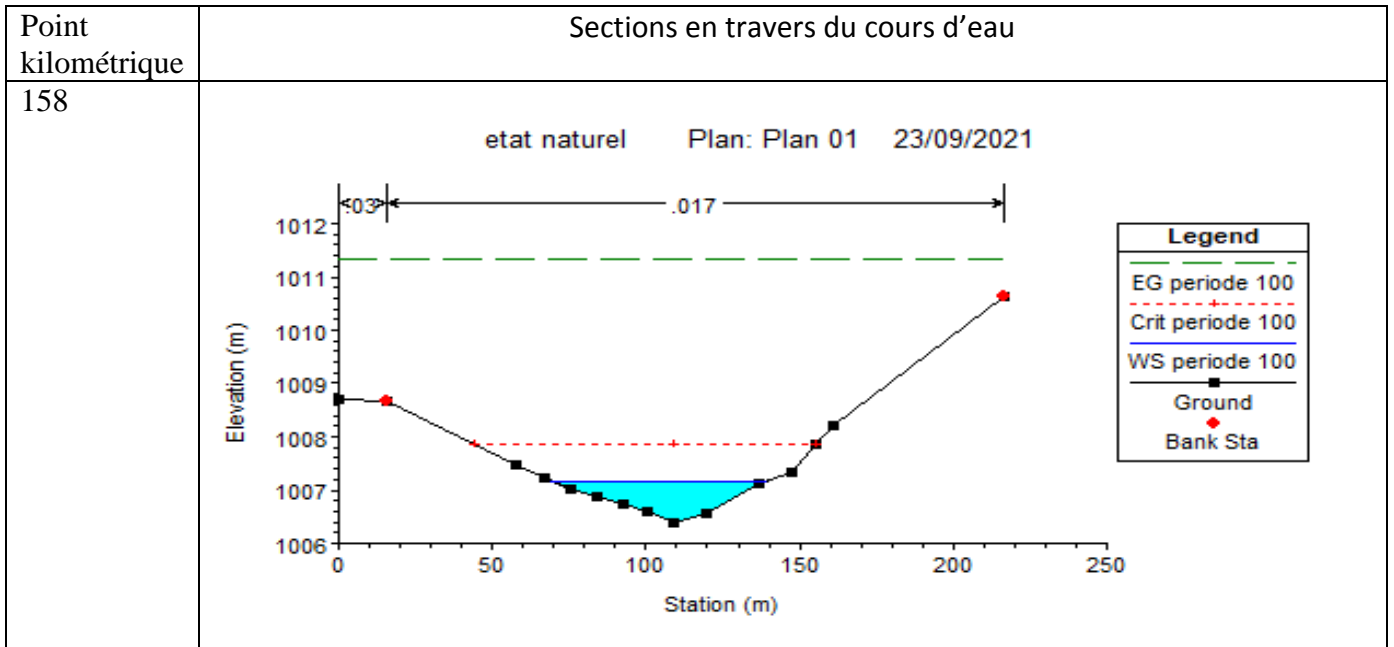


Point kilométrique	Sections en travers du cours d'eau
27122	<p style="text-align: center;">etat naturel    Plan: Plan 01    20/09/2021</p> <p style="text-align: center;">Elevation (m)</p> <p style="text-align: center;">Station (m)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> <p><b>Legend</b></p> <p>EG periode 100</p> <p>Crit periode 100</p> <p>WS periode 100</p> <p>Ground</p> <p>Bank Sta</p> </div>
26201	<p style="text-align: center;">etat naturel    Plan: Plan 01    20/09/2021</p> <p style="text-align: center;">Elevation (m)</p> <p style="text-align: center;">Station (m)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> <p><b>Legend</b></p> <p>EG periode 100</p> <p>WS periode 100</p> <p>Crit periode 100</p> <p>Ground</p> <p>Bank Sta</p> </div>
19286	<p style="text-align: center;">etat naturel    Plan: Plan 01    20/09/2021</p> <p style="text-align: center;">Elevation (m)</p> <p style="text-align: center;">Station (m)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> <p><b>Legend</b></p> <p>EG periode 100</p> <p>WS periode 100</p> <p>Crit periode 100</p> <p>Ground</p> <p>Bank Sta</p> </div>

Point kilométrique	Sections en travers du cours d'eau
15980	<p style="text-align: center;">etat naturel    Plan: Plan 01    20/09/2021</p> <p style="text-align: center;">Elevation (m)</p> <p style="text-align: center;">Station (m)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> <p style="text-align: center;"><b>Legend</b></p> <p>EG periode 100</p> <p>WS periode 100</p> <p>Crit periode 100</p> <p>Ground</p> <p>Bank Sta</p> </div>
14871	<p style="text-align: center;">etat naturel    Plan: Plan 01    20/09/2021</p> <p style="text-align: center;">Elevation (m)</p> <p style="text-align: center;">Station (m)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> <p style="text-align: center;"><b>Legend</b></p> <p>EG periode 100</p> <p>WS periode 100</p> <p>Crit periode 100</p> <p>Ground</p> <p>Bank Sta</p> </div>
11299	<p style="text-align: center;">etat naturel    Plan: Plan 01    20/09/2021</p> <p style="text-align: center;">Elevation (m)</p> <p style="text-align: center;">Station (m)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> <p style="text-align: center;"><b>Legend</b></p> <p>EG periode 100</p> <p>WS periode 100</p> <p>Crit periode 100</p> <p>Ground</p> <p>Bank Sta</p> </div>

Point kilométrique	Sections en travers du cours d'eau
10436	<p style="text-align: center;">etat naturel    Plan: Plan 01    20/09/2021</p> <p style="text-align: center;">Elevation (m)</p> <p style="text-align: center;">Station (m)</p>
9209	<p style="text-align: center;">etat naturel    Plan: Plan 01    20/09/2021</p> <p style="text-align: center;">Elevation (m)</p> <p style="text-align: center;">Station (m)</p>
7725	<p style="text-align: center;">etat naturel    Plan: Plan 01    20/09/2021</p> <p style="text-align: center;">Elevation (m)</p> <p style="text-align: center;">Station (m)</p>

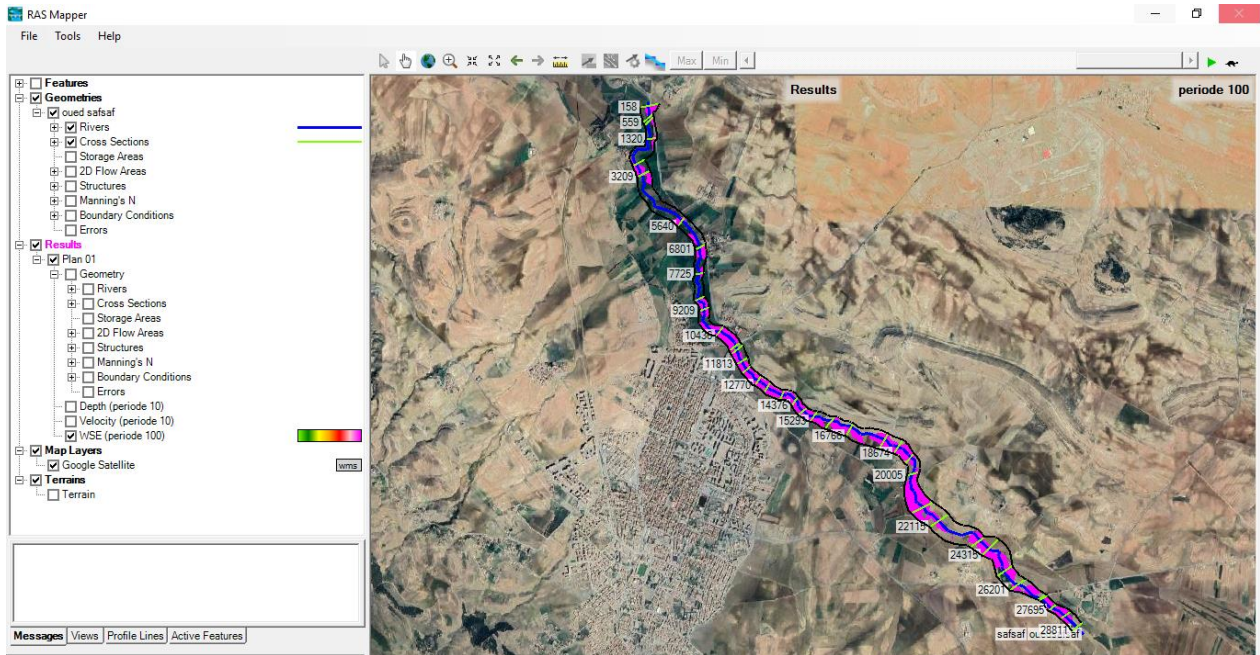




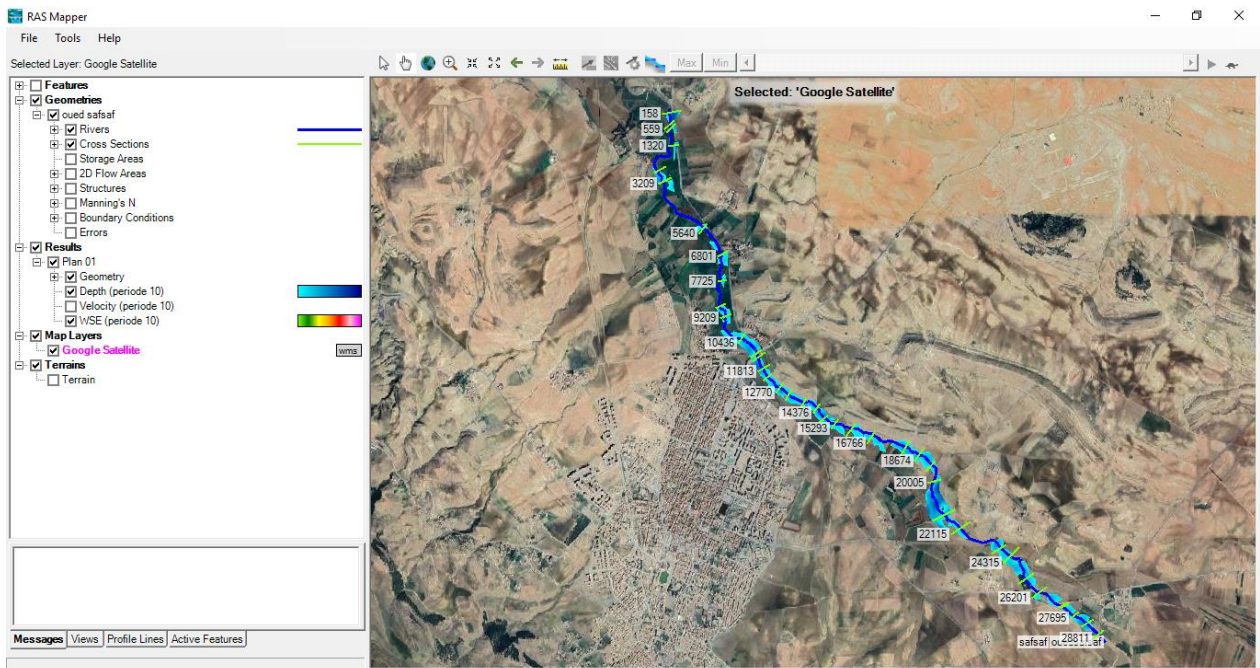
**IV.4.1.7. Délimitation des zones inondables :**

La délimitation des zones inondables le long du cours d'eau se fera avec l'outil RAS MAPPER du logiciel HEC RAS.

A l'aide de l'outil Web imagery sur RAS MAPPER on télécharge sur Web la carte Google satellite correspondante à notre zone d'étude pour voir les zones inondables au voisinage du cours d'eau. La surface en bleu sur la figure suivante représente la zone inondable



**Figure IV.13:** Visualisation des zones inondables sur RAS MAPPER (période 100 : crue centennale).



**Figure IV.14 :** Illustration des zones inondables sur une carte Google satellite avec RAS MAPPER (période 10 : crue dicentale).

D’après la figure précédente on remarque qu’il y a des débordements importants dans tous le long de notre cours d’eau



#### IV.5. Conclusion :

- Le profil en long de Oued **SAF-SAF** présente de nombreuses contre pentes ce qui peut renseigner sur un fort dépôt sédimentaire.
- La vitesse d'écoulement moyenne dans oued **SAF-SAF** est de 4.61 m/s. Toutefois, elle atteint par endroit 0.25 m/s ce qui indique un fort dépôt de sédiment et par d'autres endroits plus de 6m/s ce qui indique une forte érosion. Cette alternance favorise une forte dynamique sédimentaire.
- Le tirant d'eau moyen pour une période de retour  $T = 100$ ans est de plus de 2m, ce qui est assez conséquent. Surtout que par endroits il dépasse les 4 mètres.
- Cet état de fait limite les possibilités d'aménagement, En effet, sur les tronçons à forte vitesse il n'est pas possible d'envisager uniquement un recalibrage de la section d'écoulement, Ce doit être accompagné d'un revêtement de protection. Sur les tronçons à faible vitesse un recalibrage du cours d'eau est envisageable toutefois un fort élargissement des sections d'écoulement est primordiale.

**Chapitre V :**  
**Etudes Hydraulique**  
**Avec Aménagement**

## CHAPITRE IV ETUDE HYDRAULIQUE AVEC AMENAGEMENT :

### V.1. Introduction :

Après avoir la simulation de l'oued **SAF-SAF** à l'état initial (sans aménagement) dans le chapitre précédent , on doit prendre en considération les conditions topographiques des lits des oueds font que la section trapézoïdale ou rectangulaire est la plus adaptée pour l'aménagement choisi avec des pentes établies de manière à réduire le volume des travaux de terrassement et pour le dimensionnement de la variante choisie, en basant sur le calcul de la largeur de stabilité et le débit de dimensionnement de l'oued **SAF-SAF** en fonction d'une période de retour de **100 \*ans**, auquel il faut ajouter le débit correspondant aux apports solides. Toutefois ce débit est négligeable devant le débit de crue probable mais, on ajoute une hauteur qui correspond ou compense ce débit dans le dimensionnement du canal, Donc on choisit la forme trapézoïdale en plusieurs types : terre, béton armé et en gabion pour assurer une bonne sécurité contre les risques d'érosion et glissement des talus et pour garantir des hauteurs d'eau sans débordement.

### V.2. Proposition d'aménagement :

Afin de mettre un terme aux inondations à chaque événement de crue, nous proposons d'aménager Oued **SAF-SAF** par un canal trapézoïdal (à ciel ouvert) en béton armé tout le long du cours d'eau. Ce choix de forme du canal revient à la largeur importante de l'oued et aux avantages de stabilité et de fiabilité qu'assure ce type de canal.

### V.3. But de L'aménagement d'oued **SAF – SAF** :

L'aménagement d'un canal nommé **SAF-SAF** et ces affluents sont réalisés afin de :

- Lutter contre les inondations des agglomérations
- Protéger le lit et les berges du cours d'eau contre l'érosion, l'affouillement, et envasement des ouvrages de retenues.
- Fixer la rugosité des parois et la géométrie de cour d'eau pour mieux mettre en évidence les caractéristiques hydrodynamiques des écoulements.
- Mise en valeurs des terres agricoles, afin de mieux drainer les parcelles de terre.

### V.4. Dimensionnement des canaux :

Le dimensionnement de la variante choisie nécessite un débit de crue fonction de la période de retour. Nous avons opté pour un débit centennal, auquel on ajoute le débit solide ; cependant,

ce débit négligeable comparant au débit de crue probable, on ajoutera donc une hauteur qui compense ce débit dans le dimensionnement du canal.

#### V.4.1. Équation de Chézy:

Pour un écoulement turbulent et rugueux, la formule de calcul principal est la relation de Chézy, par contre elle n'est pas valable ni pour un écoulement laminaire ni pour un écoulement turbulent lisse .

$$V = C * \sqrt{R \times I} \dots \dots \dots (V.1)$$

Avec :

U (m/s) : la vitesse moyenne ;

Rh (m) : rayon hydraulique ;

I (m/m) : la pente du fond du canal. ;

C (m<sup>1/2</sup>/s) : coefficient de CHEZY.

### V.5. Calcul des paramètres géométriques :[10]

#### V.5.1. Paramètres géométrique d'un canal à section trapézoïdale :

Le profil de meilleure conductivité est le profil qui véhicule le débit maximum, pour un canal de pente J<sub>f</sub> et de coefficient de rugosité n, la section qui véhicule le débit maximum Q<sub>max</sub> est celle pour laquelle, le rayon hydraulique R<sub>h</sub> est maximal et la section S est minimale.

**Tableau (V.1) :** Les caractéristiques géométrique d'un canal à section trapézoïdale

Paramètres	Expressions
Largeur inférieure du canal, (b)	$2h(\sqrt{1 + m^2} - m)$
Largeur au miroir, (B)	$b + 2mh$
Surface mouillée, (S <sub>m</sub> )	$h(b + mh)$
Périmètre mouillé, (P <sub>m</sub> )	$b + 2h\sqrt{1 + m^2}$
Rayon hydraulique, (R <sub>h</sub> )	$\frac{\text{Périmètre mouillé}}{h}$ $R_h = \frac{h(b + mh)}{b + 2h\sqrt{1 + m^2}}$
Fruit du talus, (m)	$\frac{1}{\text{tg}\alpha}$

**V.5.2. Section de débit maximum :**

Prenons la formule de débit suivante :

$$Q = V_s = \frac{1}{n} S \cdot R h^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I} \dots \dots \dots (V.2)$$

Où l'on écrira pour  $(\sqrt{I}/n) = Cte$

$$Q = Cte (S^{5/3} P^{-2/3})$$

**V.5.3. Profondeur normale (h<sub>n</sub>) :**

Pour la détermination de h<sub>n</sub> on utilise la méthode itérative.

On tire la valeur de (b) à partir de l'équation générale de l'écoulement uniforme :

$$Q = C \cdot S \sqrt{R \times I}$$

$$\frac{Q}{\sqrt{I}} = CS\sqrt{R} \quad \text{ou} \quad \frac{Q}{\sqrt{I}} = K_S S R^{2/3} = K_S S (h_n) \cdot R \cdot (h_n)^{2/3} \dots \dots (V.3)$$

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

Par suite on trace la courbe Q = f (h), et on détermine la valeur de h (m) correspondante à Q<sub>n</sub> c'est à- dire on cherche h<sub>n</sub> (m) pour le débit Q<sub>max</sub>.

**V.5.4. Profondeur critique h<sub>c</sub>:**

Le calcul de h<sub>c</sub> se fait aussi par plusieurs méthodes :

- **Méthode graphique :**

La méthode graphique est basée sur le graphe de l'énergie en fonction de h.

Et puisque la valeur de h<sub>c</sub> est la valeur qui correspond à une énergie spécifique minimale.

Donc on construit le graphe : H<sub>s</sub> = f (h) sachant que H<sub>s</sub> = E<sub>p</sub> + E<sub>c</sub>, E<sub>p</sub> : Energie potentielle et est égale à h ; (E<sub>p</sub> = h) , E<sub>c</sub> : Energie cinétique et égale à ; (E<sub>c</sub> = V<sup>2</sup>/2g).

- **Méthode analytique d'AGROSKINE:**

La méthode d'AGROSKINE utilise la formule suivante :

$$\frac{\alpha \cdot Q^2 \cdot B c r}{g \cdot S c r} \dots \dots \dots (V.4)$$

Avec :

B : largeur du plan d'eau en surface

g : l'accélération gravitaire prise égale 9.81

- **Cas d'une section trapézoïdale :**

$$h_c = K \left[ 1 - \frac{S}{3} + 0.105 S^2 \right] \dots\dots\dots (V.5)$$

Avec :

$$k = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2}} \quad \text{et} \quad S = \frac{mk}{b}$$

#### V.5.5. La pente critique $I_c$ :

La pente critique correspondant à la profondeur critique.

La pente critique donné par la formule suivante :

$$Q = C \cdot S r \cdot \sqrt{R h} \times I_{cr} \dots\dots\dots (V.6)$$

Donc :

$$I_c = \frac{Q^2}{C^2 S r^2 R h}$$

#### V.5.6. Calcul de la ligne d'eau :

##### V.5.6.1. Equation de la surface libre de la ligne d'eau :

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

En se basant sur l'équation d'énergie :

$$H = Z + \frac{V^2}{2g} + h \dots\dots\dots (V.7)$$

Et sur l'équation de la continuité :

$$Q = V \cdot S$$

##### V.5.6.2. Calcul de la surface d'eau :

Pour procéder aux calculs et à la construction des formes de la surface d'eau, on doit passer par l'intégration de l'équation (). Et pour cela on désigne trois méthodes de calcul :

- Par approximations successives.
- Par intégration directe.
- Par intégration graphique.

## V.6. Calcul hydraulique du canal :

Le choix de la forme du canal a été porté sur la forme trapézoïdale revêtue en béton armé avec les caractéristiques suivantes :

### V.6.1. Le fruit de talus :

La valeur du fruit  $m$  a été choisie selon la nature du terrain et pour notre cas en prend  $m$  égale 0.75.

### V.6.2. La rugosité :

Pour un canal en béton, la rugosité  $n$  égale à 0.017.

### V.6.3. La largeur du canal :

On prend  $b = 15$  m, elle correspond à largeur moyenne.

## V.7. Calcul des paramètres de l'écoulement :

Le code HEC-RAS nous permet de déterminer les différents paramètres hydrauliques tels que la hauteur normale, la vitesse d'écoulement, le type du régime et la nouvelle capacité de l'oued après l'aménagement.

Les résultats de la simulation sont donnés dans le tableau et les figures suivants :

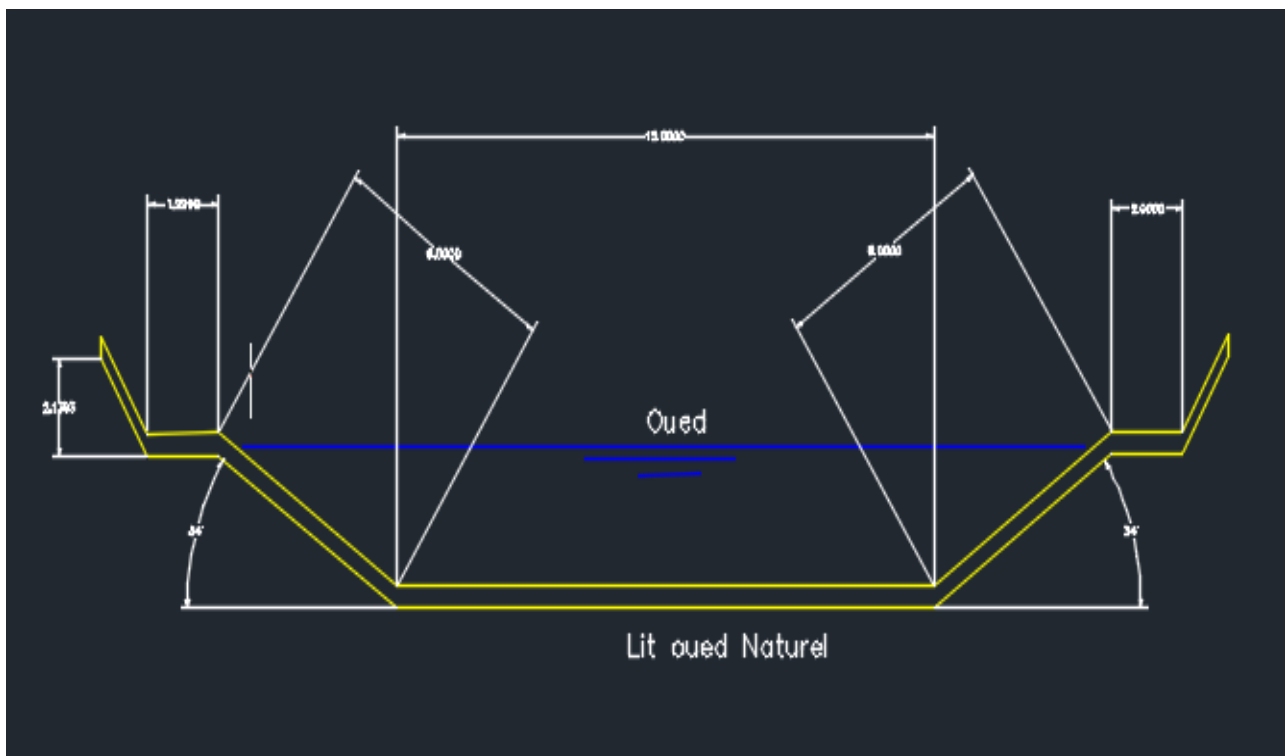


Figure V.1: Proposition du canal.

**Tableau (V.2) :** Les paramètres de l'écoulement du canal.

River sta	Q	min ch	w.s elev	crit w.s	E.G elev	E.G stlope	vel chnl	flow area	top width	Heau	froude
	m <sup>3</sup> /s	m	m	m	m	m/m	m/s	m <sup>2</sup>	m	m	/
50	259.65	1080.86	1083.68	1083.68	1084.85	0.002380	4.79	54.15	23.34	2.37	1.01
225 U	259.65	1012.75	1015.57	1015.57	1016.74	0.002380	4.79	54.19	23.39	2.37	1.00
225 D	259.65	1013.46	1015.22	1016.29	1018.82	0.012440	8.41	30.88	20.22	2.37	1.37
1000	259.65	1074.39	1077.22	1077.22	1078.39	0.002382	4.80	54.14	23.34	2.37	1.01
2000	259.65	1068.86	1071.68	1071.68	1072.85	0.002380	4.79	54.15	23.34	2.37	1.01
3000	259.65	1062.55	1065.38	1065.38	1066.55	0.002364	4.78	54.28	23.36	2.37	1.01
3475 D	259.65	1058.87	1061.69	1061.69	1062.86	0.002368	4.78	54.28	23.41	2.37	1.00
3475 U	259.65	1059.23	1060.99	1062.06	1064.59	0.012439	8.41	30.88	20.22	2.37	1.01
5000	259.65	1047.81	1050.63	1050.63	1051.81	0.002380	4.79	54.15	23.34	2.37	1.01
6000	259.65	1040.44	1043.26	1043.26	1044.43	0.002380	4.80	54.15	23.34	2.37	1.01
7000	259.65	1028.52	1031.35	1031.35	1032.52	0.002378	4.79	54.16	23.34	2.37	1.01
8000	259.65	1014.18	1017.01	1017.01	1018.18	0.002379	4.79	54.16	23.34	2.37	1.01
8075 U	259.65	1079.63	1082.45	1082.45	1083.62	0.002378	4.79	54.18	23.36	2.37	1.00
8075 U	259.65	1079.93	1081.69	1082.76	1085.29	0.012439	8.41	30.88	20.22	2.37	1.34
8700	259.65	1004.14	1006.97	1006.97	1008.14	0.002381	4.80	54.15	23.34	2.37	1.01



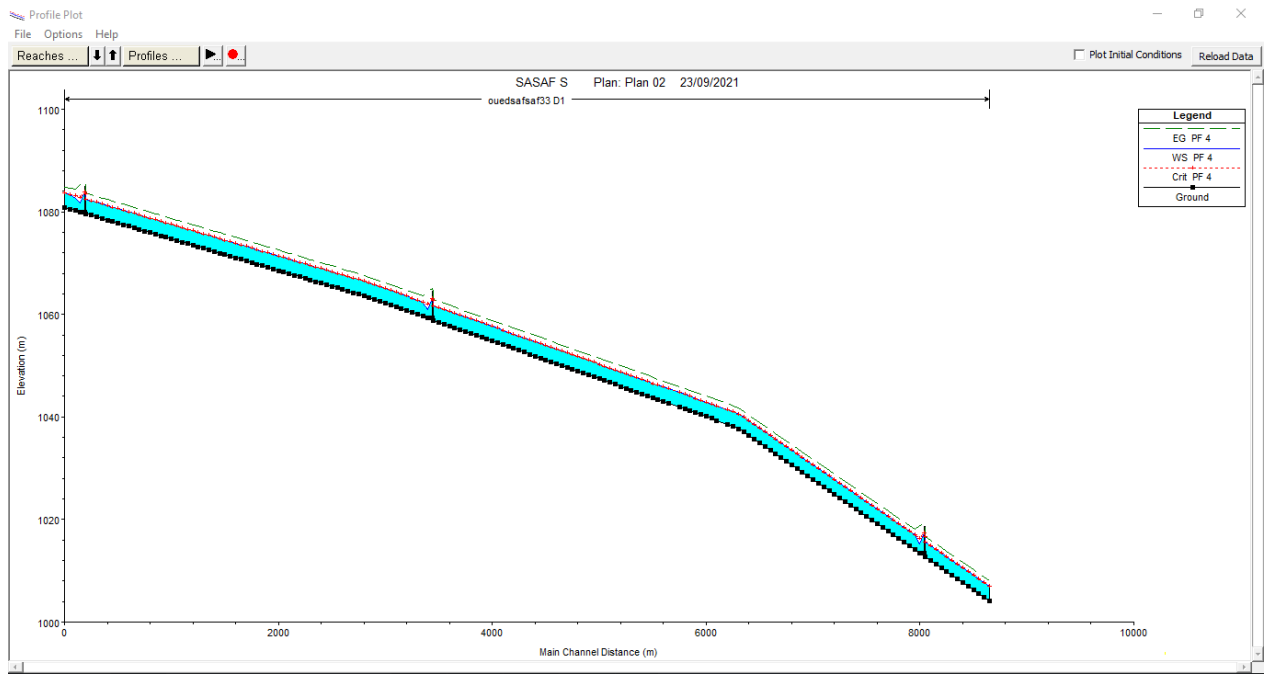


Figure V.2: Profil en long du canal.

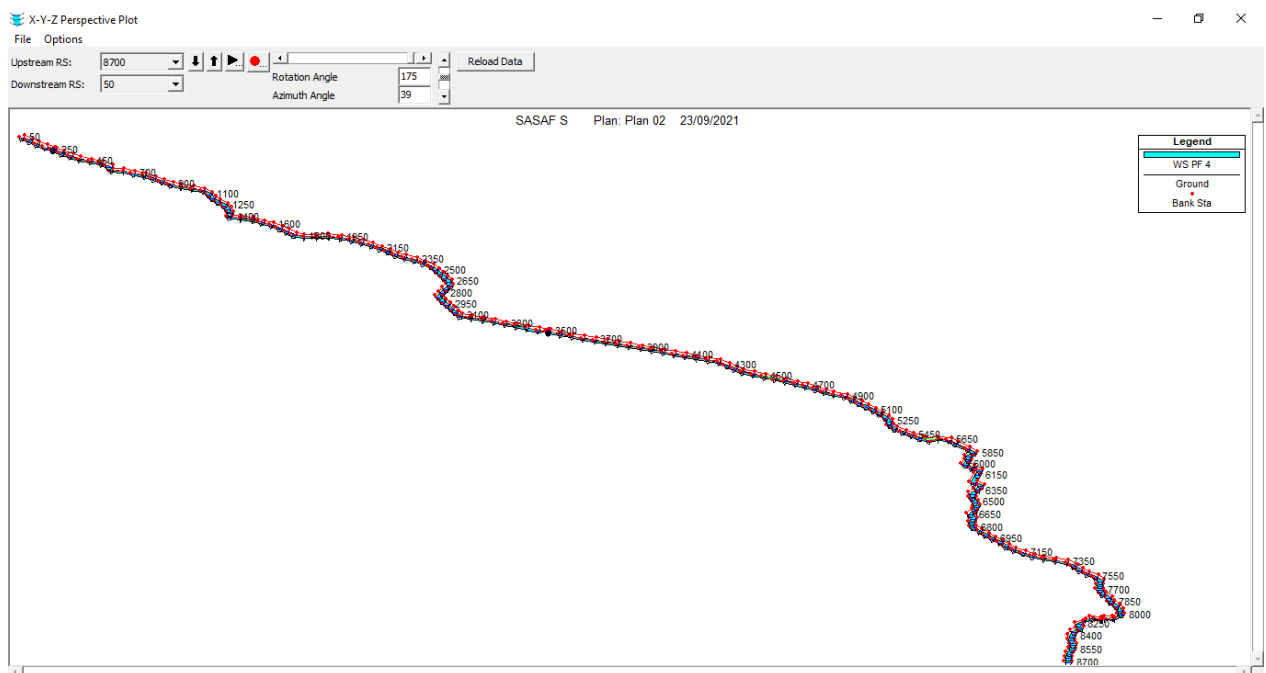


Figure V.3: Visualisation en 3D de l'oued SAF-SAF tronçon (50-8700).

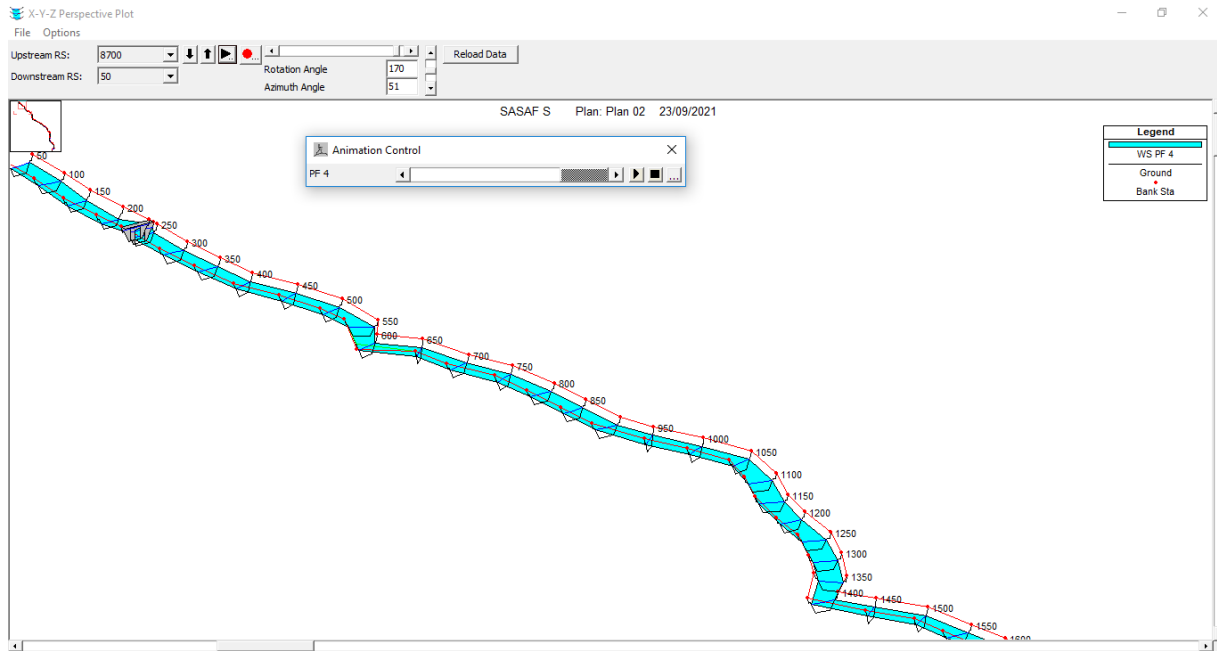


Figure V.4: Visualisation en 3D de l'oued SAF-SAF tronçon (50-1600).

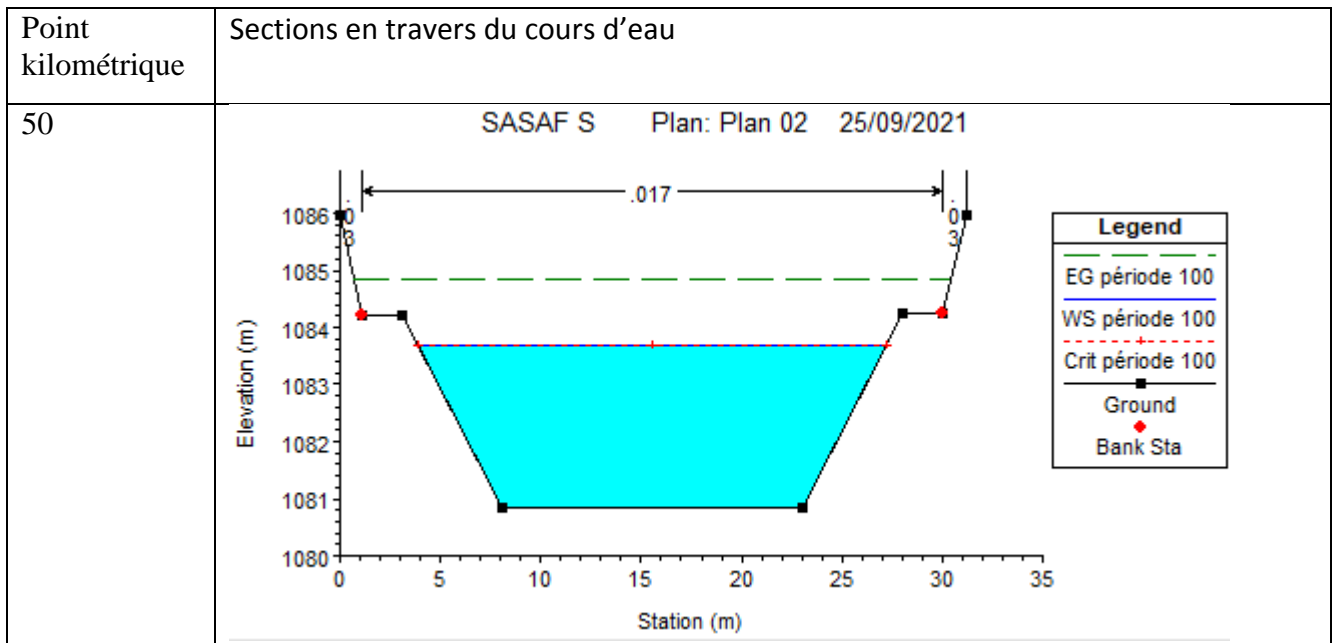
Point kilométrique	Sections en travers du cours d'eau
8700	<p style="text-align: center;">SASAF S    Plan: Plan 02    25/09/2021</p>
8075_U	<p style="text-align: center;">SASAF S    Plan: Plan 02    25/09/2021</p>

Point kilométrique	Sections en travers du cours d'eau
8075_C	<p style="text-align: center;">SASAF S    Plan: Plan 02    25/09/2021</p>
8000	<p style="text-align: center;">SASAF S    Plan: Plan 02    25/09/2021</p>
7000	<p style="text-align: center;">SASAF S    Plan: Plan 02    25/09/2021</p>

Point kilométrique	Sections en travers du cours d'eau
6000	<p style="text-align: center;">SASAF S Plan: Plan 02 25/09/2021</p>
5000	<p style="text-align: center;">SASAF S Plan: Plan 02 25/09/2021</p>
3475_U	<p style="text-align: center;">SASAF S Plan: Plan 02 25/09/2021</p>

Point kilométrique	Sections en travers du cours d'eau
3475_D	<p style="text-align: center;">SASAF S    Plan: Plan 02    25/09/2021</p>
3000	<p style="text-align: center;">SASAF S    Plan: Plan 02    25/09/2021</p>
2000	<p style="text-align: center;">SASAF S    Plan: Plan 02    25/09/2021</p>

Point kilométrique	Sections en travers du cours d'eau
1000	<p style="text-align: center;">SASAF S Plan: Plan 02 25/09/2021</p>
225_D	<p style="text-align: center;">SASAF S Plan: Plan 02 25/09/2021</p>
225_U	<p style="text-align: center;">SASAF S Plan: Plan 02 25/09/2021</p>



### V.8. Conclusion :

La topographie d'oued SAF- SAF impose un écoulement fluvial. Il n'est possible pas de créer un écoulement torrentiel qu'en projetant des sections en béton, ce qui est économiquement non faisable.

Les vitesses d'écoulement acceptable et dans les normes pour un revêtement mixte Béton-armé. Elles varient entre 4.79et 8.41 m/s, pour le débit centennal, l'étude hydraulique avec aménagement on obtient l'absence de débordement le long de cour d'eau, par contre dans l'étude hydraulique sans aménagement.

# Conclusion Générale



## Conclusion générale

Notre travail avait pour objet de proposer une méthodologie de conception hydraulique dans le cadre de dimensionnement des ouvrages de protection contre les inondations par l'utilisation d'un outil numérique (HEC-RAS). Les estimations hydrologiques de la présente étude ont été réalisées à travers des méthodes tenant en compte les caractéristiques physico morpho métriques, géologiques des sous bassins versants, des conditions d'humidité du sol et les pluies locales observées à la station implantée dans le bassin de l'oued SAF\_SAF(Ras el Oued).

Ainsi que l'utilisation du modèle HEC-RAS, qui un modèle unidimensionnel qui se base sur l'utilisation des équations de continuité et la conservation de la masse en tenant compte de la géométrie du lit et la qualité du sol a permis d'avoir les niveaux de la ligne d'eau à plusieurs points du lit de l'oued pour chaque débit qui ont été utilisés dans le dimensionnement de l'ouvrage d'aménagement.

Les inondations lors de la survenance d'une crue de l'oued SAF\_SAF seront catastrophiques pour cette région, d'après la simulation numérique effectuée à l'aide du logiciel HEC-RAS a montré une génération des inondations qui s'étend sur une surface importante suite à une crue pour différente période de retour, ce dernier peut être dû à l'interaction de plusieurs facteurs qui sont une topographie défavorable des terrains caractérisée par des pentes très faibles dans la plaine à laquelle vient s'ajouter la faible perméabilité des sols quand ils sont saturés rendant très difficile le drainage des eaux de surface, ce qui conduit inévitablement à l'inondation des zones riveraine de l'oued SAF-SAF.

A cela s'ajoutent aussi les facteurs liés à l'homme qui sont des facteurs d'aggravation du risque, on cite l'imperméabilisation des terrains qui est due à la densité du tissu urbain et à l'encombrement du lit de l'oued SAF\_SAF par l'habitat précaire et par différents rejets. Pour réduire les risques d'inondation, il faut réduire les risques d'érosion et de charriage des sédiments, par une protection des berges en les récupérant et en les valorisant. une amélioration des conditions d'écoulement dans le tronçon situé à l'amont pourrait également conduire à une diminution des problèmes d'accumulation d'eaux stagnantes. enfin, de nombreuses mesures ont été prises dans le but de lutter contre les inondations comme la délimitation des zones inondables et nous avons proposé l'aménagement de l'Oued SAF\_SAF par un canal trapézoïdal en béton armé, et pour assurer le bon fonctionnement de l'ouvrage portant l'aménagement de ce cours d'eau, nous avons fait une autre simulation afin de démêler le comportement de la crue. c'est pourquoi les cours d'eau doivent être aménagés et entretenus afin de maintenir leurs différentes fonctionnalités liées aux usages et restaurer leur bon état écologique. Le bon sens peut éviter bien des dégâts.

## BIBLIOGRAPHIE

[1] **Berlin éditeur**, LES MAIRES FACE AUX PLANS DE PRÉVENTION DU RISQUE INONDATION (PPRI) Belin | « L'Espace géographique » 2011/1 Tome 40 | pages 31 à 46 ISSN 0046-2497 ISBN 9782701159522.

[2] **Kebiche Mustapha. Le bassin versant du Hodna** (Algérie): Ressources en eau et possibilités d'aménagement. In: Travaux de l'Institut Géographique de Reims, n°85-86, 1994. Etudes algériennes. pp. 25-34;

[3] **Lise Potvin et Michel Leclerc** INRS-Eau université du Québec C.P7500 Saint-Foy Québec .Canada GIV 4C7

[4] **Sohirsohir les lois dajustement.** <https://fr.scibd.com/presentation/413032773/les-lois-dajutement-pptx>

[5] **Gharbi, Mohamed.** Etudes des crues et du transport sédimentaire associé - Application au bassin versant de la Medjerda. *PhD, Hydrologie, Hydrochimie, Sols et Environnement, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2016*

[6] **WALTER H.GRAF** en collaboration avec M.S.ALTIKAR, volume 16, Hydraulique fluviale.

[7] **Cours Eau**, Environnement et Développement Durable, Faculté des Science de la Nature et de la Vie , Université Hassiba Benbouali de Chlef.

[8] **Dr Habibi Brahim**, cours écoulement fluvial , Université Hassiba Benbouali de Chlef Faculté des Science de la Nature et de la Vie , Département Eau, Environnement et Développement Durable.

[9] **INP-ENSEET** , cours et travaux écoule publique , département envirement de l'eau , prodjnum,22/03/2016

[10] **BAHLOUS, S.** Hydraulique cours et exercices, *Centre de publication universitaire tunis,2002.*

## ملخص

ان الاخطار الناتجة عن الفيضانات والاوودية في العالم و في الجزائر على وجه الخصوص أدت الى تهيتها و حماية المناطق المهددة من الفيضانات و لكن هذه التهيئة تتم بطريقة لا يحترم فيها الانسجام مع البيئة الطبيعية للوديان والمناطق المجاورة لها انصبت دراستنا هذه حول المعايير البيئية التي يتم تحديدها للحماية من الفيضانات من جهة واحترام المظهر الطبيعي من جهة أخرى وتضمنت أيضا دراستنا مثلا لتهيئة وادي الصفصاف المتواجد بمدينة رأس الوادي ولاية برج بو عريريج.

## RESUME

Les risques résultants des inondations dans le monde et en Algérie, en particulier, aboutissent à aménager et protéger les zones menacées d'inondation, mais ces aménagements tels qu'ils sont effectués d'une manière qui ne respecte pas l'harmonie avec l'environnement naturel des cours d'eaux et les zones environnantes.

L'objet de notre étude se sujette sur les critères environnementaux qui sont identifiés dans les différents types d'aménagements pour la protection contre les inondations d'une part et le respect de l'aspect naturel d'autre part.

Notre étude comprend également un exemple sur l'aménagement de l'oued SAF-SAF, qui se situe dans la ville RAS ELOUED willaya de BORDJ BOU ARIRIDJ afin de protéger la zone contre les inondations et créer un beau paysage pour la ville.

## ABSTRACT

The resulting risk of flooding in the world generally and in Algeria particularly, leads to develop and protect flood-prone areas, but the layout is done in a way that does not respect the harmony with the natural environment of rivers and surrounding areas.

The aim of our study focuses on the environmental criteria that are identified in the various types of development to protect against flooding on the one hand and respect of the natural look on the other hand.

Our study also includes an example of the development of channel SAF-SAF, which is located in the city of RAS ELOUED (BORDJ BOU ARIRIDJ) to protect the area against floods and create a beautiful landscape for the city.

