



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : ASSAINISSEMENT

THEME :

**L'aménagement des oueds qui traversent la
Partie nord de Boufarik (Wilaya Blida)**

Présenté par :

TIDJET GHILAS

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
KAHLERRAS Djilali	M.C.B	Président
HABBOUCHE Abdelhamid	M.C.B	Examineur
KADI Latifa	M.A.A	Examineur
DERNOUNI Youcef	M.A.A	Examineur
SALAH Boualem	Professeur	Promoteur

Session septembre 2019

REMERCIEMENT

On tient à remercier DIEU de nous avoir donné la force et le courage pour terminer ce travail.

On tient également à exprimer nos sincères remerciements à mon promoteur Mr B.Salah de m'avoir encadré et orienté tout le long de ce mémoire.

DEDICACE

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

A mon promoteur : Mr B.Salah

ملخص

خطر الفيضانات ليس بمشكل جديد في الجزائر وفي جميع أنحاء العالم فهي تعتبر مسألة شائكة ، وإدارة هذه المخاطر أصبح أكثر من ضرورة و يجب إشراك جميع أصحاب المصلحة (صانعي القرار والفنيين والسكان) لتحديد القضايا التي يتعين حلها، والطرق البديلة المتاحة والممكنة لتخفيف الأضرار البشرية والمادية الناجمة عن هذه الظاهرة. في دراستنا هذه عالجتنا حالة ، وادي لكحل و واد شمل - بلدية بوفريك، ولاية بليدة من أجل حماية المجمعات السكنية المحاذية للوادي من الفيضانات .

قمنا بعرض واقع الحال و جمع البيانات اللازمة لدراسة الهيدرولوجية و البعد الهيدرولوجي

وفي الأخير خلصنا إلى اقتراح دراسة للتهيئة الأنسب للحد من أضرار التدفق المائي و حماية المجمعات السكنية المجاورة أثناء الفيضانات
كلمات البحث: الفيضانات ، الهيدرولوجيا ، الحد الأقصى للتدفق ، التهيئة.

Résumé :

Le risque des inondations n'est pas un nouveau problème soit en Algérie soit dans le monde entier, elles sont considérées comme un sujet d'actualité, et La gestion de ce risque devient de plus en plus une nécessité qui doit impliquer tous les acteurs concernés (décideurs, techniciens et population) afin d'identifier les enjeux à protéger, les moyens disponibles et alternatives possibles pour atténuer les dégâts humains et matériels provoqués par ce phénomène

Dans la présente étude nous avons traité le cas des oued el khel et chemela, commune de Boufarik, wilaya de Blida, dans le but de protéger les localités avoisinantes des inondations.

Nous avons établi l'état des lieux, et recueilli les données nécessaires à l'étude hydrologique et au dimensionnement hydraulique.

Au terme de cette étude, on a opté pour l'aménagement la plus adéquat pour l'évacuation du débit maximum et la protection de la localité lors des crues

Mots clés : Crue, Hydrologie, Débit maximum, Aménagement

Abstract:

The risk of flooding is not a new problem in Algeria and around the world. Managing this risk is becoming more of a necessity that must involve all stakeholders (decision makers, technicians and population) to identify the current issues and possible alternative ways to mitigate the human and material damage caused by this phenomenon.

In this study, we have treated case of "el khel and chemela", Boufarik (w) Blida, in the fake of protecting the neighbouring localities from the floods.

We have established the state of places and collected the necessary data to the hydrological study and hydraulic dimensionnement.

According to this study, the most adequate one opts for the development evacuation for maximum flow and protection of community during floods.

Keywords: Flood, Hydrology, maximum flow, development

Sommaire

Introduction générale.....	01
Chapitre I : Présentation de la zone d'étude	
I-1-Introduction.....	03
I-2- Présentation de la zone d'étude.....	03
I-2-1-Situation géographique.....	03
I-2-2- Situation topographique.....	04
I-2-3-Situation géologique	04
I-2-4-Situation hydrographique.....	04
I-2-5-Situation démographique.....	05
I-2-6-Situation climatique.....	06
I-2-7-Situation hydraulique	09
Chapitre II : étude hydrologique	
II-1-Introduction.....	10
II-2-Les caractéristiques morphologiques des bassins versants.....	10
II-2-1-La surface.....	10
II-2-2-Le périmètre	11
II-2-3-La longueur de cours d'eau principal	11
II-2-4-L'indice de compacité K_c	11
II-2-5-Le rectangle équivalent.....	12
II-2-6-Les courbes hypsométriques	12
II-2-7-Les altitudes caractéristiques.....	15
II-2-8-Indice de pente globale I_g	16
II-2-9-La pente moyenne du cours d'eau principale.....	16
II-2-10- Indice de pente	16
II-2-11-La dénivelée spécifique.....	17
II-3-Calcul du temps de concentration.....	16
II-5-Vitesse moyenne du ruissellement V_r	17
II-4-Les caractéristiques de la série.....	18

II-5-Vérification de l'homogénéité de la série.....	19
II-6-Ajustement de la série pluviométrique	20
II-7-Pluies de courte durée.....	25
II-8-Appports liquides.....	25
II-9-Caractéristiques de l'écoulement.....	26
II-10-Evaluation des appports solides.....	27
II-11-Le débit max a l'exutoire de chaque bassin.....	28
Conclusion	30

Chapitre III : Généralités sur la modélisation des écoulements

III-1-Introduction.....	32
III-2-les modèles hydrauliques	32
III-3) Présentation du logiciel hec-ras.....	33
III-3-1-Introduction.....	33
III-3-2-Théorie de base du calcul du modèle hec-ras.....	33
III-4-Application de hec-ras pour modéliser l'écoulement dans les oueds.....	38

Chapitre IV : calculs hydrauliques

IV-1-Introduction.....	39
IV-2-Calcul hydraulique.....	39
IV-2-1-Généralité.....	39
IV-2-2-Dimensionnement des canaux à ciel ouvert.....	41
IV-3-Les paramètres critiques et normaux des écoulement dans les canaux.....	45
IV-3-1-Les paramètres critiques.....	46
IV-3-2-Les paramètres normaux.....	46
IV-3-2-1-Cas du béton non armés.....	46
IV-3-2-2-Cas du gabion.....	46

IV-3-2-3-Cas des canaux aménager avec plusieurs matériaux (béton et gabion)	48
IV-4-Conclusion.....	52
Chapitre V : protection et sécurité du travail	
V-1-Introduction.....	53
V-2-Le système algérien de prévention des risques professionnels...	54
V-3-Prévention sur les chantiers de terrassement	56
V-3-1-Evaluation des risques.....	57
V-3-2-Protection collective.....	57
V-3-3-Protection individuelle.....	57
Conclusion générale.....	59

Liste des tableaux

CHAPITRE I : présentation de la zone d'étude

Tableau -I-1- Perspective de développement de la population aux différents Horizons.....	06
Tableau -I-2- température moyenne mensuelle, min et max (Boufarik).....	06
Tableau-I-3- vitesse mensuelle de vent (Boufarik)	07
Tableau-I-4- pluviométrie moyennes mensuelle à Boufarik.....	07
Tableau-I-5- Humidité moyennes mensuelles à Boufarik.....	08
Tableau-I-6- évaporation moyennes mensuelles à Boufarik.....	08

CHAPITRE II : Etude hydrologique

Tableau-II-1- Répartition altimétrique du bassin N 1.....	12
Tableau-II-2- Répartition altimétrique du bassin N 2.....	13
Tableau-II-3- Répartition altimétrique du bassin N 3.....	14
Tableau-II-4- Les altitudes caractéristiques.....	16
Tableau-II-5- les caractéristiques morphologiques des bassins.....	17
Tableau-II-6- Le temps de concentration qui nous avons choisi.....	18
Tableau-II-7- la vitesse moyenne de ruissellement.....	18
Tableau-II-8- la série pluviométrique.....	19
Tableau-II-9- la pluie moyenne pour différent fréquence (loi de Gumbel)	24
Tableau-II-10- la pluie moyenne pour différent fréquence (loi de log normale)	25
Tableau-II-11- les apports liquides.....	27
Tableau-II-12- les caractéristiques d'écoulement.....	28
Tableau-II-13- les apports solides.....	29
Tableau-II-14- les débits max de chaque bassin.....	30

CHAPITRE IV : calculs hydrauliques

Tableau- IV-1- les vitesses d'érosion limité selon la nature de la matière.....	43
Tableau - IV -2- les paramètres critiques du canal du bassin N 1.....	46
Tableau - IV -3- les paramètres critiques du canal du bassin N 2	46

Tableau - IV -4- les paramètres critiques du canal du bassin N 2	46
Tableau - IV -5- les paramètres normaux du canal du bassin N1 en béton	46
Tableau - IV -6- le coût du canal en béton de bassin N 1.....	47
Tableau -IV -7- les paramètres normaux du canal en béton du bassin N 2	48
Tableau -IV -8- le coût du canal en béton de bassin N 2	48
Tableau -IV -9- les paramètres normaux du canal en béton du bassin N 3.....	48
Tableau -IV -10- le coût du canal en béton de bassin N 3	48
Tableau -IV -11- les paramètres normaux du canal en gabion du bassin N 1.....	49
Tableau -IV -12- le coût du canal en gabion de bassin N 1.....	50
Tableau -IV -13- les paramètres normaux du canal en gabion du bassin N 2.....	50
Tableau-IV -14- le coût du canal en gabion de bassin N 2.....	50
Tableau -IV-15- les paramètres normaux du canal en gabion du bassin N 3.....	50
Tableau -IV -16- le coût du canal en gabion de bassin N 3.....	51
Tableau -IV -17- les paramètres normaux du canal mixte du bassin N 3.....	51
Tableau -IV -18- le coût du canal mixte de bassin N 3.....	51

Liste des figures

CHAPITRE I : présentation de la zone d'étude

Figure-I-1- la Situation géographique de la commune Boufarik	03
Figure I-2 - les reliefs de la commune Boufarik.....	04
Figure-I-3- le réseau hydrographique de la zone d'étude.....	05
Figure I-4 - graphe des températures.....	06
Figure-I-5- pluviométrie moyennes mensuelle à Boufarik.....	08

CHAPITRE II : Etude hydrologique

Figure-II-1 - la limitation et la surface des sous bassins.....	10
Figure-II-2 - la limitation et le périmètre des sous bassins.....	11
Figure II-3 - Courbe hypsométrique du bassin versant.....	13
Figure-II-4 - Courbe hypsométrique du bassin versant N 2.....	14
Figure-II-5 - Courbe hypsométrique du bassin versant N3.....	15

Figure-II- 6- Courbe d'ajustement selon la loi Gumbel.....24

Figure-II- 7- Courbe d'ajustement selon la loi log-normale.....25

CHAPITRE III : Généralités sur la modélisation des écoulements

Figure-III-1- schéma explicatif des différents pertes de charges dans l'oued.....32

Figure -III-2- les différentes lignes d'énergie d'écoulement34

Figure -III-3- section transversale d'un oued.....35

Figure -III-4- schéma type d'un profile en long d'un oued.....37

CHAPITRE IV : calculs hydrauliques

Figure IV-1 : schéma explicatif un canal à ciel ouvert.....40

Figure IV-2 : schéma explicatif un canal trapézoïdal en béton.....47

Figure IV-3 : schéma explicatif un canal en gabion.....48

CHAPITRE V : sécurité et protection de travaille

Figure -V-1- organisation du système national de prévention des risques.....55

LISTE DES PLANCHES

Planche n°1 : Plan de masse de la zone d'étude.

Planche n°2 : le plan du réseau actuel d'assainissement de la zone d'étude

Planche n°3 : Profils en long

Planche n°4 : Profils en travers

INTRODUCTION GENERALE

Entre les catastrophes naturelles les plus dangereuses et trop fréquentes ce sont les inondations causées par les précipitations. Ce genre de phénomène catastrophique menace non seulement le monde sous-développé mais aussi les villages du monde développé.

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

La partie nord de Boufarik est soumise à chaque événement pluvial à des inondations. a cause de débordement des deux oueds (el khel et chamela) en cas des précipitations de fort intensité L'agglomération se trouvant au pied de la montagne, l'écoulement superficiel venant dans le sens de cette dernière, provoque à chaque fois des dégâts au niveau des habitations.

Les travaux principaux à réaliser dans le cadre de cette étude consiste en premier lieu à la collecte des informations et données officielles émanant des différents établissements publics concernés (ANRH, ...) et autres sources non vérifiées provenant de personnes âgées natives de la région.

La connaissance détaillée de la zone concernée à travers les levées topographiques et les états des lieux, on passe aux seconds lieux aux dépouillements et l'analyse des données de base.

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 qui sont calculés par une étude hydrologique qui consistera particulièrement :

- Recueil et analyse de données d'observation.
- Traitement et analyse statistique des données.
- Détermination des différents paramètres relatifs aux bassins versant étudiés.
- Statistiques des pluies maximales journalières de différentes fréquences).

Sur la base des résultats obtenus (étude hydrologique) et après le choix de la variante optimale, le calcul hydraulique s'inspire de la règle des valeurs extrêmes (débit et vitesse), donc les ouvrages d'évacuation doivent satisfaire les conditions d'évacuation rapide et continue de toute la quantité des eaux, dont le but d'assurer une protection contre l'inondation.

Pour notre travail nous avons pris comme région d'étude la commune de boufarik qui date de la période coloniale et qui est toujours en voie d'extension.Elle est touchée par ce phénomène d'inondation de type torrentiel qui est dues à des fortes pluies ou des orages violents.

I-1- Introduction

Avant de faire une étude de projet d'une zone donnée, il faut faire une présentation de cette zone pour bien connaître les caractéristiques qui peuvent influencer tempo-spatialement sur le site.

Les grandes catégories de situation qui peuvent influencer sur la zone sont :

- La géologie
- La géographie
- Le climat
- La démographie
- La topographie
- Situation hydraulique
- Hydrographie

La représentation de la zone d'étude est donc une partie très importante, pour entamés les autres étapes d'étude de projet.

I-2- Présentation de la zone d'étude

I-2-1-Situation géographique

La ville de Boufarik est située au Nord-Est du chef-lieu de la wilaya de BLIDA d'une superficie estimée à 581 HA.

La commune de Boufarik est limitée par :

- Tessala el Merdja (W. ALGER) au Nord
- Soumaa et Guerrouaou au Sud
- Ouled Chebel (W. ALGER), Chebli, et Bouinan à l'Est
- Benkhellil et Beni Mered à l'Ouest

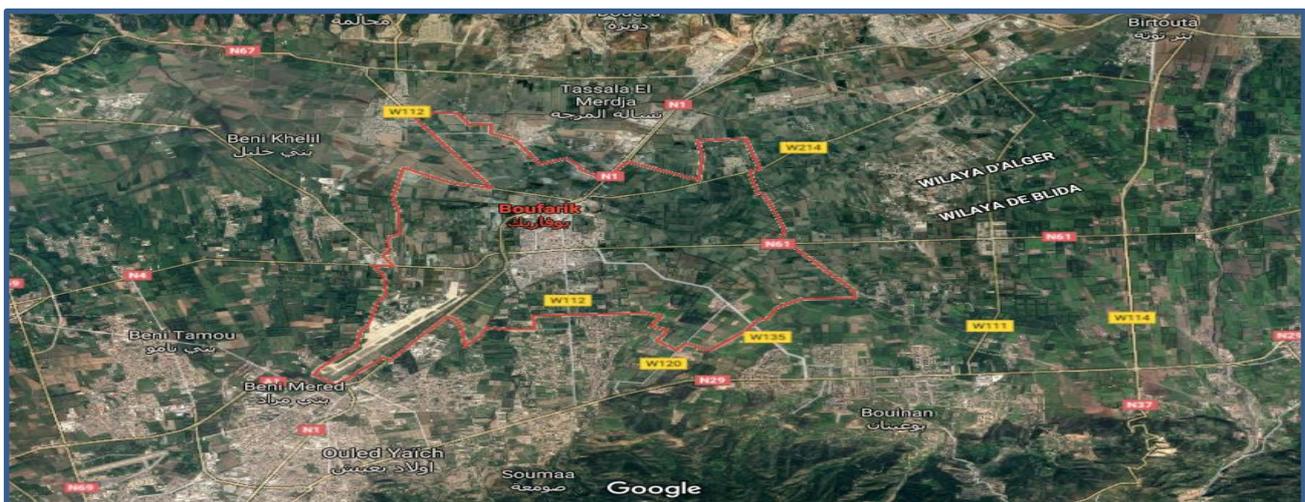


Figure I-1 : la Situation géographique de la commune Boufarik source : Google earth (2019)

I-2-2-Situation topographique

La commune de Boufarik est située sur la plaine Mitidja tel que l'altitude maximale est 1400m et l'altitude minimale égale à 30m avec une pente moyenne de 0.06693

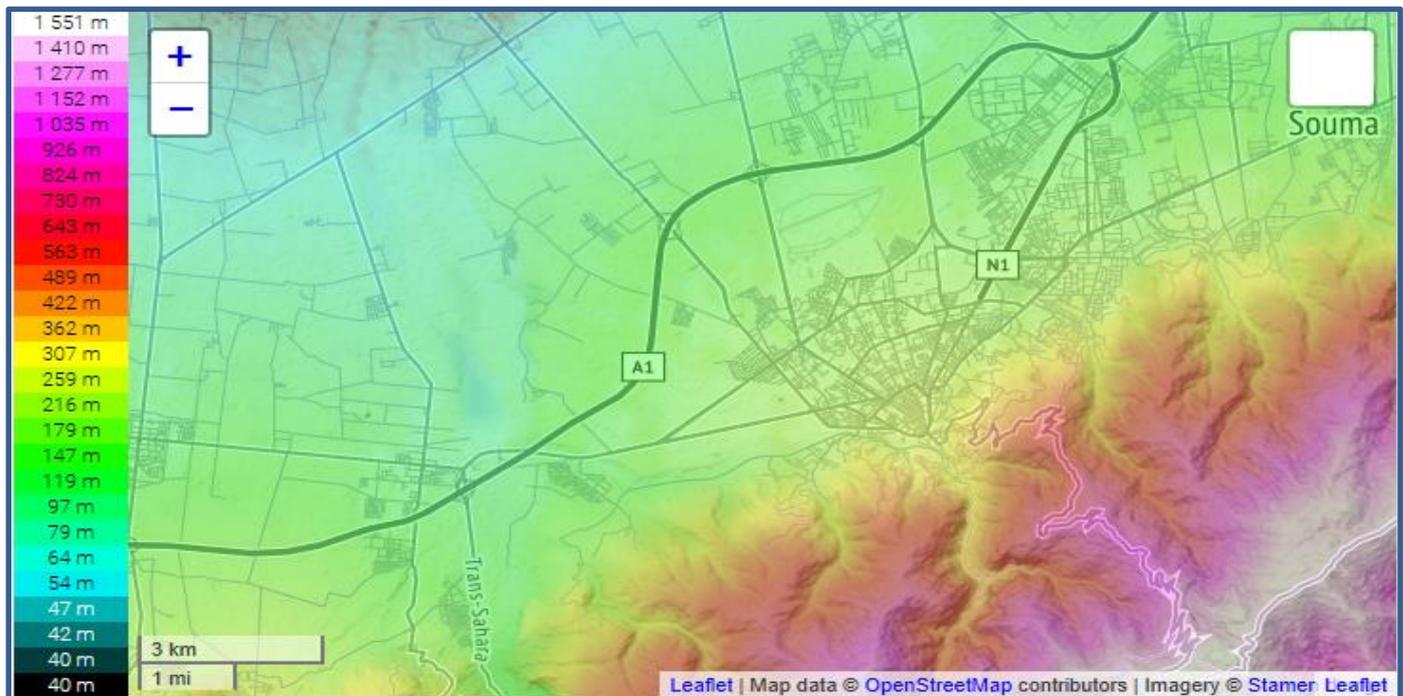


Figure I-2: les reliefs de la commune Boufarik

source : Google (2019)

I-2-3) Situation géologique

Cette zone d'étude fait partie de BOUFARIK, au même temps, Boufarik fait partie de la plaine de Mitidja qui est un grand bassin alluvionnaire composé de : sable limoneux, argiles et d'argile limoneux.

I-2-3) Situation géologique

Cette zone d'étude fait partie de BOUFARIK, en même temps Boufarik fait partie de la plaine de Mitidja qui est un grand bassin alluvionnaire composé des sables limoneux, des argiles et des argiles limoneux.

I-2-4- Situation hydrographique

On peut définir le réseau hydrographique comment étant l'ensemble des cours d'eau artificiels ou naturels, qui s'écoulent.

Notre zone d'étude est traversée par deux oueds principaux, le premier c'est oued Lekhale et le deuxième Bouchemla, ces deux oueds sont alimentés pas les bassins versants qu'on a délimité à l'aide de GOOGLE EARTH et GLOBAL MAPPER, comme le montre la figure si après :

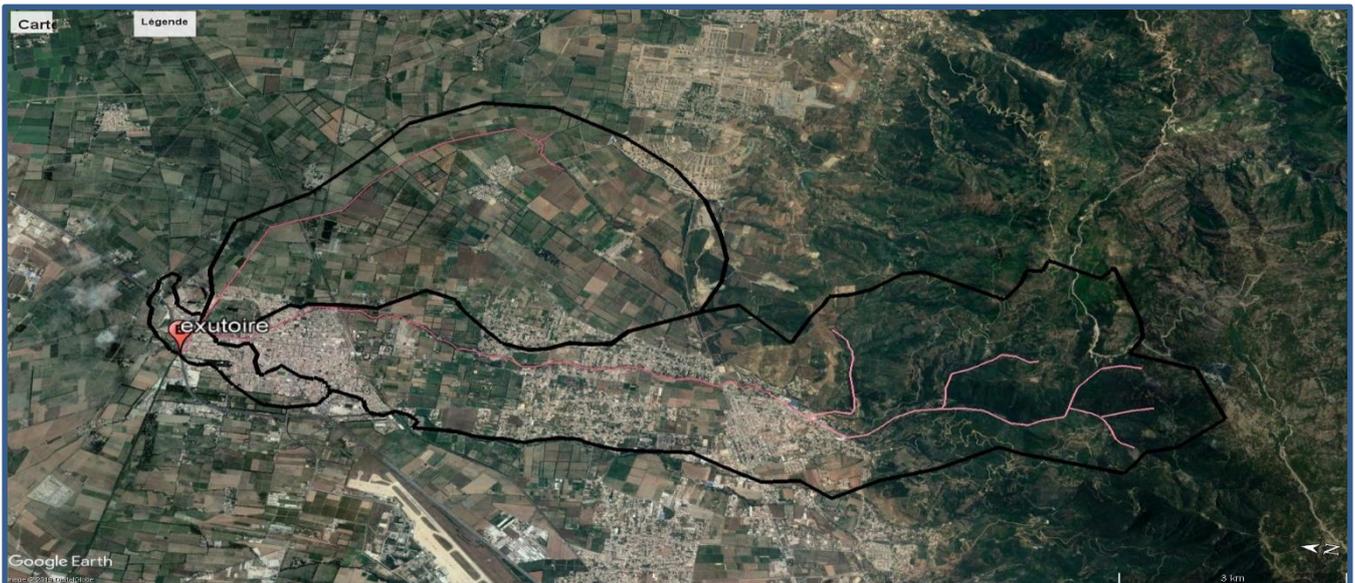


Figure I-3 : le réseau hydrographique de la zone d'étude source : Google earth(2019)

I-2-5-Situation démographique

Le nombre d'habitants pour les horizons futurs est estimé, en utilisant la loi des accroissements géométriques donnée par la relation suivante :

$$Pt = P0 (1 + T) ^N(I-1)$$

Avec :

Pt : Nombre d'habitants à l'horizon futur.

P0 : Nombre d'habitants à l'année de base 2008 (année de recensement).

T : Taux d'accroissement en (%.)

N : L'écart d'années entre l'année de projection et l'année de base.

La population globale de l'agglomération chef-lieu (ACL), selon le recensement de 2008 (R.G.P.H 98) est de 67 454 habitants.(APC Boufarik)

La population aux différents horizons est donnée par le tableau suivant :

Tableau I- 1 : Perspective de développement de la population aux différents horizons

2007	Taux	2019	Taux	2049
67 454	2	86269	2	129690

I-2-6- Situation climatique

2-6-1-Température

La variation de la température de cette zone dépend directement de la saison climatique.

$T_{\text{moy saisonnière}} = 16.8 \text{ C}$ pour une saison froide et $T_{\text{moy saisonnière}} = 35.7 \text{ C}$ pour une saison chaude

Tableau I-2 : température moyenne mensuelle, min et max (Boufarik) (1993-2010)

Paramètre	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Tmoy (°C)	27,9	25,6	19,9	18,6	16,8	17,4	17,6	19,1	29,9	26,9	35,7	34,2
Tmin (°C)	19	16,5	11	11	10	8	8	12	15	19,5	23	29,5
Tmax(°C)	45,5	40,5	33	28	29	29	36	39	40	41,5	45	45,5

Source : ANRH(Blida)

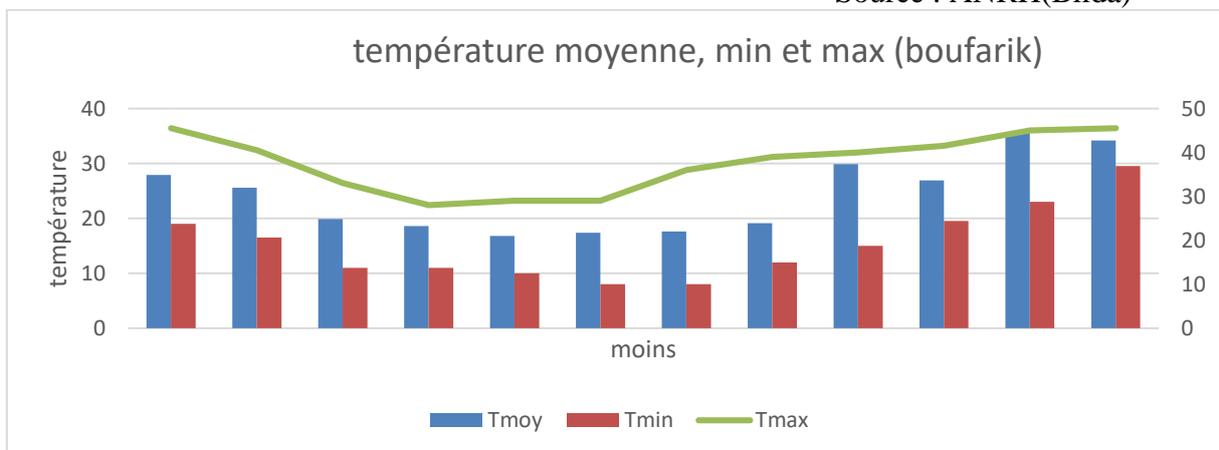


Figure I-4 : graphe des températures moyennes mensuelles, min et max Source : ANRH(Blida)

I-2-6-2- Vitesse du vent :

Les vents dominants proviennent de l'ouest pour les saisons automnale et hivernale avec une vitesse moyenne de 6.1 km/h, et du Nord pour les saisons printanière et estivale avec une vitesse moyenne d'environ 5.5 km/h.

Tableau I-3 : vitesse moyenne de vent mensuelle (Boufarik) (1993-2010)

Paramètre	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Vent moy (Km/h)	5,5	4,9	5,8	5,3	6,1	5,4	8,5	5,2	4,1	5,3	4,6	4,3

Source : ANRH(Blida)

I-2-6-3-Pluviométrie

La région de Boufarik est généralement caractérisée par un climat méditerranéen, et une chute de la neige et de la pluie irrégulière. D'après les valeurs du tableau ci-dessous, la pluie mensuelle maximale est 292.4 mm tandis que les précipitations minimales sont de l'ordre de 17.4mm.

Tableau I-4 : pluviométrie moyennes mensuelle à Boufarik (1993-2010)

Paramètre	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Pv (mm)	87,9	154,3	177,1	202,1	197,1	204,4	167	292,4	50,8	18,9	17,4	26,7

Source : ANRH(Blida)

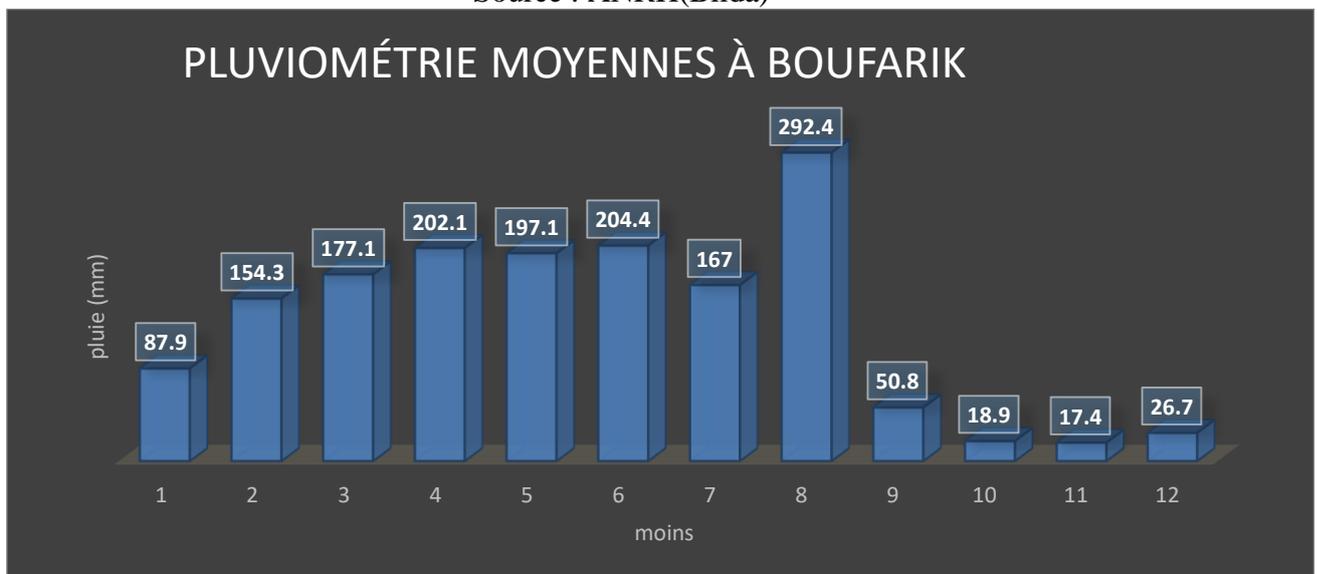


Figure I-7 : pluviométrie moyennes mensuelle à Boufarik

Source : ANRH(Blida)

I-2-6-4-Humidité

Tableau I-5 : Humidité moyenne mensuelle de Boufarik (%) (1991-2011)

Moi	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
Max	93	93	92	92	91	93	91	92	82	94	93	91
Min	5	6	2	8	9	2	5	3	3	5	1	1

Source : ANRH(Blida)

I-2-6-5- Évaporation :

D'après le tableau ci-après, c'est remarquable que la quantité d'eau à évaporer dans les mois d'été (juin, juillet et août), est plus grande par rapport à les autres saisons, d'où, la plus grande quantité d'eau évaporée est 308.9 mm au mois de mai. En janvier, la quantité évaporée est faible (170.3 mm)

Tableau I-6 : évaporation moyennes mensuelles à Boufarik (1993-2010)

Paramètre	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Evap (mm)	169,4	192,3	195,5	224,1	170,3	209,4	186,4	172,2	308,9	277,4	281,4	233,4

Source : ANRH(Blida)

I-2-7- Situation hydraulique :

L'explication de la situation hydraulique repose sur l'exposition d'état physique soit du réseau d'alimentation d'eau potable, ou d'assainissement.

D'après les informations données sur les deux réseaux (AEP, assainissement) par le bureau d'étude (atelier d'étude hydraulique et d'expertise dar el Beida) on a :

- Les collecteurs et les conduites sont en bon état
- Le contrôle de la quantité d'eau déversée par Les déversoir d'orages est efficace
- Les regards sont en bon états

II-1- Introduction

Dans le Domaine concernant la protection contre les inondations, la phase d'étude hydrologie est très importante, parce que si nous avons réussi à maîtriser cette partie nous proviendrons des bons résultats de côté technique et économique.

Cette étude repose sur la détermination des différentes caractéristiques morphologiques des bassins et le temps de concentration et l'intensité maximale, juste pour avoir un débit max pour pouvoir dimensionner les ouvrages de protection.

II-2- Les caractéristiques morphologiques des bassins versants

Suite à l'utilisation des différents outils informatiques comme Google earth, Globale mapper et les lois hydrologiques on a réussi a déterminé tous les caractéristiques morphologiques suivant :

II-2-1- La surface

La valeur de la surface des bassins joue un rôle très important dans la détermination des Débits max par ce que d'après les formules du calcul si la surface augment le débit max augment

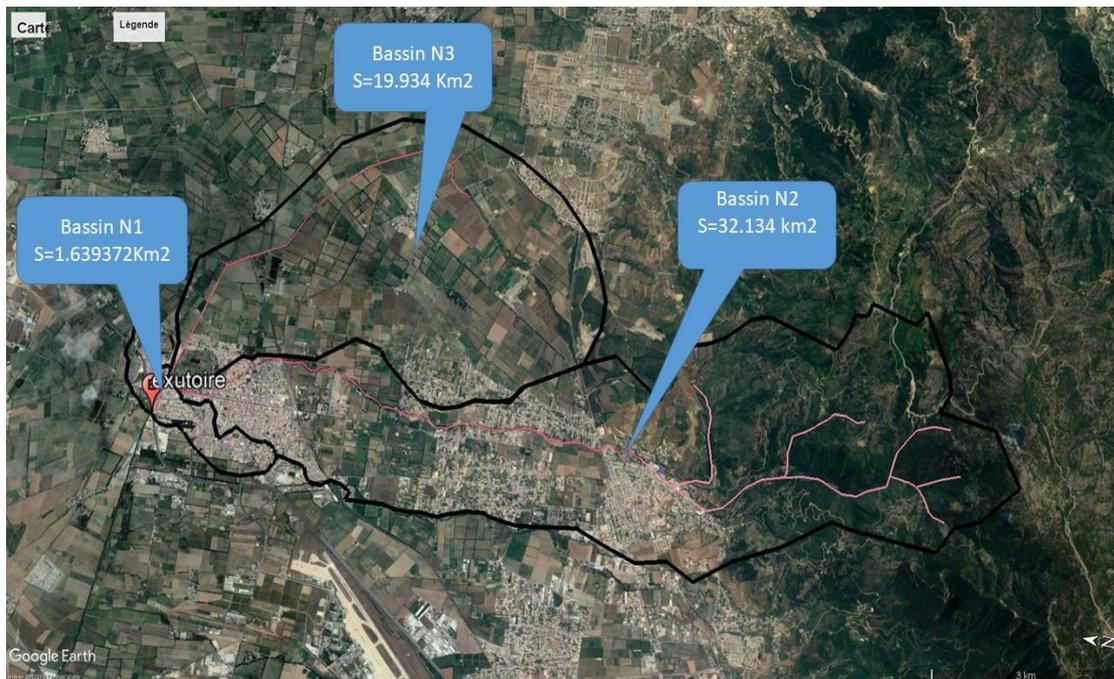


Figure II-1 : la délimitation et la surface des sous bassins

source : Google earth (3-2019)

II-2-2-Le périmètre

La définition d'un périmètre c'est tout simplement la limite extérieure d'un bassin quelconque, pour déterminer ses valeurs nous avons utilisé des utiles informatiques : Google earth et Global mapper.

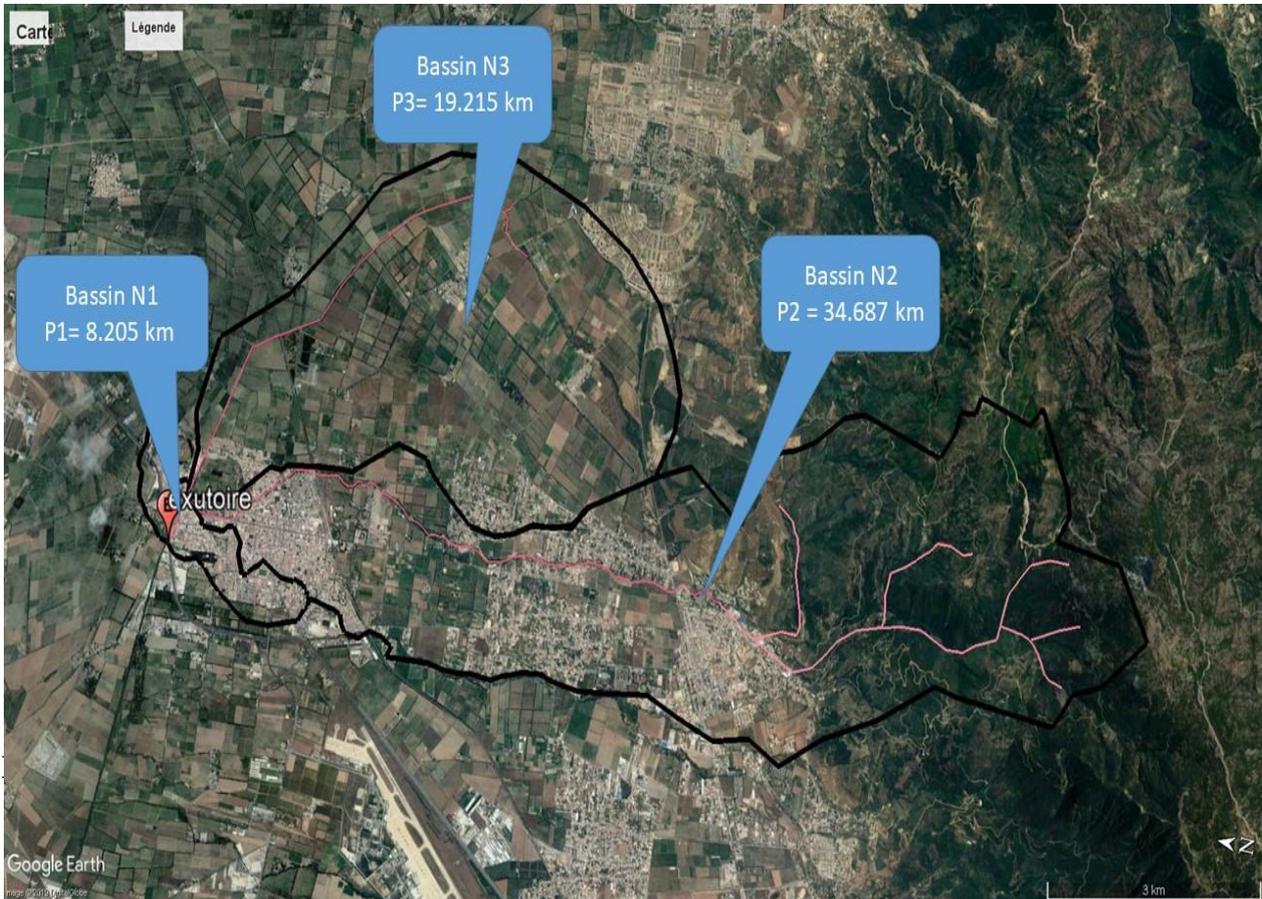


Figure II-1 : la délimitation et le périmètre des sous bassins source : Google earth (3-2019)

II-2-3- La longueur du cours eau principal :

C'est la longueur du cours d'eau le plus long dans le bassin.

II-2-4-L'indice de compacité Kc :

C'est un indice qui caractérise la forme du bassin versant, il dépend de la surface et le périmètre du bassin tel que si :

$K_c < 1$ c'est un bassin ramassé

$K_c > 1$ c'est un bassin allongé

$$K_c = 0.28 * \frac{P}{S} \quad (\text{II-1})$$

P : périmètre (km)

S : surface (KM²)

II-2-5-Le rectangle équivalent

C'est une transformation d'un bassin versant à une autre surface sous forme d'un rectangle de largeur (l) et une longueur(L) avec les lois suivant :

$$L = Kc * \frac{\sqrt{S}}{1.128} * \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Kc} \right)^2} \right) \quad (\text{II-2})$$

$$l = Kc * \frac{\sqrt{S}}{1.128} * \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Kc} \right)^2} \right) \quad (\text{II-3})$$

II-2-6-Les courbes hypsométriques

Cette courbe fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition des superficies du bassin versant en fonction des altitudes. Donc la répartition altimétrique et les courbes hypsométriques de chaque bassin est :

Bassin N 1 :

Tableau (II.1) : Répartition altimétrique du bassin N 1

altitude(m)	Hi(m)	surface partielle (Km ²)	surface partielle (%)	surface cumulé (%)
58-56	57	0,026	1,587	1,587
56-54	55	0,083	5,118	6,706
54-52	53	0,092	5,666	12,373
52-50	51	0,053	3,257	15,630
50-48	49	0,094	5,752	21,382
48-46	47	0,115	7,069	28,452
46-44	45	0,099	6,038	34,491
44-42	43	0,079	4,832	39,323
42-40	41	0,099	6,038	45,362
40-38	39	0,084	5,123	50,486
38-36	37	0,112	6,844	57,331
36-34	35	0,190	11,595	68,927
34-32	33	0,371	22,661	91,588
32-30	31	0,137	8,411	100

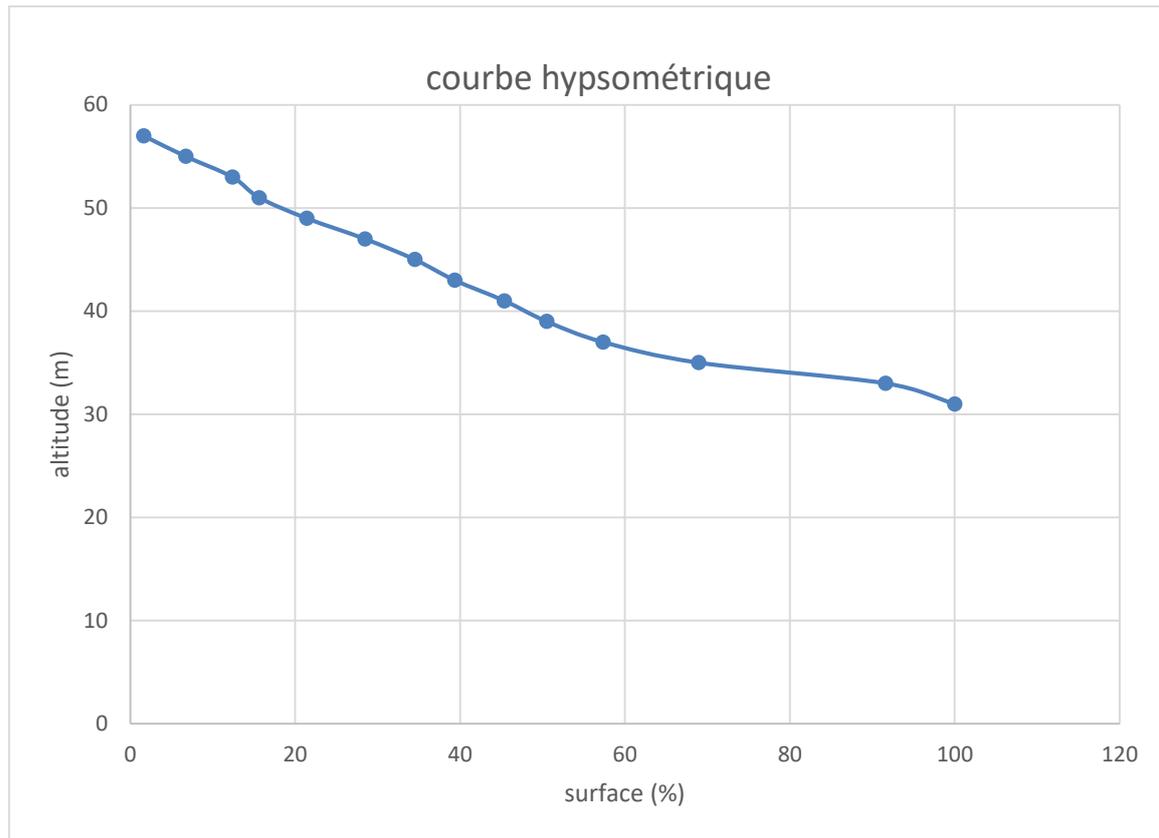


Figure (II.3) : Courbe hypsométrique du bassin versant N 1

Bassin N

2 :

Tableau (II.2) : Répartition altimétrique du bassin N 2

altitude(m)	Hi(m)	surface partielle (Km ²)	surface partielle (%)	surface partielle (%)
1400-1300	1350	0,229	0,735	0,735
1300-1200	1250	0,447	1,434	2,170
1200-1100	1150	0,474	1,521	3,692
1100-1000	1050	0,501	1,607	5,299
1000-900	950	1,133	3,634	8,933
900-800	850	1,106	3,547	12,481
800-700	750	1,44	4,619	17,100
700-600	650	1,645	5,276	22,377
600-500	550	1,336	4,285	26,663
500-400	450	1,524	4,888	31,551
400-300	350	2,195	7,041	38,593
300-200	250	3,431	11,005	49,598
200-100	150	8,456	27,125	76,724
100-35	67,5	7,256	23,275	100

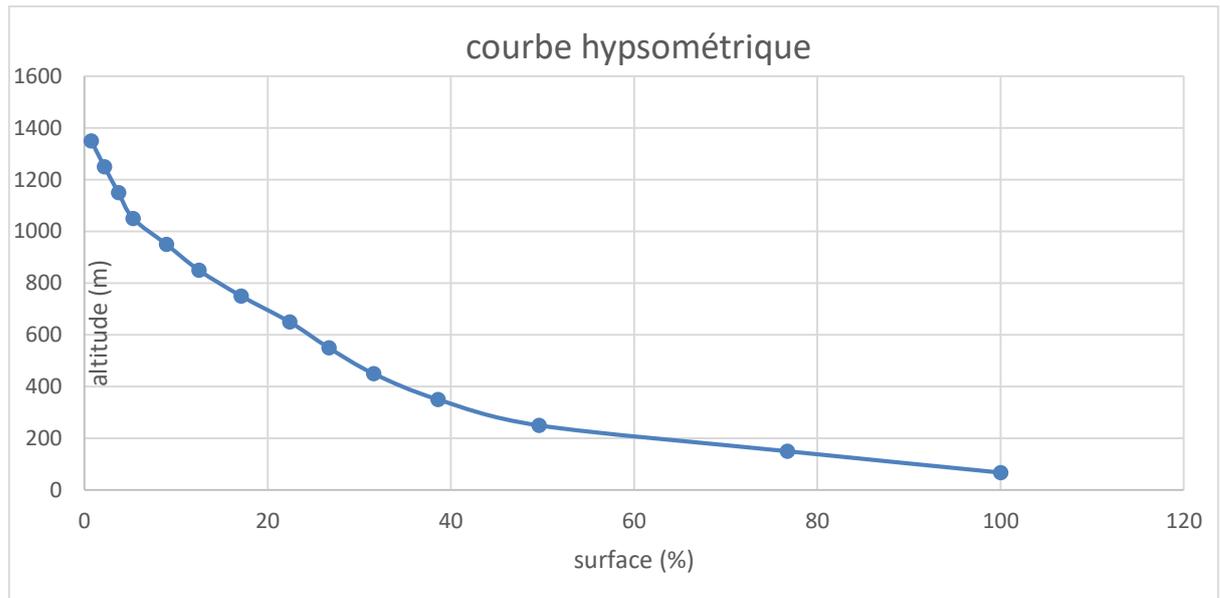


Figure (II.4) : Courbe hypsométrique du bassin versant N 2

Bassin N

3

Tableau (II.3) : Répartition altimétrique du bassin N 3

altitude (m)	Hi (m)	surface partielle(Km ²)	surface partielle(%)	surface cumulé(%)
150-140	145	0,051	0,258	0,258
140-130	135	0,075	0,381	0,639
130-120	125	0,174	0,883	1,523
120-110	115	0,487	2,463	3,987
110-100	105	1,432	7,233	11,220
100-90	95	2,150	10,860	22,080
90-80	85	2,379	12,016	34,097
80-70	75	2,946	14,880	48,978
70-60	65	3,664	18,507	67,485
60-50	55	3,350	16,921	84,407
50-40	45	2,798	14,133	98,540
40-32,5	36,25	0,2889	1,459	99,999

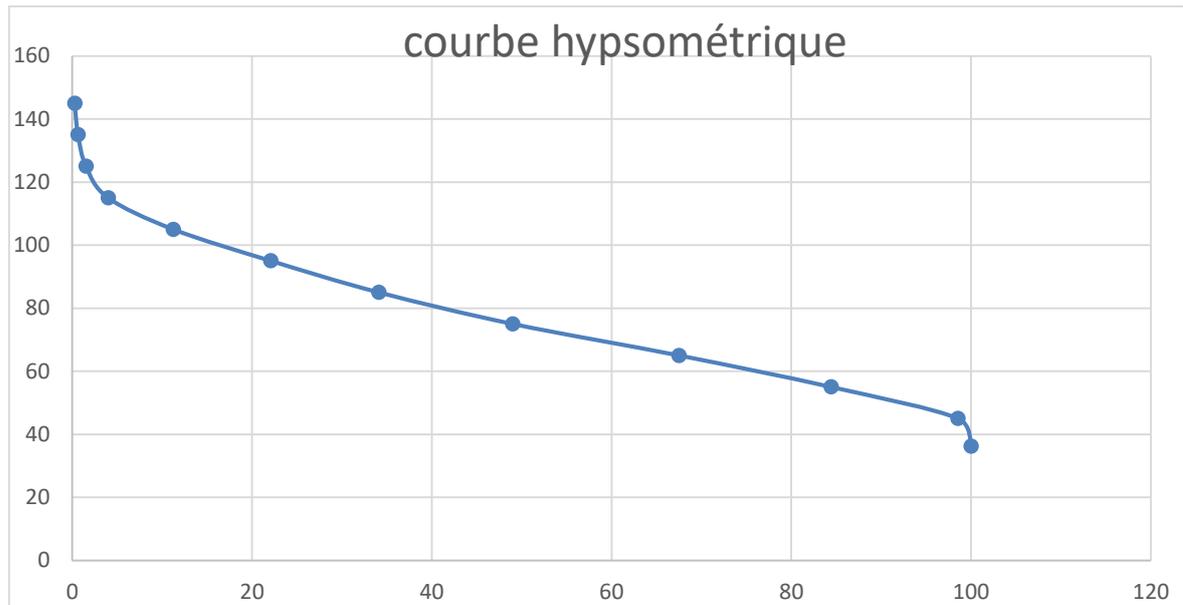


Figure (II.5) : Courbe hypsométrique du bassin versant N 3

II-2-7- Les altitudes caractéristiques

Sont des altitudes spéciales et remarquable obtenues à partir des cartes topographiques et les courbes hypsométriques on peut distinguer :

- L'altitude maximale : c'est le point le plus élevé du bassin
 - L'altitude minimale : c'est le point le plus bas du bassin
 - L'altitude médiane ou « H50% » est déterminée par la courbe hypsométrique
 - L'altitude moyenne « H_{moy} » donnée avec la formule en dessus :
 - L'altitude à « H5% » est déterminée par la courbe hypsométrique
 - L'altitude à « H95% » est déterminée par la courbe hypsométrique
- Les valeurs des altitudes pour chaque bassin

Tableau (II.4) : Les altitudes caractéristiques

Sous bassin	SB1	SB2	SB3
Hmax	58	1400	150
Hmin	30	35	35
H5%	56.46	1040	109
H95%	32.4	80	45
H50%	38	225	76

II-II-8-Indice de la pente globale Ig :

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

$$Ig = \frac{D}{L} = \frac{H5\% - H95\%}{L} \tag{II-4}$$

D : Dénivelée entre H5% et H95% (m)

L : Longueur de rectangle équivalent (Km)

II-2-9-La pente moyenne du cours d'eau principale :

C'est le rapport entre la différence des altitudes max et min du sous bassin sur la longueur de cours d'eau principale

$$I_{moy} = \frac{\Delta H}{L_i} \tag{II-5}$$

I_{moy} : Pente moyenne du cours d'eau principale (m/Km)

ΔH : dénivellation entre H_{max} et H_{min} (m)

L_i : Longueur du cours d'eau principale (Km)

II-2-10-Indice de la pente :

La loi de calcul c'est le suivant :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L_i}} * \sum_i^n \sqrt{S_i * (H_i - H_{(i-1)})} \tag{II-6}$$

Tel que :

ΔH : dénivellation (m)

L_i la longueur de de cours d'eau principale (m)

S_i : la surface partielle (km²)

II-2-11-La dénivelée spécifique

$$D_s = I_g * \sqrt{\frac{l}{L}} \tag{II-7}$$

D_s : Dénivelée spécifique ;

D : Dénivelée entre $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$ (m) ;

L : Longueur du rectangle équivalent (Km) ;

l : Largeur du rectangle équivalent (Km)

Tableau (II.5) : caractéristiques morphologique des bassins

Caractéristiques	unité	bassin N1	bassin N2	bassin N3
Surface	KM ²	1.639	32.134	19.934
périmètre	KM	8.205	34.687	19.215
la longueur de cours d'eau principal	KM	0.314	14.448	6.587
indice de compacité	/	1.794	1.773	1.205
la longueur de rectangle équivalent	KM	3.65	15.234	6.57
la largeur de rectangle équivalent	KM	1.004	2.192	3.662
indice de pente global	/	0.0066	0.063	0.0097
pente moyenne de cours d'eau	/	0.089	0.094	0.0178
indice de pente global	/	11.58	47.21	16.43
dénivelé spécifique	/	12.61	364.11	43.05

II-3- Calcul du temps de concentration :

C'est le temps mise par la particule d'eau la plus éloigné pour atteindre l'exutoire de bassin

II-3-1-Méthode de Kirpich :

$$T_c = 0.945 * \frac{L^{1.115}}{D^{0.385}} \tag{II-8}$$

Avec :

L : La longueur du talweg principale (Km) ;

I : pente moyenne du talweg principale ;

D : La dénivelée entre deux extrémités du talweg principal (m).

II-3-2- Méthode de Ventura :

$$Tc = 0.1272 * S^{\frac{1}{3}} / Imoy^{1/2} \tag{II-9}$$

Avec :

S : La surface du bassin versant (Km²) ;

I : pente moyenne du talweg principale ;

II-3-3-Méthode de Turazza :

$$Tc = 0.108 * \frac{\sqrt{S*L}}{\sqrt{I}} \tag{II-10}$$

Avec :

S : La surface du bassin versant (Km²)

L : La longueur du talweg principale (Km)

I : pente moyenne du talweg principale

Tableau (II.6) : le temps de concentration de chaque bassin

	bassin N1	bassin N2	bassin N3
Kirpich (h)	0.072	1.15	1.23
Ventura(h)	0.502	1.31	2.58
Turazza (h)	0.29	2.191	4.11
temps de concentration moyenne (h)	0.288	1.5503333	2.64
temps de concentration choisi (h)	0.29	1.31	2.58

Le choix de temps de concentration selon l'écart type le petit

II-5-Vitesse moyenne de ruissellement Vr

Elle est donnée par la formule suivante

$$Vr = L / Tc \tag{II-11}$$

Vr : vitesse de ruissellement (km/h)

L : Longueur du talweg principal (Km).

Tc : Temps de concentration (h).

Tableau (II.7) : la vitesse moyenne de ruissellement

	SB1	SB2	SB3
Vr(Km/h)	0,502	1,31	1,23

II-4-Les caractéristiques de la série :**Tableau (II.8) :** la série pluviométrique

années	Pjmax(mm)	année	Pjmax(mm)
1969	57,5	1992	73,3
1970	25	1993	59,4
1971	162,5	1994	51,3
1972	104	1995	150,4
1973	310,3	1996	30,5
1974	44,8	1997	64,4
1975	77,2	1998	76,3
1976	37,7	1999	52,4
1978	62,1	2000	34,1
1979	60,3	2001	33
1980	57	2002	91,5
1981	40,2	2003	34
1982	81,5	2004	85,6
1983	36	2005	48,5
1984	105,6	2006	72
1985	115,5	2007	52,5
1986	79,9	2008	40
1987	53,5	2009	57,4
1988	54,1	2010	56,2
1989	42	2011	60,8
1990	62,3	2012	31,6
1991	131,8		

- La somme des précipitations maximales journalières durant 43 ans d'observations :

$$\sum_{i=1}^{N=43} X_i = 3056\text{mm} \quad (\text{II-12})$$

- Moyenne des précipitations maximales journalières :

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{N=43} X_i}{N} = 71.07\text{mm}. \quad (\text{II-13})$$

N : le nombre d'années d'observations (N= 43 ans).

- Ecart type σ_x :

Pour N = 43ans on a :

$$\sigma_x = \left[\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{N}} \right] \quad (\text{II-14})$$

$$\sigma_x = 48.12$$

➤ La médian :

Médian ($X_{50\%}$) = 57.4mm

➤ Coefficient de variation :

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{X}} = \frac{48.12}{71.07} \quad (\text{II-15})$$

$$C_v = 0.68$$

Exposant climatique :

Il est donné par l'A.N.R.H de Blida b= 0,4

II-5-Vérification de l'homogénéité de la série

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

Test de la médiane :

Après le classement croissant de la série, on calcule la médiane. Puisque la série est impaire, la médiane est observée en rang $(43+1) / 2$, c'est-à-dire en rang 22.

Médiane ($X_{50\%}$) = 57.4mm

$N_s = 26$, $T_s = 4$

Pour que la série soit homogène, les deux conditions suivantes doivent être vérifiées :

$$\frac{1}{2} + 1 - u_{1-\frac{\alpha}{2}} * \sqrt{N+1} = \frac{1}{2} + 1 - 1.96 * \sqrt{43+1} = 15.5 < 26 \quad (\text{II-16})$$

$$3.3 (\log_{10} (N) + 1) = 3.3 (\log_{10} (43) + 1) = 5.4 > 4 \quad (\text{II-17})$$

Les deux conditions sont vérifiées.

II-6-Ajustement de la série pluviométrique

II-6-1-Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL :

La fonction de répartition de la loi de GUMBEL est :

$$F(X) = e^{-e^{\frac{(x-x_0)}{\alpha}}} \quad (\text{II-18})$$

$F(x)$: Fréquence au dépassement de la valeur de x .

α , x_0 : Coefficients d'ajustement.

x_0 : Paramètre de position (mode).

α : Paramètre d'échelle différent de zéro et positif appelé aussi « gradex »

Par changement de variable $y = \frac{x - x_0}{\alpha}$, la loi de GUMBEL s'écrit

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \quad (\text{II-19})$$

$y = \frac{\alpha}{(x - x_0)}$ Variable réduite de Gumbel.

L'intervalle de variation de x est ; $x \in] -\infty, +\infty [$.

L'équation qui se présente sous la forme : $x = \left(\frac{1}{\alpha}\right) y + x_0$

C'est l'équation d'une droite qui représente la loi de GUMBEL sur papier à probabilité GUMBEL.

Procédé d'ajustement :

- 1-Classement des valeurs par ordre croissant en les affectant un numéro d'ordre.
- 2-Calculer la fréquence expérimentale en utilisant la formule de Hazen qui s'applique pour les lois normales et quasi normales :

$$F(x) = \frac{m - 0,5}{n} \tag{II-20}$$

m : Numéro d'ordre, n : Taille de la série.

- 3-Calculer les caractéristiques empiriques de la série (moyenne, écart type).
- 4-Calculer la variable de GUMBEL pour chaque valeur observée et les reporter sur papier GUMBEL.

$$y = -[Ln(-LnF(x))] \tag{II-21}$$

- 5-Calculer le coefficient de corrélation entre les valeurs observées et la variable de GUMBEL dont la formule générale est :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \tag{II-22}$$

\bar{x} et \bar{y} : Sont respectivement les moyennes arithmétiques des variables x et y.

- 6-Si la corrélation est bonne, Calculer les paramètres d'ajustement de la droite de GUMBEL ou la droite de régression qu'est :

$$x = \left(\frac{1}{\alpha}\right) y + x_0 \tag{II-23}$$

$\frac{1}{\alpha}$: Pente de la droite et x_0 est l'ordonné à l'origine.

y : Variable de GUMBEL pour une probabilité donnée.

Les paramètres $\left(\frac{1}{\alpha}\right)$ et de x_0 peuvent être aussi déterminés par la méthode de moindres Carrés.

- 6-Tracer la droite de régression sur papier GUMBEL.

- 7-Calculer l'intervalle de confiance.

II-6-2-Ajustement de la série pluviométrique à la loi de log- normale

Une variable aléatoire a une distribution log normale lorsque $y = \ln(x)$ est normale. La loi de Galton résulte de la loi normale mais c'est rendue dissymétrique par un changement de variables. Sa fonction de répartition est donnée par :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{1}{2}u^2} \quad (\text{II-24})$$

$F(x)$: Fréquence au non dépassement.

La variable réduite est de la forme :

$$u = \frac{\ln x - \overline{\ln x}}{\sigma_{\ln x}} \quad (\text{II-25})$$

L'équation de la variable réduite est présentée sous la forme :

$$\ln x = \overline{\ln x} + u \cdot \sigma_{\ln x}$$

C'est une équation d'une droite sur papier GAUSSO-LOGARITHMIQUE avec :

- ✓ En abscisse : l'échelle gaussienne
- ✓ En ordonnée : l'échelle logarithmique.

Procédé d'ajustement :

- 1- Classement des valeurs par ordre décroissant (fréquence au non dépassement).
- 2- Calcul de la fréquence expérimentale.
- 3- Calcul des caractéristiques empiriques de la série initiale \overline{x} et σ
- 4- Calcul des caractéristiques de la série transformée en logarithme $\overline{\ln x}$ et $\sigma_{\ln x}$.
- 5- Report des valeurs sur papier GAUSSO LOGARITHMIQUE.
- 6- Détermination de la droite de Galton $\ln x = \overline{\ln x} + u \cdot \sigma_{\ln x}$
- 7- Détermination de la valeur extrême soit graphiquement sur la droite, soit analytiquement par :

$$x_{p\%} = e^{\ln p\%} = e^{\overline{\ln x} + u_{p\%} \cdot \sigma_{\ln x}} \quad (\text{II-26})$$

Dans ce cas, il existe des utiles informatiques pour faciliter la tâche de détermination de la pluie max journalière avec Hyfran.

La loi de Gumel :

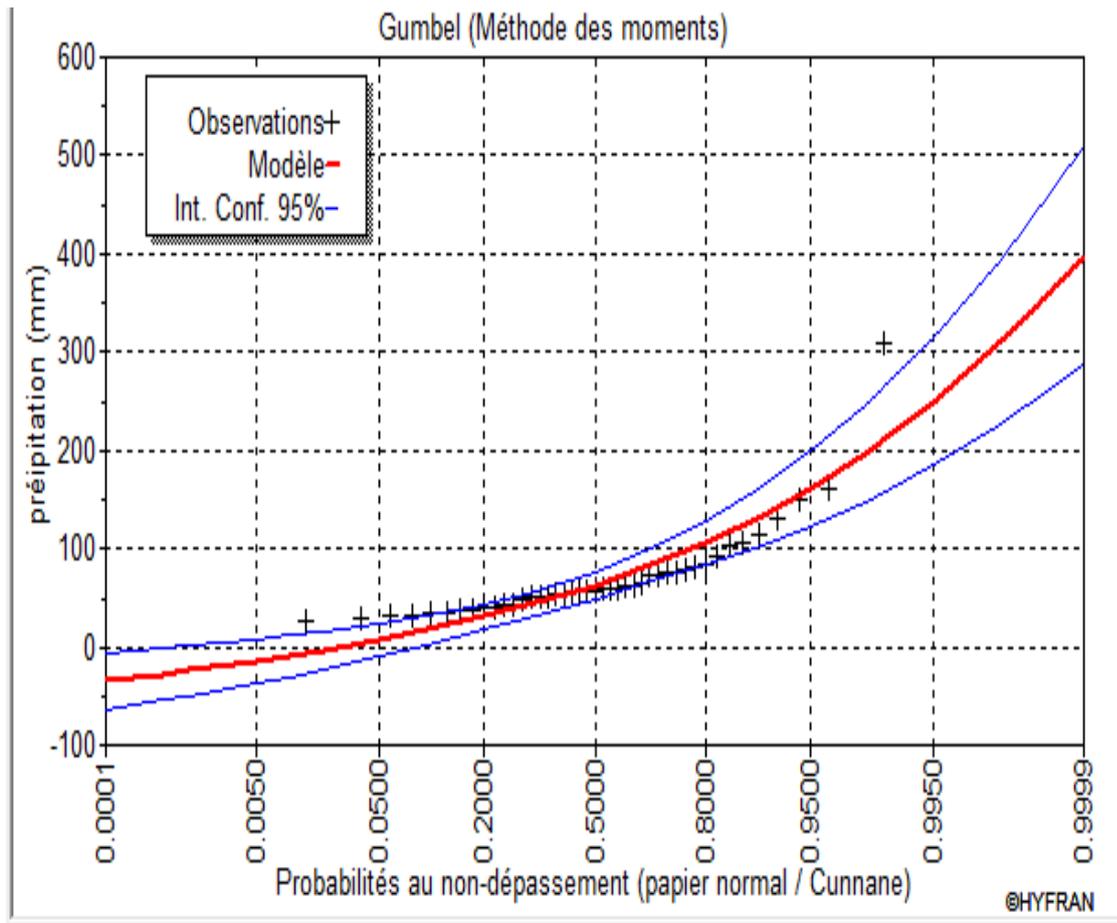


Figure (II.6) : Courbe d'ajustement selon la loi de Gumbel

Tableau (II.9) : la pluie moyenne pour différent fréquence (loi de Gumbel)

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance
10000.0	0.9999	398	56.7	287 - 509
2000.0	0.9995	337	47.0	245 - 429
1000.0	0.9990	311	42.9	227 - 395
200.0	0.9950	250	33.2	185 - 315
100.0	0.9900	223	29.1	166 - 280
50.0	0.9800	197	25.0	148 - 246
20.0	0.9500	161	19.6	123 - 200
10.0	0.9000	134	15.5	104 - 165
5.0	0.8000	106	11.5	83.2 - 128

D'après le tableau précédant, la valeur de la pluie max journalière pour une période de retour 100ans.

$$P_{jmax} (10\%)=233 \text{ (mm)}$$

Pour la loi log-normale :

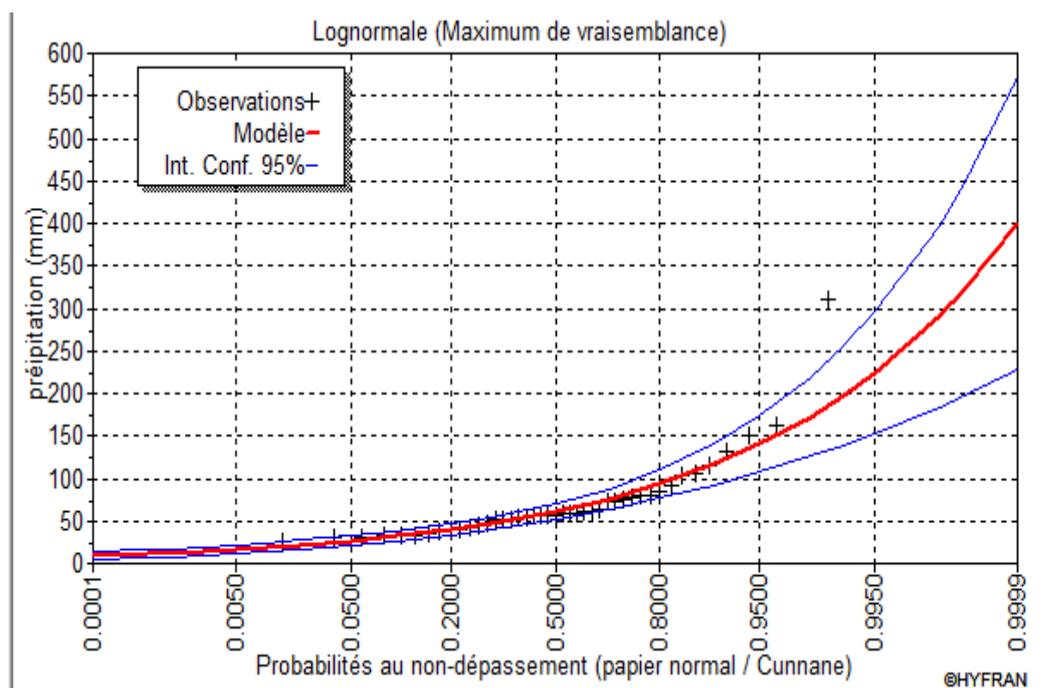


Figure (II.7) : Courbe d'ajustement selon la loi log-normale

Tableau (II.10) : la pluie moyenne pour différentes fréquences (loi log normale)

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance
10000.0	0.9999	400	87.5	228 - 572
2000.0	0.9995	322	63.4	198 - 447
1000.0	0.9990	291	54.4	185 - 398
200.0	0.9950	225	36.3	154 - 296
100.0	0.9900	198	29.6	140 - 256
50.0	0.9800	173	23.6	126 - 219
20.0	0.9500	140	16.7	108 - 173
10.0	0.9000	117	12.2	92.9 - 141
5.0	0.8000	93.6	8.41	77.1 - 110

D'après le tableau précédent, la valeur de la pluie max journalière pour une période de retour 100ans

PJ max (10%)=198 (mm)

D'après les deux résultats précédant je prends le deuxième (Pjmax=198 (mm))

II-7-Pluies de courte durée

Les pluies de courte durée ont été calculées sur la base des données relatives aux pluies journalières maximales, en utilisant la loi régionale intensité –durée- fréquence, qui s'exprime par la relation de Boddy :

$$Ptc = Pjmax * t/24 \quad (II-27)$$

t : durée de l'averse (h) s

b : exposant climatique tel que b=0.4 donné par ANRH Blida

$$Ptc = 198 * 0.68 / 24 = 47.597 \text{ (mm)}$$

II-8-Apports liquides

II-8-1-Mallet-Gauthier :

$$Le = 0,6 * Pmoy (1 - 10^{(-0,36 * Pmoy)})$$

$$A_0 = Le * S \quad (II-28)$$

Avec :

P moy : précipitation moyenne annuelle (m)

Le : Lamé d'eau écoulé (mm)

S : surface du SBV en km²

II-8-2-Formule de l'ANRH :

$$A = 0.915 * S^{0.842} * P^{2.684} \quad (II-29)$$

S : Surface du bassin versant (km²).

\bar{P} : Pluie moyenne annuelle (mm).

II-8-3-Formule de MEDINGER :

$$A = Le * S \quad (II-30)$$

$$Le = 1.024(\bar{P} - 0.26)^2$$

Le : Lamé d'eau écoulée (mm).

\bar{P} : Pluie moyenne annuelle (mm).

Tableau (II.11) : les apports liquides de chaque bassin

	bassin N1	bassin N2	bassin N3
Mallet Gauthier	2.77	54.24	33.65
ANRH	27.82	340.75	277.95
Mediner	12.82	251.243	155.84

II-9-Caractéristiques de l'écoulement

II-9-1-Module de l'écoulement :

Il est donné par la formule suivante :

$$Me = A/T \quad (II-31)$$

A : Apport moyen annuel (l).

T : Temps d'une année en secondes. $T = 31.536 * 10^6$ s.

II-9-2-Module de l'écoulement relatif ou spécifique :

On a :

$$Ms = Me/S \quad (II-32)$$

Me : Module de l'écoulement (l/s).

S : Superficie du bassin (Km²).

II-9-3-La lame d'eau écoulée :

On a :

$$Le = A / S \quad (\text{II-33})$$

Avec

A : Apport moyen annuel (l)

S : Superficie du bassin (Km²)

II-9-4-Coefficient de l'écoulement

Il est donné par :

$$Ce = Le / \bar{P} \quad (\text{II-34})$$

Avec :

\bar{P} : Pluie moyenne annuelle (mm).

Le : Lambe d'eau écoulée (mm).

II-9-5-Coefficient de variation :

Il est donné par différentes formules empiriques dont on cite :

II-9-5-1) Formule de SOKOLOSKY :

$$Cv = a - 0.063 \log_{10} (S+1) \quad (\text{II-35})$$

$$a = 0.78 - 0.29 \log_{10} Ms$$

Avec :

Ms : Module de l'écoulement spécifique (l/s/Km²).

S : Surface du bassin (Km²).

II-9-5-2) Formule de l'ANTONOV :

$$Cv = \frac{0.7}{(S+1000)^{0.097}} \quad (\text{II-36})$$

S : Superficie du bassin (Km²).

Tableau (II.12) : les caractéristiques d'écoulement

	bassin N1	bassin N2	bassin N3
module de l'écoulement	0.0004	0.0079	0.0049
module de l'écoulement spécifique	0.000258	0.00023	0.00025
lambe d'écoulement	7817.618	7817.618	7817.618
coefficient de l'écoulement	2.55	2.55	2.55
coefficient de variation (sokolosky)	1.79	1.73	1.74
coefficient de variation (Antonov)	0.36	0.36	0.36

II-10-Evaluation des apports solides

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

- Formule de TIXERONT :

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

$$E_s = a \cdot L^{0.15} \quad (\text{II-37})$$

Où : E_s : Taux d'érosion (t/km²/an).

L : Lambe d'eau ruisselée en (mm).

a : Coefficient empirique qui varie en fonction de la perméabilité du terrain.

a = 350 (perméabilité moyenne).

Le volume des sédiments est donné par la relation suivante :

$$V_s = E_s * S / \gamma \quad (\text{II-38})$$

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

Tableau (II.13) : les apports solides

Sous bassin	SB1	SB2	SB3
As(T/Km2/An)	1573.043	30.822*10 ³	19.12*10 ³

II-11-Le débit max a l'exutoire de chaque bassin

II-11-1-La méthode de Turazza

$$Q_{max}(f\%) = \frac{S * P_{tc}(f\%) * C}{3.6 * T_c} \quad (\text{II-40})$$

A : Surface du sous bassin ;

itc : Intensité moyenne maximale des précipitations pendant une durée égale au temps de concentration en mm/h. Ce paramètre est calculé dans le tableau n° (II.19).

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

II-11-2-La méthode de rationnelle :

$$Q_{max}(f\%) = S * C * I_i \quad (\text{II-41})$$

S : Surface du bassin versant en Km².

I : Intensité d'une averse en (mm/h) déterminé selon la relation suivante :

$$I_i = 0.278 * \frac{P_{tc}(\%)}{T_c}$$

T_c : Temps de concentration du bassin versant en heures,

C : Coefficient de ruissèlement.

II-11-3-La méthode de Giandotti :

$$Q_{max}(f\%) = S * C * H_{tc.p\%} \sqrt{H_{moy} - H_{min}} / (4 * \sqrt{S} + 1.5 * L) \quad (\text{II-42})$$

S : surface en km² ;

H_{moy} : altitude moyenne en m ;

H_{min} : altitude minimale en m ;

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

C : Coefficient topographique qui varie entre 0.066 et 0.166 .

H_{tc.p%} : la lame d'eau précipitée pour une probabilité donnée, et d'une durée égale au temps de concentration des eaux.

II-11-4-Formule de MALLET-GAUTHIER

$$Q_{max}(f\%) = 2 * K * \log(1 + 20 * P_{moy}) * \frac{S}{\sqrt{L}} * \sqrt{1 + 4 * \log(T) - \log(s)} \quad (\text{II-43})$$

Q_{maxp%} : Débit maximum pour une fréquence donnée (m³/s).

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle (m).

S : Superficie du bassin versant.

L : Longueur du talweg principal.

K : Constante dépendant des caractéristiques du bassin : K=2

T : Période de retour (an).

Les résultats des débits max sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau (II.14) : les débits max de chaque bassin

La méthode	SB1	SB2	SB3
------------	-----	-----	-----

Turraza	41.458	151.768	87.557
Rationnelle	45.491	151.890	56.293
Giandotti	5.310	127.308	70.806
MALLET- GAUTHIER	4,042	87.060	56.829
Le débit moyen	23.122	129.507	67.871
Le débit max choisi	5.310	127.308	70.806

Conclusion :

D'après la détermination des paramètres morphologiques de chaque bassin nous avons calculé les débits max par 4 méthodes différents sont :

Turraza

Rationnelle

Giandotti

MALLET-GAUTHIER

Et le choix de débit fait selon l'écart type le plus petit donc le débit à chaque exutoire de bassin c'est :

L'oued situé dans le sous bassin N 1 : $5.310+127.308+70.806=203.424$ m³/s

L'oued situé dans le sous bassin N 2 : 127.308m³/s

L'oued situé dans le sous bassin N 3 : 70.806m³/s

III-1- Introduction

En ces derniers temps l'application des outils informatique dans les études est une part très importante, premièrement ils facilitent les tâches et même vérifier le rendement du projet, dans l'aménagement des oueds on va essaie de modéliser l'écoulement dans notre oued avant et après l'aménagement.

III-2-LES MODELES HYDRAULIQUES

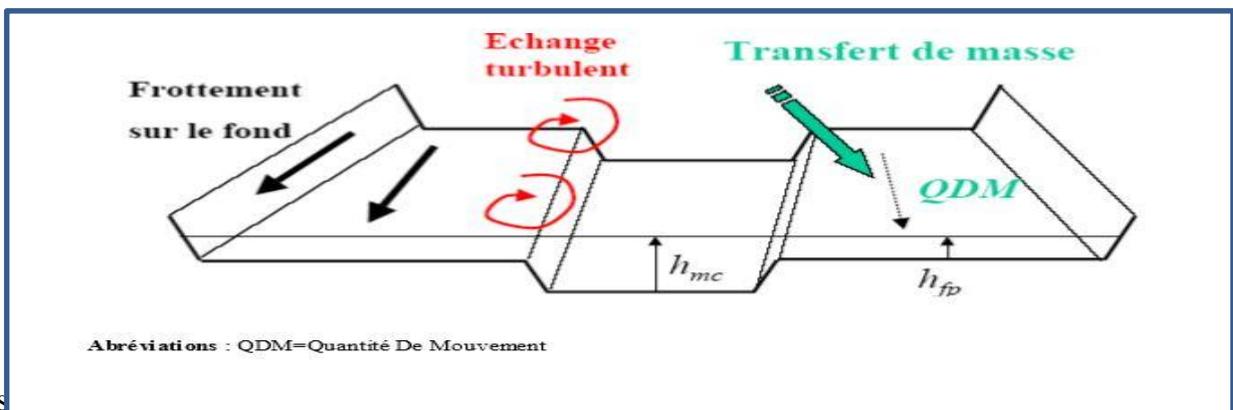
III-2-1-Les différents modèles hydrauliques de rivière

Cet aspect est intimement lié aux données topographiques qui forment l'ossature du modèle géométrique utilisé pour les modélisations. Une recherche des caractéristiques des principaux modèles existants en hydraulique fluviale avec leurs atouts et leurs limites est donc nécessaire.

Dans le cas d'un écoulement en rivière, on parle d'écoulements en lits composés (lits mineur et Majeur) où les caractéristiques de vitesse, hauteur d'eau, rugosité varient suivant les lits (Bousmar, 2002, CETMEF, 2004 ; Kreis, 2004 Proust, 2005). L'interface entre les lits est primordiale, elle est la source de la majorité des incertitudes pour la simulation des écoulements débordants.

On identifie de fortes pertes de charges dans cette zone et dans la couche limite (interface entre le fond de la rivière et le fluide) comme il est montré sur la figure (III-1) :

- (a) Pertes par frottement et micro turbulences au fond du cours d'eau
- (b) Pertes dues aux macros turbulences issues de la différence de vitesse entre les lits,
- (c) Pertes par transfert de quantité de mouvement entre les lits.



les

comme Mage5 (Ghavasieha et al., 2006 et les plus évolués cherchent à simuler les trois pertes comme Axeriv. Néanmoins, la caractéristique principale des codes 1D est qu'ils moyennent la hauteur d'eau (et pour certains la vitesse) sur chaque profil en travers perpendiculaire aux lits majeur et mineur. Ceci provient de leurs structures et des équations qui les régissent : ils sont constitués d'un ensemble de profils en travers perpendiculaires aux écoulements. C'est leur principale faiblesse car les surfaces libres réelles sont loin d'être horizontales lors des crues (et les champs de vitesses sont loin d'être uniformes) pour une section en travers donnée.

III-2-1-2-Les modèles 2D

Les modèles bidimensionnels (2D ou 2D-H) tentent de reproduire ces variations : ils sont construits sur un réseau maillé qui permet de donner les grandeurs hydrauliques (vitesse et hauteur d'eau) pour chaque cellule du réseau. Les équations qui régissent ces modèles sont moyennées sur la hauteur (d'où 2D-H pour 2D-hauteur) et donnent des champs de vitesse

pouvant varier dans le plan mais pas sur la hauteur. Ces modèles à priori sont très intéressants mais sont très gourmands en temps de calcul.

III-2-1-3-Les modèles 3D

Actuellement, les modèles 3D ne sont guère opérationnels, ils restent du domaine de la recherche et se limitent à des zones d'étude très restreintes de l'ordre de quelques dizaines de mètres de cou d'eau (Rüther et Olsen, 2007).

III-3-Présentation du logiciel Hec-ras :

III-3-1-Introduction

Le système de modélisation Hec-ras est développé comme des logiciels des études hydrauliques qui permettent de simuler les écoulements à surface libre. Il a été conçu par le Hydrologic Engineering Center de l'U.S Army Corps of Engineers à travers le projet NextGen. Ce projet englobe plusieurs aspects hydrologiques et hydrauliques : Analyse du ruissellement des précipitations, Hydraulique fluviale, Simulation des systèmes des réservoirs, Analyse des dommages d'inondation, Prévision des crues pour la conception des réservoirs.

III-3-2-Théorie de base de calcul du modèle Hec-ras

III-3- 2-1-Profils de la surface de l'eau en écoulement permanent

Comme il a été indiqué plus haut le modèle Hec-ras est capable d'exécuter des calculs unidimensionnels de profil de la surface de l'eau pour l'écoulement permanent graduellement varié dans des canaux naturels et artificiels. Les profils de la surface de l'eau en régime d'écoulement sous critiques (fluvial), supercritiques, et mixtes peuvent être calculés

III-3-2-2-Les Équations de base entre deux sections

Equation d'énergie :

Les profils de la surface de l'eau sont calculés entre deux sections en résolvant l'équation d'énergie. L'équation d'énergie est écrite comme suit :

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (\text{III-1})$$

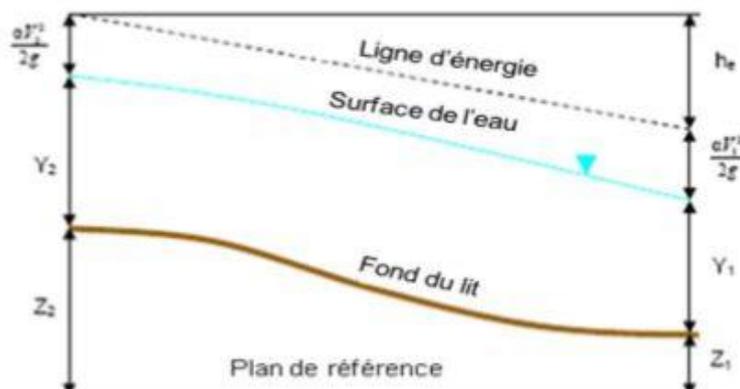
ions

V_1, V_2 : vitesses moyennes (débit total /surface totale d'écoulement)

α_1, α_2 : coefficients de pondération de vitesse

g : accélération de la gravité

h_e : perte d'énergie principale (perte de charge)



CHAPITRE III Généralités sur la modélisation d'écoulement

La perte totale d'énergie (h_e) entre deux sections est composée des pertes par frottement et des pertes de contraction ou d'expansion. L'équation pour la perte totale d'énergie est comme suit :

$$h_e = LS_f + C \frac{\alpha V_2^2}{2g} - \frac{\alpha V_1^2}{2g} \quad (III-2)$$

Avec :

- L : longueur de la distance entre deux sections
- S f : angle de frottement représentatif entre deux sections
- C : coefficient de perte d'expansion ou de contraction

La longueur de la distance mesurée entre deux sections, L, est calculée comme suit :

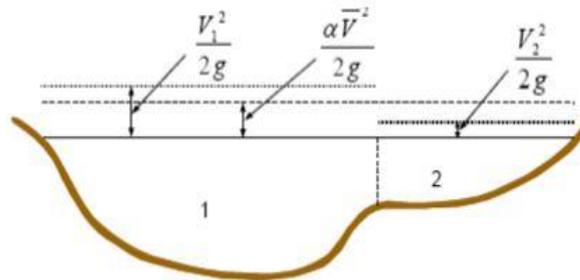
$$L = \frac{L_{lob}Q_{lob} + L_{ch}Q_{ch} + L_{rob}Q_{rob}}{Q_{lob} + Q_{ch} + Q_{rob}} \quad (III-3)$$

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} : Longueurs des distances entre deux sections de calcul indiquées pour l'écoulement dans la berge gauche, le canal principal, et la berge Droite.

Q_{lob}, Q_{ch}, Q_{rob} : Moyenne arithmétique des débits entre deux sections pour la berge Gauche, le canal principal, et la berge droite.

III-3-2-3) Évaluation de l'énergie cinétique moyenne

Puisque le logiciel de Hec-ras est un programme de calcul unidimensionnel des profils de la surface de l'eau, seule une surface de l'eau et donc une énergie moyenne sont calculées en chaque section. Pour un niveau donné de la surface de l'eau, l'énergie moyenne est obtenue en considérant les énergies correspondantes aux trois sous-sections d'une section de calcul (rive gauche, canal principal, et rive droite). Le schéma (IV-2) ci-dessous montre comment l'énergie moyenne est obtenue pour une section de calcul.



Pour pondération α V_1 = vitesse moyenne de la surface 1
 les trois éléments V_2 = vitesse moyenne de la surface 2
 écrit en terme

α coefficient de sur le flux dans t également être

$$\alpha = \frac{A_t^2 \left(\frac{K_{lob}^3}{A_{lob}^2} + \frac{K_{ch}^3}{A_{ch}^2} + \frac{K_{rob}^3}{A_{rob}^2} \right)}{K_t^3} \quad (III-4)$$

Avec :

- A_t^2 : Surface totale d'écoulement de la section totale de calcul (m²)
- $A_{lob}^2, A_{ch}^2, A_{rob}^2$: Surface d'écoulement de la rive gauche, de canal principal et de la rive droite Respectivement (m²)
- K: Flux total (m³/s)

$K_{lob}^3, K_{ch}^3, K_{rob}^3$: Débit de la rive gauche, du canal principal et de la rive droite (m³/s)
 α : Coefficient de pondération de la vitesse

III-3-2-4-Evaluation de la pente hydraulique (de frottement)

La pente de frottement est évaluée dans Hec-ras comme le produit S_f et L (équation (I-2), où S_f est la pente de frottement représentative pour un tronçon et L est défini par l'équation (I-3). La pente de frottement (pente du gradient d'énergie) en chaque section est calculée à partir de l'équation de Manning comme suit :

$$S_f^{0.5} = \frac{Q}{K} \rightarrow S_f = \left(\frac{Q}{k}\right)^2 \tag{III-5}$$

L'expression pour le calcul de la pente hydraulique moyenne S_f dans Hec-ras est l'équation du débit moyen entre deux sections de calcul :

$$S_f = \left(\frac{Q_1+Q_2}{K_1+K_2}\right)^2 \tag{III-6}$$

IV-3-2-5-Calcul du profil de la surface de l'eau

La hauteur inconnue de surface de l'eau en une section donnée est déterminée par une solution itérative des équations ($Q = \frac{(p-Ia)^2}{(p-Ia)+S}$ et $Q = \frac{(p-0.2S)^2}{(p-0.2S)}$)

$$WS_2 = WS_1 + \frac{1}{2g} (\alpha_1 V_1^2 - \alpha_2 V_2^2) + h_e \tag{III-7}$$

WS : Niveau (Profil) de la surface de l'eau (m)

Q : Débit de ruissellement en (m³/s) ;

P : Précipitation (mm) ;

S : La capacité maximale de rétention après antécédent de précipitation de 5 jours

aI : La rétention initiale des précipitations par le sol et les végétations (mm)

CNi : le "curve number" pour une surface partielle Ai

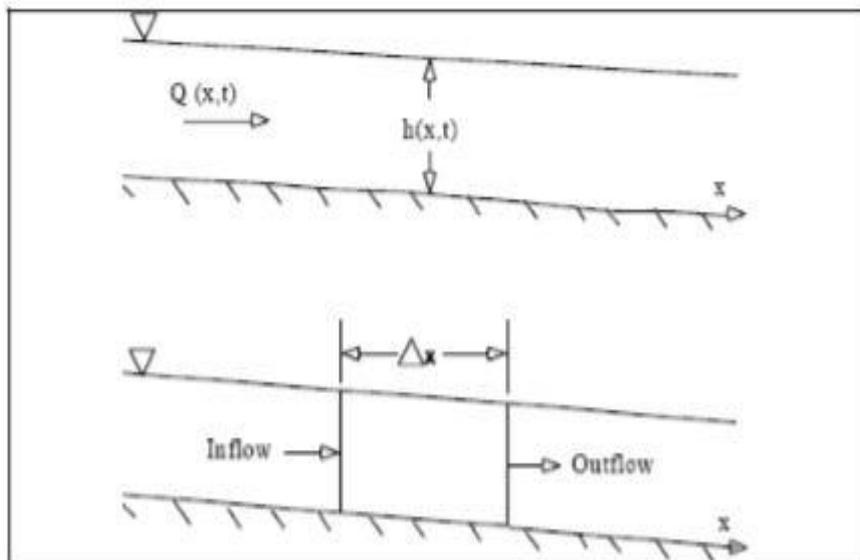
CN : valeur pesée pour l'ensemble du bassin versant

- Calcul de la propagation des crues en régime d'écoulement non permanent

Les lois physiques qui régissent l'écoulement de l'eau dans un canal sont :

- (1) le principe de la conservation de la masse (continuité),
- (2) le principe de la conservation de la quantité de mouvement.

Ces lois sont exprimées mathématiquement sous forme d'équations différentielles partielles, qui ci-après désigné sous le nom des équations de continuité et de la quantité de mouvement



III-3-2-6.
 Considéré
 X est mes

la distance
 la surface

d'écoulement sont dénotés $Q(x, t)$ et AT , respectivement. La surface totale d'écoulement est la somme de la surface active du canal et de la zone de stockage.

$$\frac{\partial AT}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0 \quad (\text{III-8})$$

Avec q_1 est l'apport latéral par unité de longueur.

III-3-2-7-Équation de la quantité de mouvement :

L'équation de la quantité de mouvement est donnée par :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial Z}{\partial x} + S_f\right) = 0 \quad (\text{IV-9})$$

III-3-2-8-Les conditions aux limites

Pour un tronçon de rivière, on a N sections formant $N-1$ sections (cellule). À partir de ces cellules $2N-2$ équations de différence finies peuvent être développées. Puisque on a $2N$ inconnus (ΔQ et Δz pour chaque section), deux équations additionnelles sont nécessaires. Ces équations sont fournies par les conditions aux limites pour chaque tronçon, dont l'écoulement fluvial, sont exigés aux extrémités amont et aval. Pour l'écoulement supercritique, les conditions aux limites sont seulement exigées à l'extrémité amont.

III-4-Application de Hec-ras pour modéliser l'écoulement dans les oueds

L'application de Hec-ras pour modéliser l'écoulement dans les oueds pour deux cas :

- 1) Avant l'aménagement c'est pour démontrer l'existence d'un débordement
- 2) Après l'aménagement pour assurer l'efficacité des canaux réalisés

Nous trouvons Les résultats de modélisation avant et après l'aménagement dans l'annexe (III-1)

IV-1-Introduction

Après l'étude hydrologique qu'est été la phase la plus importante, une autre phase aussi très importante c'est le calcul hydraulique, pour l'objectif de dimensionner les ouvrages hydrauliques. Dans notre cas c'est des canaux hydrauliques. On utilisera des formules démontrées par plusieurs savants

IV-2-Calcul hydraulique**IV-2-1-Généralité****IV-2-1-1-Ecoulement à surface libre**

Il est défini comme un écoulement du liquide avec une surface qui est en contact avec l'air libre est la pression atmosphérique.

IV-2-1- 2-Types d'écoulements

1) Variabilité dans le temps :

- Ecoulement permanent :

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

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0 \qquad \frac{\partial y}{\partial t} = 0$$

- Ecoulement non-permanent :

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

$$\frac{\partial v}{\partial t} \neq 0 \qquad \frac{\partial y}{\partial t} \neq 0$$

2-Variabilité dans l'espace :

- Régime uniforme.

L'écoulement est uniforme si pour une longueur donnée du canal, la vitesse, la profondeur, la pente et la section du canal restent constantes

$$\frac{\partial V}{\partial X} = 0 \qquad \frac{\partial Y}{\partial X} = 0$$

- Régime non uniforme.

L'écoulement est uniforme si pour une longueur donnée du canal, la vitesse, la profondeur, la pente et la section du canal ne restent pas constantes

$$\frac{\partial V}{\partial X} \neq 0 \qquad \frac{\partial y}{\partial X} \neq 0$$

3-Ecoulement Laminaire et Turbulent :

L'écoulement est dit laminaire si le nombre de Reynolds est inférieur à 500 ou 600.

$$R_e = \frac{\rho \times V \times R}{\mu}$$

Re : le nombre de Reynolds

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

S : section de l'écoulement (m²)

P : périmètre mouillé. (m)

μ : viscosité dynamique en Kg/(m².s)

V : vitesse d'écoulement m/s

ρ : masse volumique en Kg/m³

- Ecoulement Fluviale, Critique et Torrentielle

L'écoulement est fluviale si le nombre de Froude ($F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot D}}$) est inférieure a 1.

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot D}} \tag{IV-1}$$

D : Profondeur hydraulique

$$(D = \frac{S}{\sqrt{T}}) \tag{IV-2}$$

S : section de l'écoulement

T : largeur de la surface d'eau au sommet du canal.

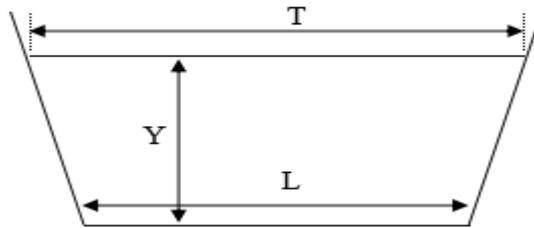


Figure- IV-1 : schéma canal à ciel ouvert l'écoulement est Critique :

explicatif d'un

Si : (F=1),

Pour un canal rectangulaire : ($D = \frac{S}{\sqrt{T}} = Y$) donc ($F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot Y}} = 1$)

D'où :

$$\frac{V^2}{\sqrt{g \cdot Y}} = \frac{Q^2}{g \cdot L \cdot Y^3} = 1 \tag{IV-3}$$

De cela :

$$Y_C = (\frac{Q^2}{L^2 \cdot 9.81})^{1/3} \tag{IV-4}$$

Avec

$$q = \frac{Q}{L} \tag{IV-5}$$

$$Y_C = (\frac{q^2}{9.81})^{1/3} \tag{IV-6}$$

V : vitesse d'écoulement (m/s) Y : tirant d'eau (m) q : débit spécifique (m³/s/m)

L : la longueur de tronçon (m)

Si : (F>1) l'écoulement est Torrentiel.

IV-2-2-Dimensionnement des canaux à ciel ouvert

IV-2-2-1-Le choix de la variante

Le choix de la variante se fait sur la base des deux chapitres précédents, la présentation de la zone d'étude et l'étude hydrologique, ce choix sera une solution efficace et Réalisable du côté technico-économique.

Les variantes possibles :

- 1er variante : Protection avec un canal rectangulaire ou trapézoïdale (à ciel ouvert) en béton armé.
- 2ème variante : Protection avec une galerie rectangulaire ou trapézoïdale.
- 3ème variante : Protection avec un canal en gabion.

IV-2-2- 2-Le dimensionnement des canaux

Avant d'entamer le dimensionnement il faut la disponibilité des données suivantes : Le débit, et le coefficient de CHEZY. On fixe la largeur et la pente pour calculer la hauteur normale.

Donc les paramètres clés sont :

La hauteur normale.

La hauteur critique.

Le régime d'écoulement

La formule de calcul principale pour un écoulement uniforme est la formule de Chézy :

$$Q = C \times S \times \sqrt{R \times i} \tag{IV-7}$$

Tel que

La vitesse moyenne du courant sous la forme suivante :

$$V = C \times \sqrt{R \times i} \tag{IV-8}$$

Avec

C : coefficient de Chézy (m^{0.5}/s).

S : section mouillée (m²).

R : Rayon hydraulique Rh=S/P (m).

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

Détermination de coefficient de Chézy

En utilisant les formules empiriques pour détermination de coefficient de Chézy

- Formule de PAVLOVSKI

$$C = \frac{1}{n} * Rh^{1/y} \tag{IV-9}$$

n : coefficient du manning.

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

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{Rh} (\sqrt{n} - 0,10) \tag{IV-10}$$

Soit d'après les égalités simplifiées :

$$y = 1,5\sqrt{n} \text{ Pour } Rh < 1m$$

$$y = 1,3\sqrt{n} \text{ Pour } Rh > 1m$$

Formule d'AGROSKINE

$$C = \frac{1}{n} * 17.72 * \log(Rh)$$

- La formule de MANING-STRICKLER

$$C = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}} = Ks * R^{\frac{1}{6}} \tag{IV-11}$$

Donc d'après MANING-STRICKLER la formule de Chessy devient :

$$V = Ks * Rh^{\frac{2}{3}} * I^{1/2} \tag{IV-12}$$

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

Ks =25 pour un lit naturel.

Ks =40 pour le cas d'embrochement ou gabionnage.

Ks =70 pour le cas du béton.

Ks =100 pour le cas du PVC ou PEHD.

IV-2-2- 3-La vitesse d'érosion

Pour éviter l'érosion des canaux donc éviter la rupture des canaux, la vitesse d'écoulement limitée par une vitesse maximale et minimale, et la vitesse d'érosion dépend de la nature de matériaux.

Tableau (IV-1) : les vitesses d'érosion limité selon la nature de la matière

Soutènements	Vitesse d'érosion (m/s)
--------------	-------------------------

Revêtement en branches	1.5-2
Pavage de pierre à une couche	2.5-4
Pavage de pierre à deux couches	3.5-5
Gabions	4-6
Revêtement en béton	6-10

IV-2-2-4-Calcul des paramètres géométrique :

- La hauteur normale h_n :

Il existe plusieurs méthodes, la plus utilisée est la méthode itérative.

Cette méthode repose sur l'utilisation des expressions de la surface mouillée (S), le rayon hydraulique (R), la pente (I) et le coefficient de STREKLER (K_s) en suit en fixe la valeur de la largeur du fond, et on varie la hauteur puit, on aura un débit Q , on obtient la valeur de h_n correcte lorsque $Q=Q_{max}$.

- L'énergie spécifique H_s

L'énergie (charge) totale pour une pente faible ($JF < 0.1$) dans une section est donnée par la formule suivante :

$$H = \frac{v^2}{2g} + h + z \quad (IV-13)$$

Dans l'équation précédente (III-11) pour définir la charge, nous apportons à une référence horizontale quelconque.

Si l'on se réfère maintenant au fond du canal, le terme z est fixé par l'implantation du canal je définis une fraction de la charge totale, appelée charge spécifique, H_s , alors :

$$H_s = \frac{v^2}{2g} + h \quad (IV-14)$$

Avec l'équation de continuité, $Q = U \cdot S$

$$H_s = \frac{Q^2}{S^2} + h \quad (IV-15)$$

La notion de la charge spécifique facilite la compréhension et aide à résoudre différents problèmes d'écoulement à surface libre.

Pour la section d'un canal donné, la surface (S) est en fonction de la profondeur d'eau (h) et l'équation (IV.14) établit une relation de la forme suivante :

$$H_s = f(Q, h)$$

Qui permettra l'étude de la variation des courbes qui suivront :

Courbe d'énergie spécifique : h avec H_s , pour un débit donné $Q = Cte$;

Courbe de débit : h avec Q , pour une énergie constante.

- le choix de la section de meilleure conductivité

C'est la section qui transport un débit max avec une petite section dans ce projet on travaillera avec la section trapézoïdale tel que

$$Rh = \frac{S}{p} \quad (IV-16)$$

$$S = h * (b + m * h) \quad (IV-17)$$

$$P = b + 2 * \sqrt{1 + m^2} \quad (IV-18)$$

Avec :

m : le fruit des talus, $m=0$, dans la section la plus avantageuse ;

h : le tirant d'eau maximum (pour Q_{max}), en m ;

b : la largeur du canal, en m .

- La profondeur critique h_c
 Les méthodes de calcul sont plusieurs on distingue :
 1) La méthode graphique

La méthode graphique est basée sur le graphe de l'énergie en fonction de h , et puisque la valeur de h_{cr} est la valeur qui correspond à une énergie cinétique plus énergie potentielle minimale.

Donc, on construit le graphe $H_s = f(h)$, sachant que $H_s = E_p + E_c$

E_p : Energie potentielle égale à h ;

E_c : Energie cinétique égale à $\frac{v^2}{2g}$

- 2) La méthode d'AGROSKINE

Cette méthode est basée sur la formule suivante :

$$1 = \frac{\alpha * Q^2 * B}{g * S_{cr}} \tag{IV-19}$$

B : largeur du plan d'eau en surface ;

g : l'accélération de pesanteur prise égale 9.81

- La pente critique I_{cr}

La pente critique correspond à la profondeur critique, elle est donnée par la formule suivante :

$$Q = C * S_{sr} * \sqrt{R_{cr} * I_{cr}} \tag{IV-20}$$

Donc

$$I_{cr} = \frac{Q^2}{C^2 * S_{cr}^2 * R_h} \tag{IV-21}$$

IV-2-2--5-Calcul hydraulique des canaux projetés :

Dans ce projet j'appliquerai trois variant différents

- 1- Des canaux en béton
- 2- Des canaux en gabions
- 3- Des canaux mixtes

Et après les critères Eco technique (efficacité hydraulique, durabilité, Le coût....)
 Je fais le choix le plus adapté pour la zone.

IV-3-Les paramètres critiques et normaux des écoulements dans les canaux

IV-3-1-Les paramètres critiques :

Oued du bassin N 1 :

Tableau (IV-2) : les paramètres critiques du canal du bassin N 1 :

h_c	m	$S_c(m^2)$	$P_c(m)$	$R_c(m)$	K_s	$i_c(m/m)$
2.7	1	32.31532	15.63675	2.066626	75	0.00295

Oued du bassin N 2 :

Tableau (IV-3) : les paramètres critiques du canal du bassin N 2 :

h_c	m	$s_c(m^2)$	$P_c(m)$	$R_c(m)$	K_s	$i_c(m/m)$
2.5	1	23.668	14.505	1.632	75	0.00329

Oued du bassin N 3 :

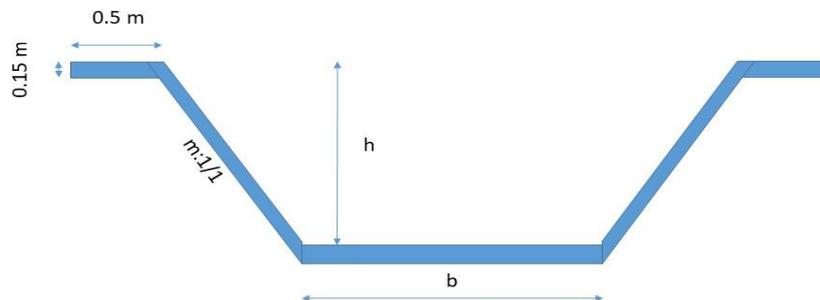
Tableau (IV-4) : les paramètres critiques du canal du bassin N 3 :

hc	m	sc(m ²)	Pc(m)	Rc(m)	Ks	ic(m/m)
2.5	1	14.5	11.374012	1.3	75	0.0034

Sc : section mouillé critique
 Pc : périmètre mouillé critique
 Rc : rayon hydraulique critique
 Ks : coefficient strickler
 Ic : pente critique

IV-3-2-Les paramètres normaux :

IV-3-2-1-Cas du béton :



M: les talus
 h: hauteur maximale
 b: base

Figure (IV-2) : schéma explicatif d'un canal trapézoïdal en béton

Oued du bassin N 1 :

Tableau (IV-5) : les paramètres normaux du canal du bassin N1 en béton :

TR	b(m)	h(m)	m	S(m ²)	P(m)	R(m)	Ks	I(m/m)	Q'(m ³ /h)	V(m/s)	Froude	type d'écoulement
1	9	2.4	1	27.36	15.788	1.733	75	0.0067	242.328	8.857	1.452	torrentiel
2	9	2.2	1	24.64	15.223	1.619	75	0.0091	243.029	9.863	1.626	torrentiel
3	9	2.3	1	25.99	15.505	1.676	75	0.0077	241.358	9.287	1.533	torrentiel
4	9	2	1	22	14.657	1.501	75	0.013	246.629	11.210	1.908	torrentiel

Le cout de cette partie :

Tableau (IV-6) : le coût du canal en béton de bassin N 1 :

	Unité	quantité	prix/unité(DA)	prix(DA)
remblai	M3	100.5368	200	20107.36
Déblai	M3	6919.85	250	1729963
Béton ordinaire	M3	636.2193	7000	4453535
			prix totale	6203605

Oued du bassin N 2 :

Tableau (IV-7) : les paramètres normaux du canal en béton du bassin N 2 :

TR	b(m)	h(m)	m	S(m ²)	P(m)	R(m)	Ks	l(m/m)	L(m)	Q'(m ³ /s)	V(m/s)	Froude	type d'écoulement
1	7	2.5	1	23.75	14.017	1.688	75	0.0063	96.31	200.425	8.440	1.470	Torrentiel
2	7	2	1	18	12.657	1.422	75	0.0079	121.51	151.744	8.430	1.509	torrentiel
3	7	2	1	18	12.657	1.422	75	0.0085	141.75	157.401	8.745	1.565	torrentiel
4	7	2.5	1	23.75	14.017	1.688	75	0.004	199.78	159.703	6.72	1.135	torrentiel
5	7	2.5	1	23.75	14.017	1.688	75	0.0053	182.13	183.832	7.74	1.284	torrentiel

Le coût de cette partie :

Tableau (IV-8) : le cout du canal en béton de bassin N 2 :

	unité	quantité	prix/unité(DA)	prix(DA)
remblai	M3	196.4536	200	39290.72
Déblai	M3	5508.785	250	1377196
Béton ordinaire	M3	1326.835	7000	9287845
			prix totale	10704332

Oued du bassin N 3 :

Tableau (IV-9) : les paramètres normaux du canal en béton du bassin N 3 :

TR	b(m)	h(m)	m	S(m ²)	P(m)	R	Ks	l(m/m)	Q'(m ³ /s)	V(m/s)	FROUDE	type d'écoulement
1	5	2	1	14	10.657	1.314	75	0.004	79.65603	5.689716	1.098	torrentiel
2	5	2	1	14	10.657	1.314	75	0.0034	73.43923	5.245659	1.0369	torrentiel
3	5	2.4	1	17.76	11.788	1.507	75	0.0017	72.17582	4.063954	0.7855	fluvial
4	5	2	1	14	10.657	1.314	75	0.0047	86.34507	6.167505	1.148	torrentiel
5	5	1.8	1	12.24	10.091	1.213	75	0.0079	92.80033	7.581726	1.425	torrentiel

Le cout de cette partie :

Tableau (IV-10) : le coût du canal en béton de bassin N 3 :

	unité	Quantité	prix/unité(DA)	prix(DA)
Remblai	M3	2414.663	200	482932.6
Déblai	M3	816.3736	250	204093.4
Béton ordinaire	M3	824.8501	7000	673385.8
			prix totale	1360412

IV-3-2-2) Cas du gabion :

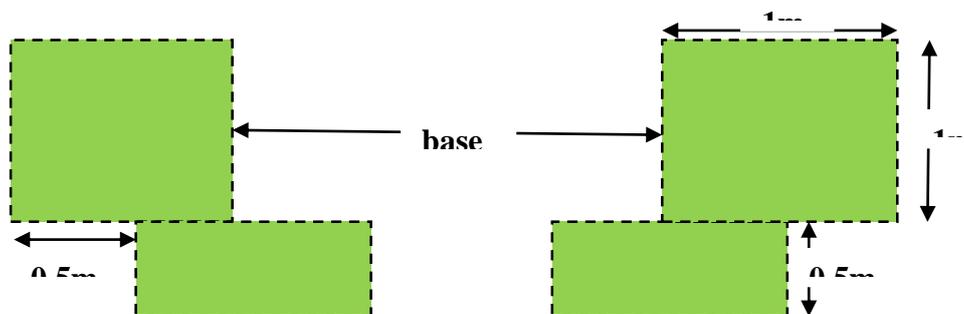


Figure III-3 : schéma explicatif d'un canal en gabion

Paramètres hydrauliques pour une section en gabion :

La section :

$$S = \frac{1}{2}k(k - 1) + bK \quad \text{(III-20)}$$

Le périmètre mouillé :

$$R = b + 3k - 1 \quad \text{(III-21)}$$

Avec :

K : nombre d'étages.

b : base du canal (m)

le dimensionnement avec le gabion

Oued du bassin N 1 :

Tableau (IV-11) : les paramètres normaux du canal en gabion du bassin N 1 :

TR	b(m)	h(m)	m	S(m ²)	P(m)	R(m)	Ks	l(m/m)	Q'(m ³ /s)	V(m/s)	Froude	type d'écoulement
1	16	2	1	33	21	1.571	40	0.02	230.566	6.987	1.737	torrentiel
2	16	2	1	33	21	1.571	40	0.02	246.578	7.472	1.857	torrentiel
3	16	2	1	33	21	1.571	40	0.02	237.369	7.193	1.788	torrentiel
4	16	2	1	33	21	1.571	40	0.02	276.403	8.376	2.082	torrentiel

Le coût de cette partie :

Tableau (IV-12) : le cout du canal en gabion de bassin N 1 :

	Unité	quantité	prix/unité(DA)	prix(DA)
remblai	M3		200	
Déblai	M3	11995.86	250	2998965
gabion	M3	1946.405	4000	7785621.36
			prix totale	10784586.4

Oued du bassin N 2 :

Tableau (IV-13) : les paramètres normaux du canal en gabion du bassin N 2

TR	b(m)	h(m)	m	S(m ²)	P(m)	R(m)	Ks	l(m/m)	Q'(m ³)	V(m/s)	Froude	type d'écoulement
1	16	2	1	33	21	1.571	45	0	134.647	4.080	0.539	fluvial
2	16	2	1	33	21	1.571	45	0	155.217	4.704	0.622	fluvial
3	16	2	1	33	21	1.571	45	0	166.125	5.034	0.665	fluvial
4	16	2	1	33	21	1.571	45	0	173.828	5.268	0.696	fluvial
5	16	2	1	33	21	1.571	45	0	141.447	4.286	0.567	fluvial

Le cout de cette partie

Tableau (IV-14) : le cout du canal en gabion de bassin N 2 :

	Unité	quantité	prix/unité(DA)	prix(DA)
remblai	M3		200	
Déblai	M3	15839.23	250	3959807.5
gabion	M3	2929.547	4000	11718188.1
			prix totale	15677995.6

Oued du bassin N 3 :

Tableau (IV-15) : les paramètres normaux du canal en gabion du bassin N 3 :

TR	B(m)	H(m)	m	S(m ²)	P(m)	R(m)	Ks	l(m/m)	Q'(m ³ /s)	V(m/s)	FROUDE	type d'écoulement
1	10	2	1	21	15	1.4	45	0.0039	73.855	3.517	0.917	fluvial
2	10	2	1	24	15	1.6	45	0.0041	94.601	3.942	0.961	fluvial
3	10	2	1	24	15	1.6	45	0.0039	92.265	3.844	0.937	fluvial
4	10	2	1	24	15	1.6	45	0.0048	102.359	4.265	1.040	torrentiel
5	10	2	1	24	15	1.6	45	0.004	93.440	3.893	0.949	fluvial

Le cout de cette partie

Tableau (IV-16) : le coût du canal en gabion de bassin N 3 :

	unité	quantité	prix/unité(DA)	prix(DA)
Remblai	M3	1070.913	200	214182.6
Déblai	M3	2126.15	250	531537.5
Cabion	M3	472.227028	4000	8504600
			prix totale	9250320

IV-3-2-3-Cas des canaux aménagés avec plusieurs matériaux (béton et gabion)

L'oued de 1^{er} et 2^{ème} bassin est aménagé par un canal en béton

Oued du bassin N 3 :

Tableau (IV-17) : les paramètres normaux du canal mixte du bassin N 3 :

TR	b(m)	h(m)	m	S(m ²)	P(m)	Ks	R(m)	l(m/m)	Q'(m ³ /s)	V(m/s)	F	type d'écoulement
1	9	1.5	1	20	13	45	1.538	0.0051	85.655	4.283	1.095	torrentiel
2	9	1.5	1	20	13	45	1.538	0.005	84.811	4.241	1.049	torrentiel
3	9	1.5	1	20	13	45	1.538	0.0075	103.872	5.194	1.284	torrentiel
4	8	2	1	20	13.657	75	1.464	0.003	105.950	5.298	1.310	torrentiel
5	8	2	1	20	13.657	75	1.464	0.0025	96.720	4.836	1.196	torrentiel
6	8	2.2	1	22.44	14.222	75	1.578	0.001169	77.988	3.475	0.825	fluvial

Le coût de cette partie :

Tableau (IV-18) : le coût du canal mixte de bassin N 3

	unité	quantité	prix/unité(DA)	prix(DA)
Remblai	M3	1281.367	200	256273.4
Déblai	M3	1621.127	250	405281.8
Béton	M3	425.1813	7000	11347889
Gabion	M4	1015.492	4000	1700725
			prix totale	13710169

IV-5-Conclusion

Après les calculs hydrauliques et les critères de choix : Le coût, La durabilité et le côté technique, J'ai choisi pour chaque oued la variant suivant :

L'oued de 1^{er} bassin : canal en béton ordinaire non armé

L'oued de 2^{ème} bassin : canal en béton ordinaire non armé

L'oued de 3^{ème} bassin : canal mixte (béton ordinaire non armé et gabion)

Et le coût total estimé pour le projet égale :

6203605+10704332+13710169=30618106 DA

V-1-Introduction :

Les problèmes et les accidents du travail qui en découlent ont une grande incidence sur le plan financier, sur le plan de la protection et surtout sur le plan humain.

C'est une raison pour laquelle un certain nombre de dispositions doivent être prises afin de permettre aux travailleurs d'exercer leur profession dans les bonnes conditions.

C'est quoi un accident de travail ?

Selon le code social (article L411-1) l'accident de travail est celui survenu par le fait ou à l'occasion du travail. Il peut concerner toute personne salariée ou travaillant à quelque titre ou en quelque lieu que ce soit pour un ou plusieurs employeurs ou chefs d'entreprise.

On distingue :

- Accident du travail avec arrêt.
- Accident du travail avec incapacité permanente.

L'accident de travail se distingue de la maladie professionnelle dont l'apparition est progressive par son caractère soudain tel que on dit une maladie professionnelle si elle est la conséquence directe de l'exposition d'un travailleur à un risque physique chimique biologique ou résulte des conditions dans lesquelles il exerce son activité professionnelle. Alors le dommage subi par le salarié doit être apparu de façon subite : chute, blessure avec un outil, intoxication, lésions cervicales, etc. la lésion peut être d'ordre physique (hernie, lumbago, fracture...) mais aussi psychologique (état dépressif, stress...).

Pour suivre l'évolution des accidents du travail et des maladies professionnelles et pouvoir situer par rapport aux autres entreprises en particulier celles de secteur d'activité pour cela il est nécessaire de définir des indicateurs statistiques de l'entreprise concerné alors ses indicateurs sont :

- Taux de fréquence des accidents avec arrêt :

$$TF = \frac{Nb \text{ d'AT avec arrêts} * 1.000.000}{Nb \text{ d'heures travaillées}} \quad (V-1)$$

- Taux de Gravité :

$$TG = \frac{Nb \text{ journées indemnisées} * 1000}{Nb \text{ d'heures travaillées}} \quad (V-2)$$

- Indice de fréquence des accidents avec IP :

$$IFG = \frac{\text{somme des taux} * 1000}{Nb \text{ de salariés}} \quad (V-3)$$

- Indice de gravité des accidents avec IP :

$$IGG = \frac{\text{somme des taux d'I.P.*1000}}{\text{Nb de salariés}} \quad (\text{V-4})$$

Dans le domaine d'assainissement les causes des accidents de travail et les maladies professionnelles les plus fréquentes sont liées aux :

- Manutentions et lavage de charges parfois trop lourdes ;
- Aux risques routiers lors d'interventions sur la chaussée
- Aux interventions isolées ou en équipes réduites ;
- Aux chantiers en atmosphères confinées explosibles ou non avec une exposition possible à des produits chimiques dangereux
- Aux contacts avec des substances et déchets présentant des risques biologiques
- Aux risques de noyades en station d'épuration ou en réseau d'assainissement.
- Aux risques électriques

Ces causes sont la somme de différents éléments ou facteurs classés en deux catégories distinctes :

- Facteur matériel.
- Facteur humain.

V-2-Le système algérien de prévention des risques professionnels :

V-2-1- Acteurs de la prévention au niveau national :

En Algérie, la prévention des risques professionnels est placée sous la responsabilité du Ministre chargé du Travail de l'emploi et de la Sécurité sociale et du Ministre de la santé.

L'objectif à atteindre dans lequel s'inscrit l'action de l'I.N.P.R.P sera bien entendu la poursuite des efforts pour l'amélioration et l'optimisation des conditions de travail dans toutes les professions au niveau des entreprises publiques et privées dans l'industrie et service.



V-2-2-1-Ergonomie :

Figure (1-V) : organisation du système national de prévention des risques

V-2-2- Ergonomie et poste de travail**V-2-2-1- Ergonomie**

C'est une discipline scientifique qui s'occupe de la compréhension des interactions entre les hommes et les autres éléments d'un système c'est aussi une profession qui applique les théories les principes ,les données et les méthodes pour concevoir dans le but d'optimiser le bien être des hommes et performance du système dans son ensemble les ergonomies contribuent à la conception et à l'évolution des tâches ,des produits , des conditions de travail et des systèmes pour les rendre compatibles avec les besoins , les capacités, les possibilités et les limites des êtres humains et aussi est une discipline orientée vers les systèmes qui s'étend travers tous les aspects de l'activité humaines .

V-2-2-2-Poste de travail :

En organisation du travail un poste de travail est le lieu dans lequel une personne dispose des ressources matérielles lui permettant d'effectuer son travail. Dans un contexte informatique. Ce terme correspond à l'ensemble des moyens techniques mis à la disposition d'un utilisateur (écran : clavier. Imprimante...). Et par extension l'interface du système d'exploitation.

V-2-3-Les ambiances de poste de travail :

- Bruit qui présente dans tous les secteurs professionnels.
- Ventilation naturel, mécanique et recyclage de l'air pour notre domaine d'assainissement
- Vibration y'a deux types d'exposition : vibration transmises à l'ensemble du corps et vibration transmises aux systèmes main bras
- Ambiance thermique trop froide au trop chaude
- Eclairage peuvent présentent un inconfort pour le salarié
- Sanitaires.
- Locaux de restauration.
- Sécurité incendie.
- Ambiance ; particulières.
- Conflits d'intérêts...

V-3-Prévention sur les chantiers de terrassement :**V-3-1-Evaluation des risques :**

Avant tout projet, le chef d'entreprise commence par réaliser un états des lieux initial qui va guider l'ensemble de la réalisation du projet, il s'agit d'un préalable indispensable il en va de même en matière de prévention des risque professionnel l'identification des situations de travail existant dans l'entreprise , leur regroupement au sein d'unités de travail cohérentes puis l'évaluation de l'exposition de ces groupes a différents facteur de risque constituent les étapes impératives pour satisfaire à l'obligation d'évaluation des risque alors les risque évaluer sur chantier de terrassement :

- En terrain très accidenté, les engins risquent de se renverser.
- Travaux à proximité de la canalisation de gaz y'a le risque d'exposition.
- Travaux sous circulation y'a le risque d'heure par véhicule

- Tronçonnage de matériaux y'a le risque de coupure et blessure
- Réglage d'enrobé y'a des risques de brulure.
- Pose de bordure notamment l'utilisation d'outillage de forte vibration
- Raccordement sur canalisation amiante-ciment présente plusieurs risques : ensevelissement, heurt, écrasement, chute de hauteur et inhalation de poussière d'amiante qui cause développement de cancer
- Lavage de blindage le danger c'est que y'a une présence d'une charge en cours de lavage alors y'a heurté par retombée de cette charge.
- Déplacement sur chantier y'a de risque de chute de plain-pied dans le terrain encombré
- Dans les fouilles de tranchées, même de faible profondeur, les risques d'éboulement peuvent provoquer l'effondrement de l'engin au bas du talus.
 - Le danger de collision avec d'autres engins de chantier dans la même zone de travail est possible.

V-3-2-Protection collective :

V-3-2-1-Ergonomie de l'engin :

- Sécurisation de l'accès et de la cabine : marchepied antidérapant et échelle d'accès complétée par des poignées ou des mains courantes.
 - Cabine insonorisée et climatisée.
 - Poste de conduite ergonomique avec siège adapté.
 - Entretien régulier de l'engin : les engins de terrassement doivent faire l'objet de vérifications annuelles consignées sur le registre de sécurité.

V-3-2-2-Sécurité du chantier :

- Entretien des pistes de circulation
- Signalisation temporaire et balisage du chantier
- Plan de circulation du chantier (engins, véhicules légers, piétons) : définition des zones d'évolution nécessaires à l'utilisation en sécurité de l'engin, règles de priorités vitesses autorisées, limitation des charges.
 - Consignes de sécurité propres au chantier précisées aux conducteurs : cas particuliers des travaux réalisés à proximité d'une ligne électrique ou à proximité de réseaux enterrés : délimitation matérielle de la zone de sécurité par une signalisation appropriée ou l'installation de gabarits de protection.

V-3-2-3-Réglementations routières :

- Les engins doivent être acheminés sur le chantier à l'aide de porte-engins. Sur la remorque l'engin doit être immobilisé par des cales et arrimés par des câbles, et les équipements (godets ou lames) doivent être abaissés. Tout déplacement exige une reconnaissance préalable de l'itinéraire à suivre afin de s'assurer qu'aucun obstacle n'entravera le passage du porte-engin et de son chargement.
 - Court déplacement sur route : Les chargeuses-pelleteuses peuvent circuler sur la route à condition de respecter les règles générales de circulation définies par le code de la route, de

circuler à vitesse lente (moins de 25 km/h) et d'allumer les gyrophares. Il convient alors de vérifier que les verrous d'immobilisation des équipements sont bien en place.

V-3-3-Protection individuelle :

- La conduite d'engins de chantier soumet les conducteurs à des vibrations qui, à la longue, peuvent provoquer des problèmes de dos. La récente réglementation impose de limiter l'exposition des travailleurs à ce type de vibrations. Des mesures de prévention peuvent permettre d'éviter des lombalgies qui sont reconnues comme maladies professionnelles. Afin de limiter leur apparition, de nombreuses mesures de prévention peuvent être mise en place : réduction des amplitudes vibratoires, choix du matériel et amélioration des conditions d'utilisation, port d'une ceinture de maintien lombaire.

- Le gilet de signalisation à haute visibilité de classe II fait partie des équipements de protection individuelle et doit être porté en permanence si le personnel travaille à proximité de la circulation routière.

- Gants de manutention pour les opérations de changement d'équipement.

- Casque de chantier de protection de la tête.

- Protection auditive.

- Chaussures ou bottes de sécurité.

- Lunettes de sécurité.

CONCLUSION GENERALE

La protection des zones contre les inondations est une nécessité indispensable afin de réduire les dégâts humains, matériels et économiques.

Pour cette raison nous avons fait une étude répartie sur plusieurs points pour l'objectif d'aménager les oueds qui traversent le nord de Boufarik nous distinguons :

- L'étude hydrologique pour déterminer le temps de concentration et les débits max à chaque sous bassin
- L'étude hydraulique pour déterminer la variante à choisir, les dimensions des canaux à ciel ouvert, le type d'écoulement et le régime
- La modélisation d'écoulement dans les oueds et les canaux pour vérifier les résultats précédant

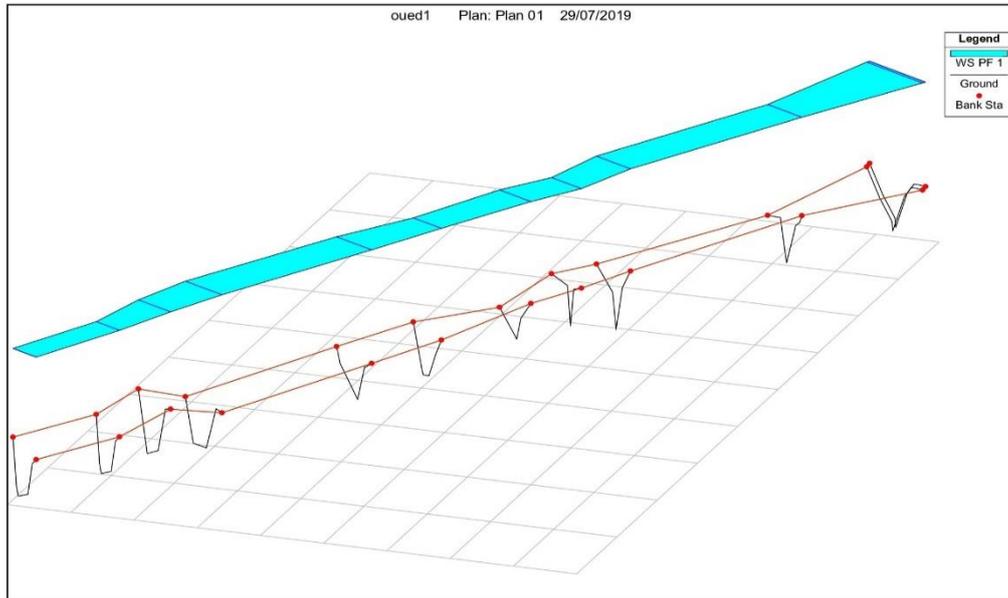
La simulation numérique ou la modélisation d'écoulement effectuée à l'aide du logiciel HEC-RAS a montré une génération des inondations qui s'étendent sur une surface très importante suite à une crue centennale, cela est resté indifférent pour mesurer l'ampleur du risque encouru.

Bien entendu, en se basant sur les différents résultats de simulation ainsi que des visites sur terrain, nous avons proposé des canaux trapézoïdaux en béton armé et en gabion pour aménager les trois tronçons cités précédemment. Sans prendre en considération les apports solides, parce que leur mécanisme et leurs quantités, ne jouent pas un rôle prépondérant dans l'équilibre dynamique du cours d'eau. Une fois les trois tronçons dimensionnés, un autre scénario de simulation s'est fait pour élucider le comportement de la crue et s'assurer du bon fonctionnement de l'ouvrage portant l'aménagement des cours d'eau traversant nord de Boufarik.

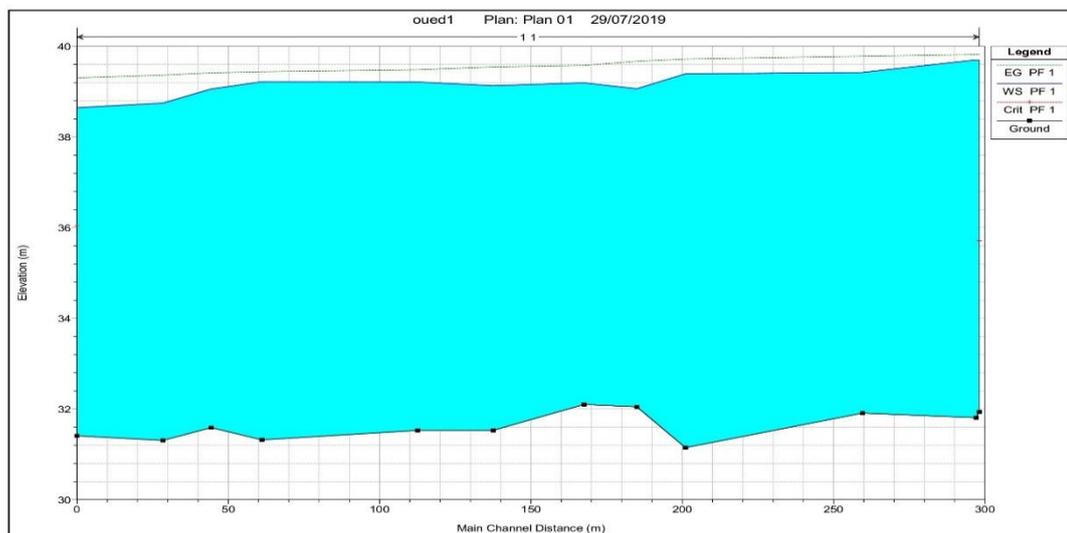
Références bibliographiques

- [1] **ROCHE. M**, Hydrologie de surface. Edition (1963), Paris.
- [2] **Armando LENCASTRE**, Hydraulique Générale, 2eme édition, éditions EYROLLES, 1996.
- [3] **TOUAIBIA. B**, Manuel pratique d'hydrologie. Presses Madani Frères.(2004) Blida, Algérie.
- [4] **Mr FETHALLAH KHALED et Mr REMITA MOHAMED TAHAR**, étude d'aménagement de l'oued de Boukali commune el-abadia (w) d'ain Defla. (2015/2016), Bejaïa
- [5] **U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS**, HEC-RAS river analysis system, Hydraulic reference manual, USA, 441pages, version 5.01, Avril 2016.

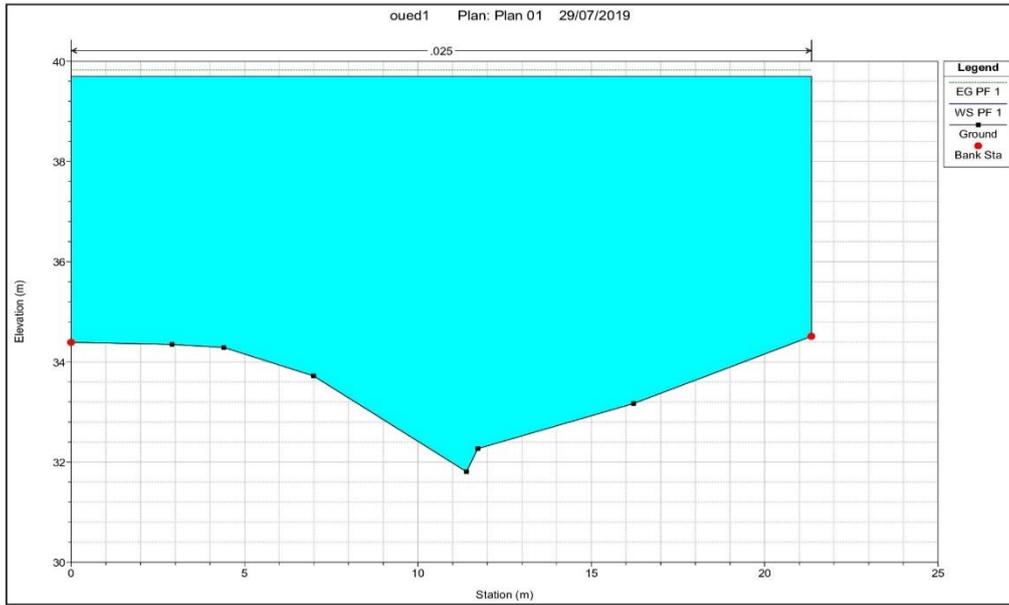
Annexe(III-1) : les résultats de la simulation d'écoulement pour chaque oued avec Hec-ras
Oued de bassin N1



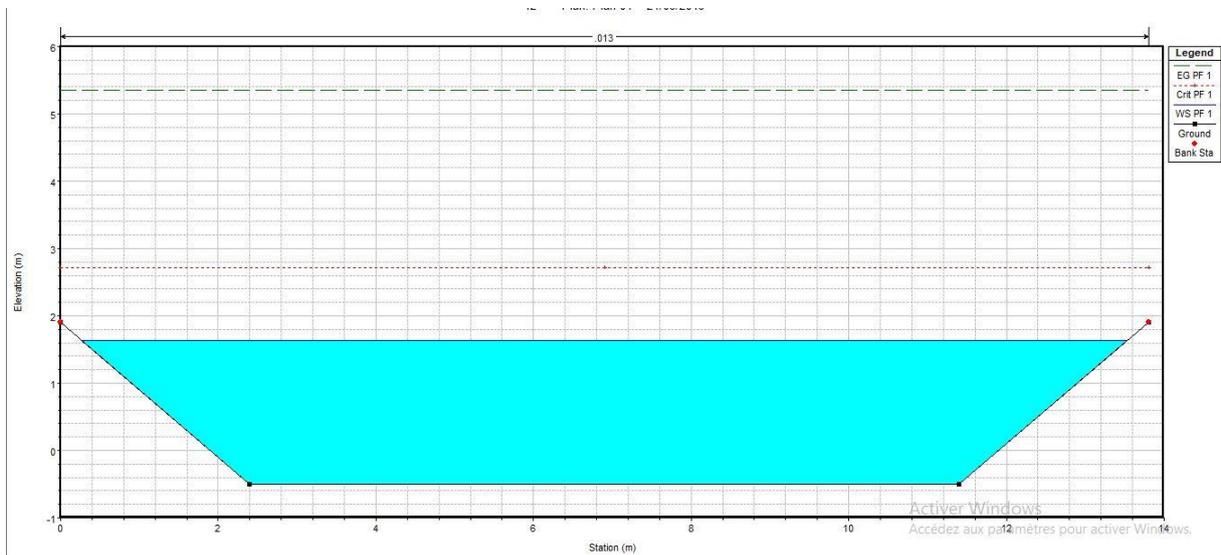
L'oued de bassin N1 en 3D avant l'aménagement



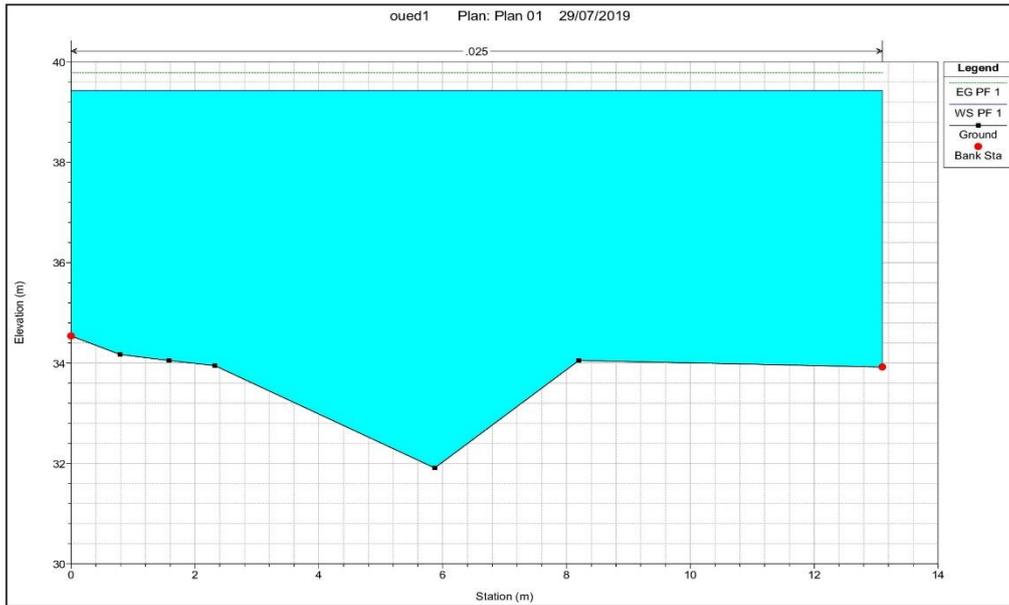
Profil en long de l'oued N1 avant l'aménagement
Section N 1
Avant l'aménagement



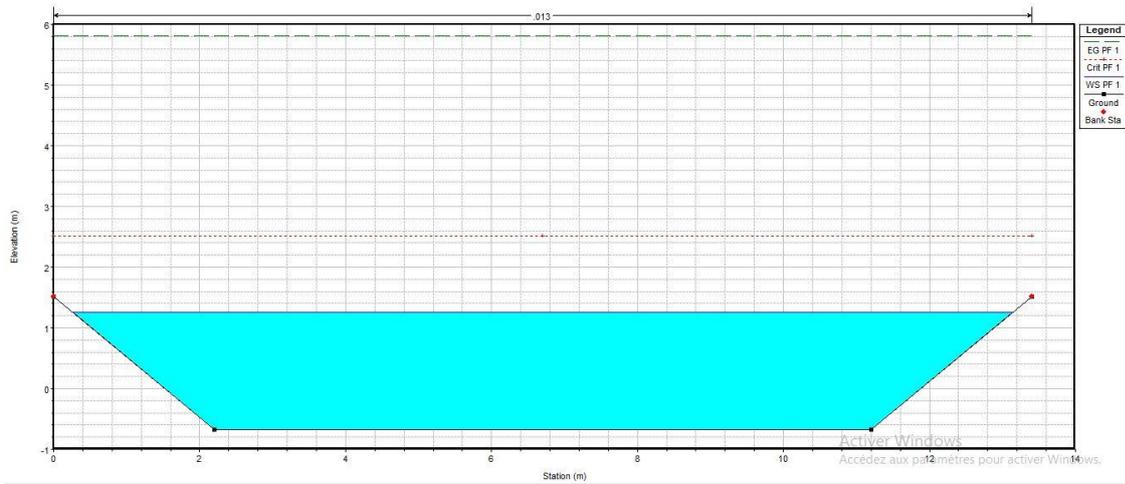
Après l'aménagement



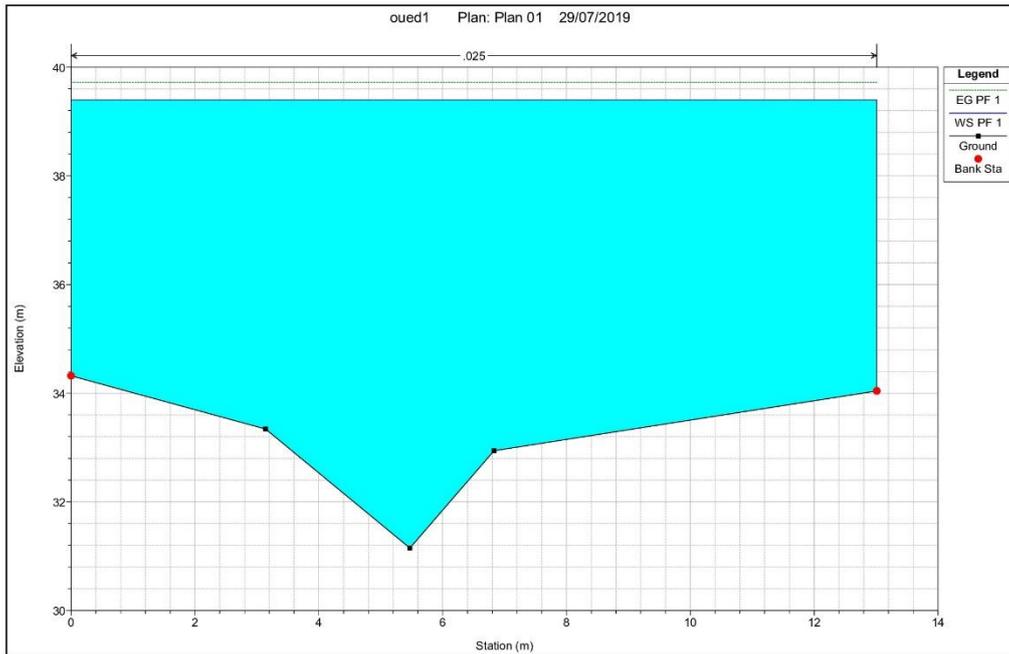
Section N 2
Avant l'aménagement



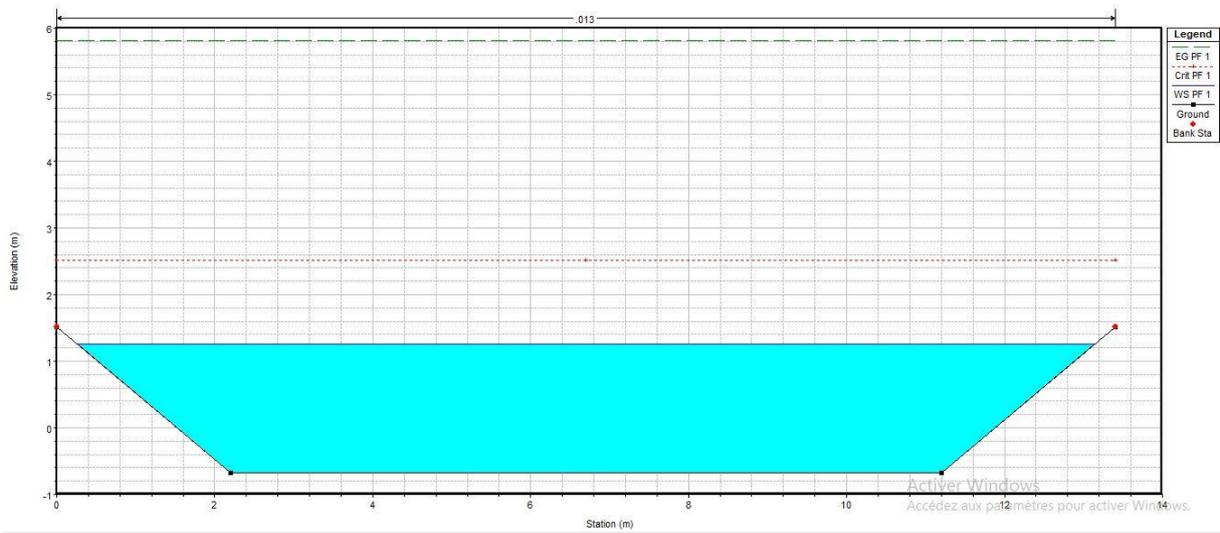
Après l'aménagement



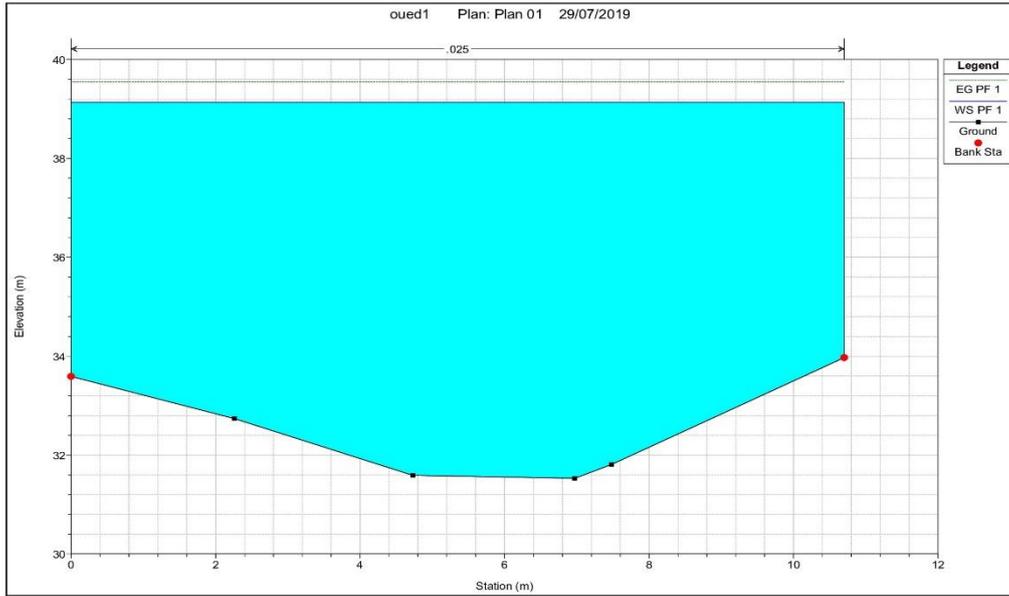
Section N 3
Avant l'aménagement



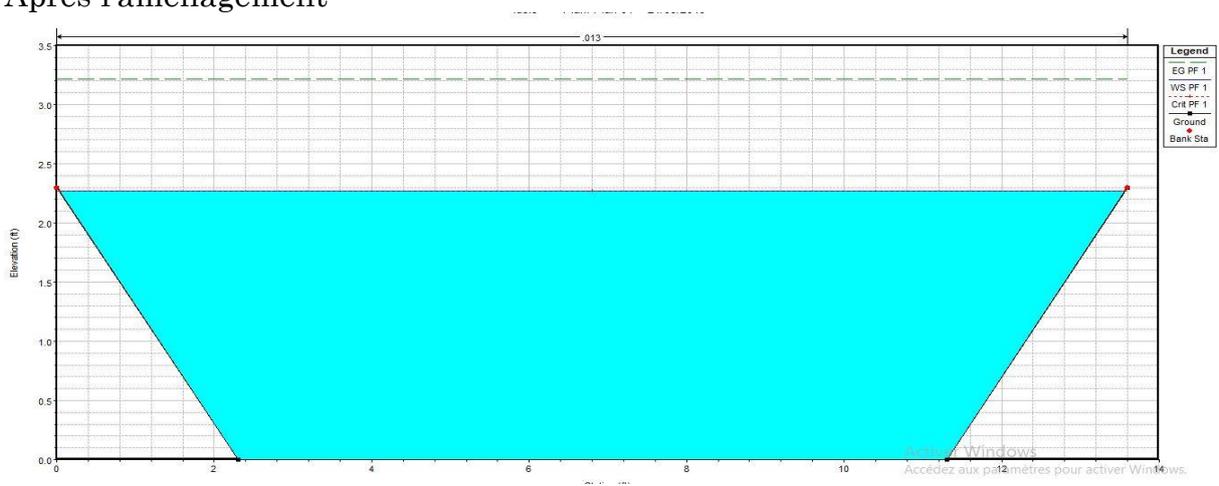
Après l'aménagement



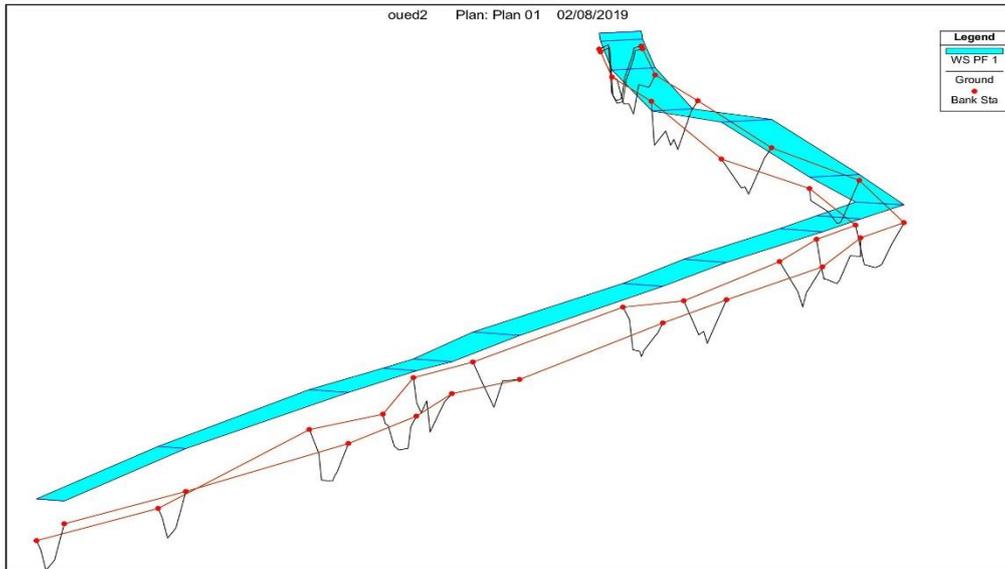
Section N 6
Avant l'aménagement



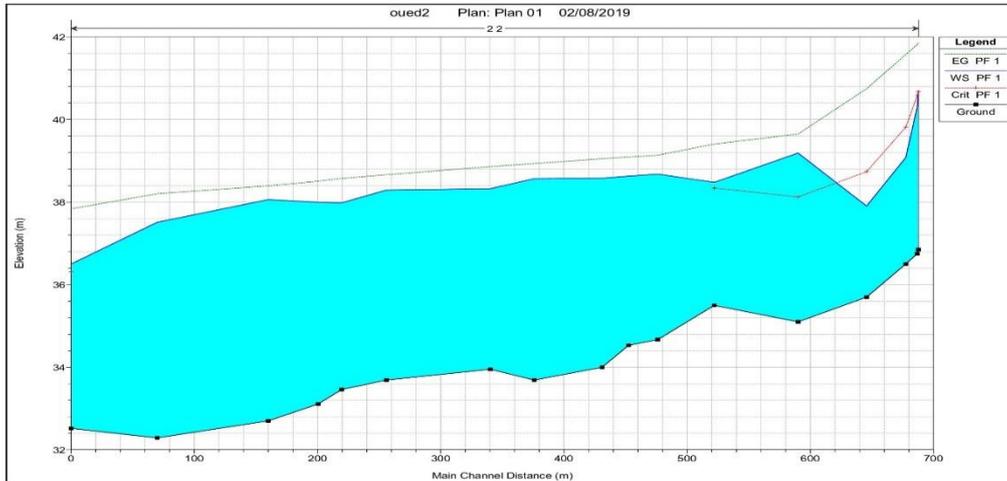
Après l'aménagement



Oued de bassin N2 :

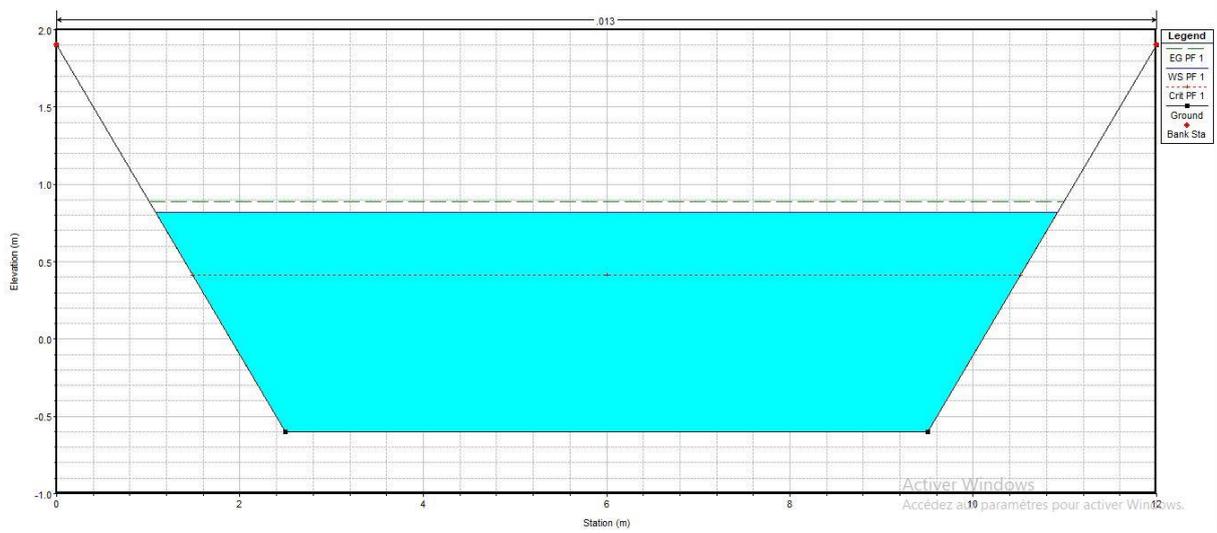
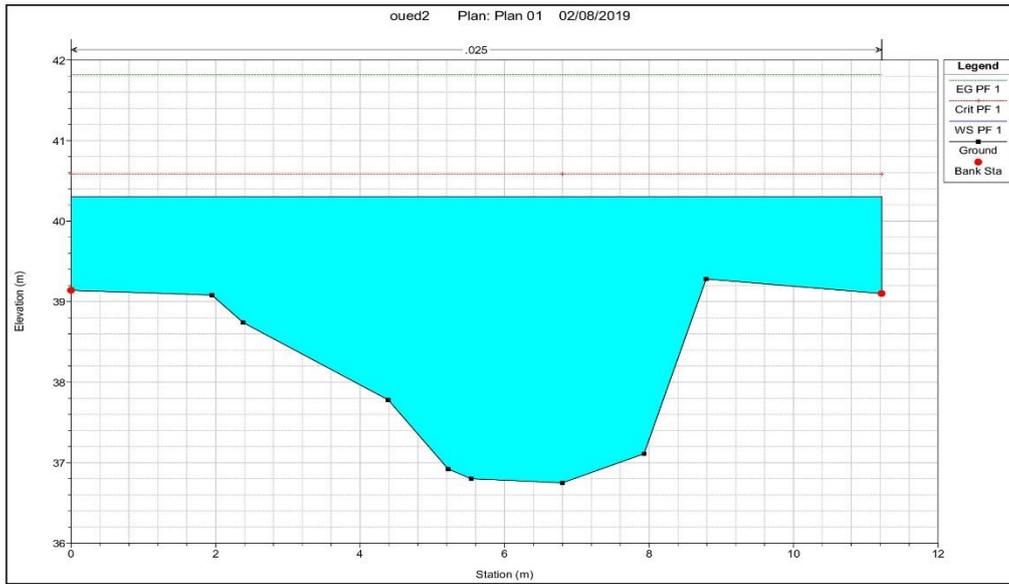


L'oued de bassin N2 en 3D avant l'aménagement

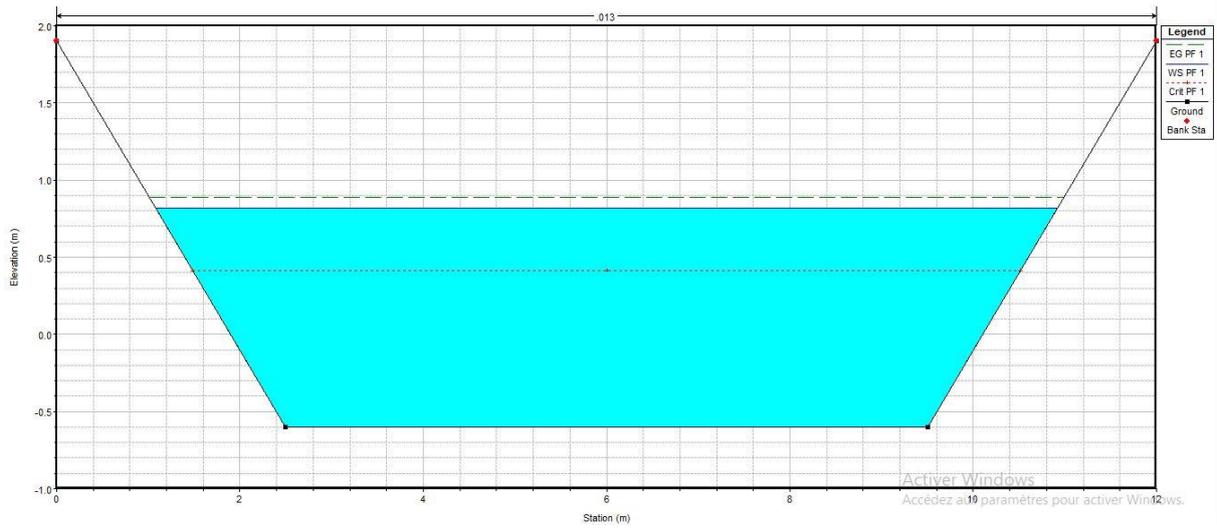
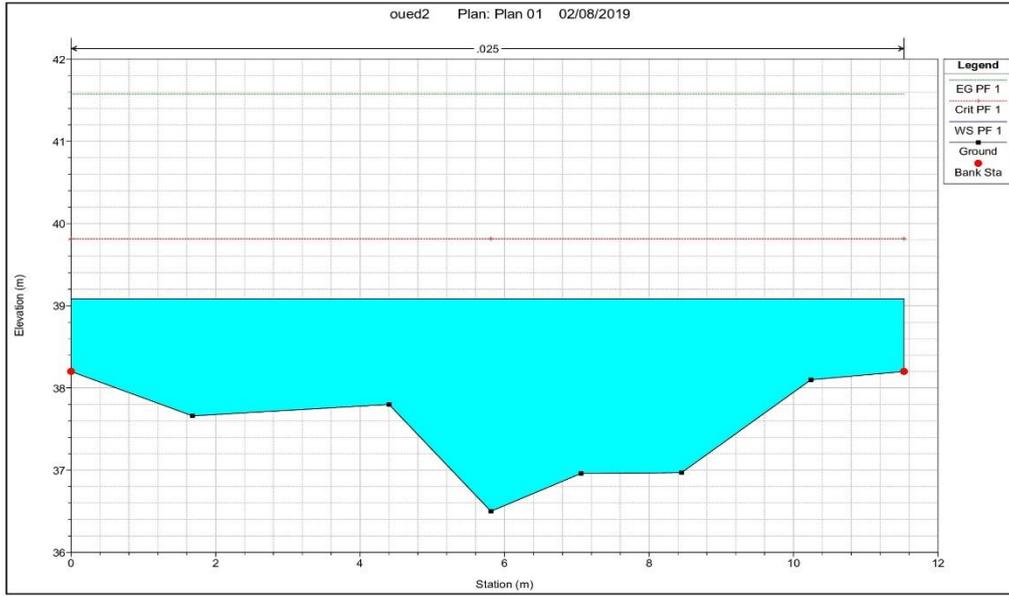


Profil en long de l'oued N2 avant l'aménagement

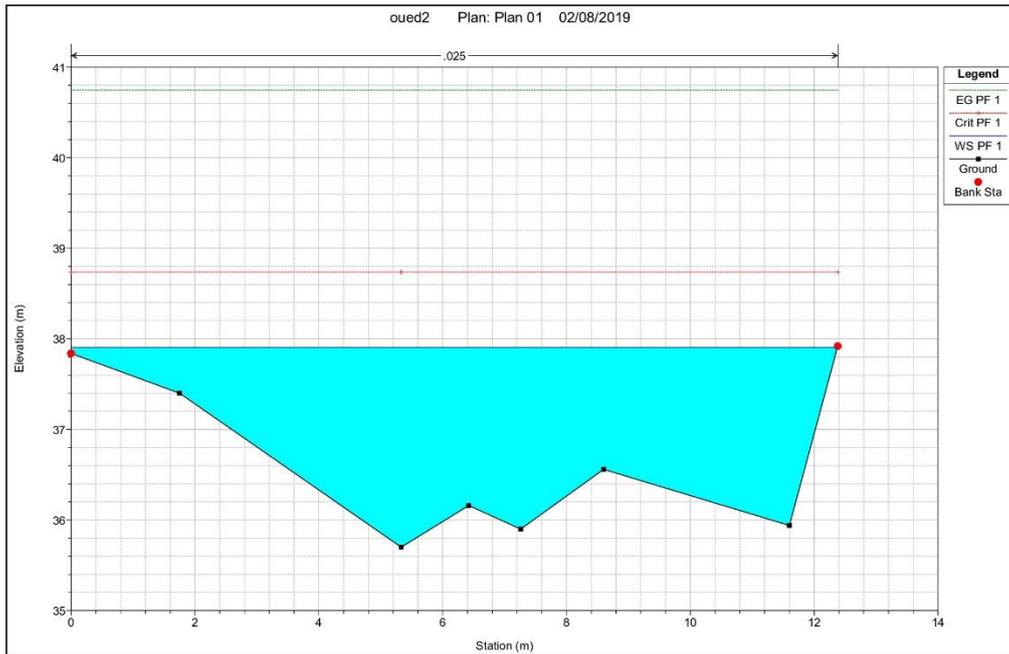
Section N 1



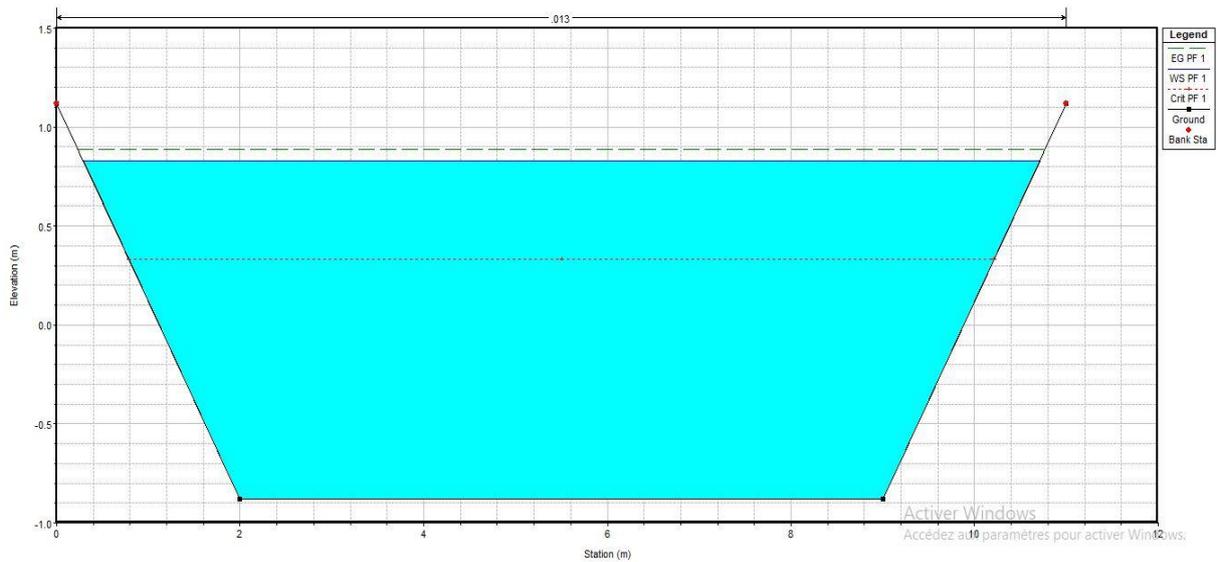
Section N 2



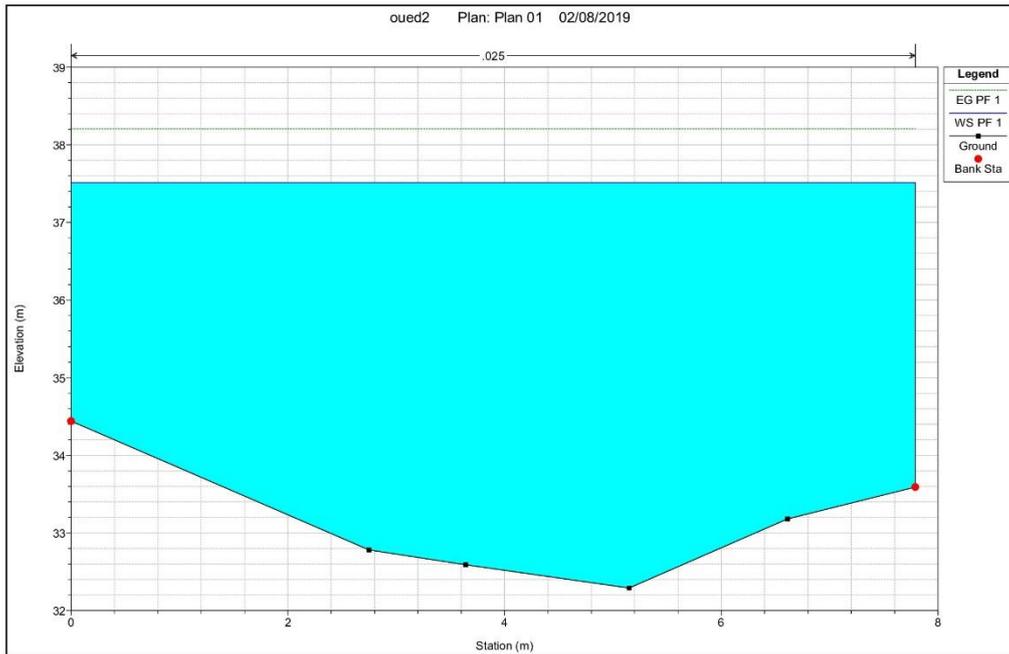
Section N 3
Avant l'aménagement



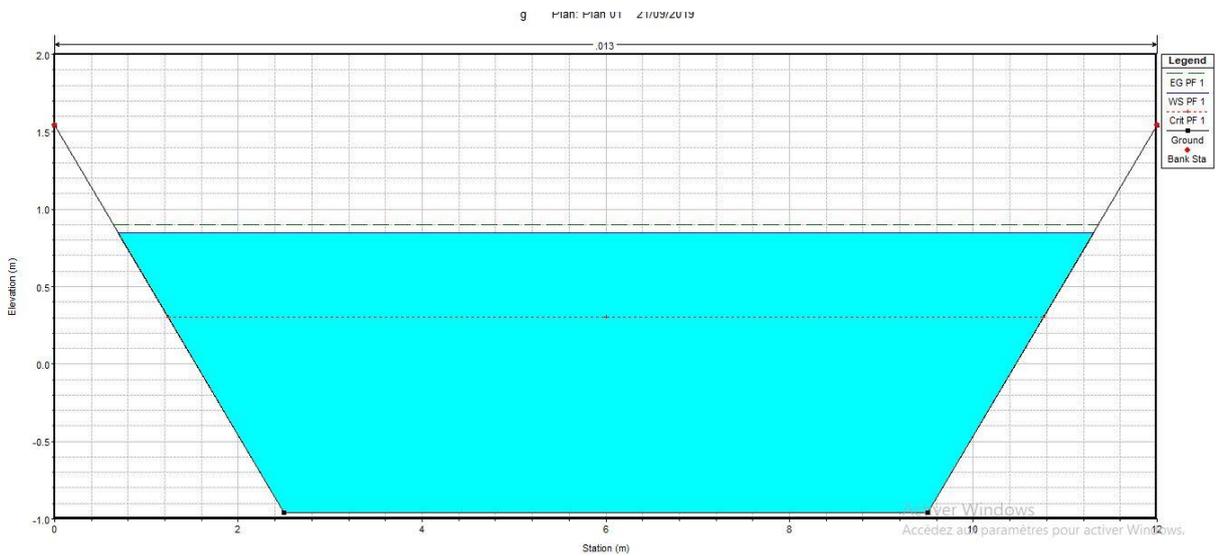
Après l'aménagement



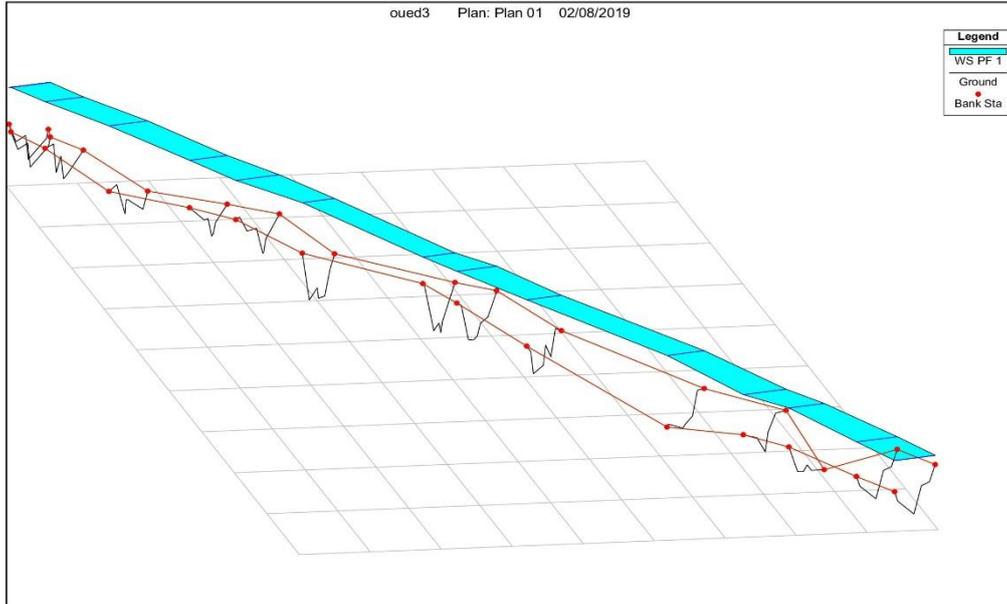
Section N 15
Avant l'aménagement



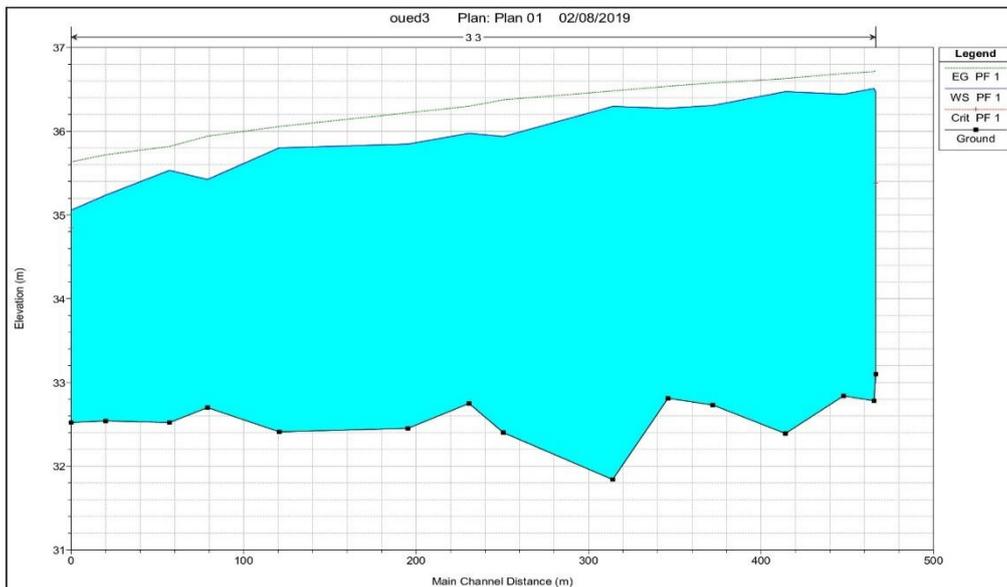
Après l'aménagement



Oued de bassin N 3

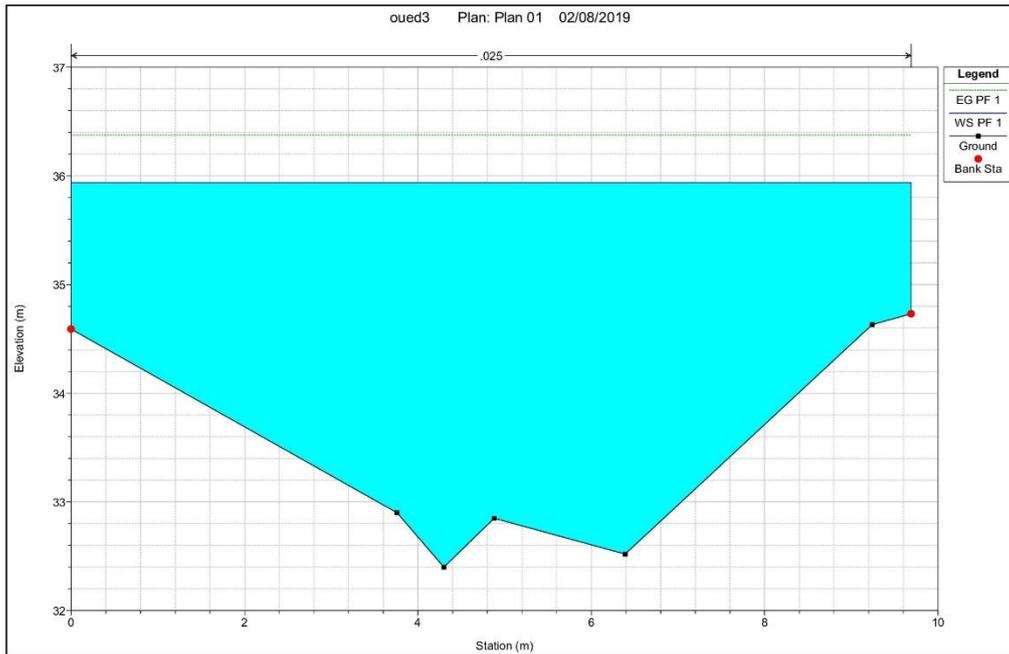


L'oued de bassin N3 en 3D avant l'aménagement

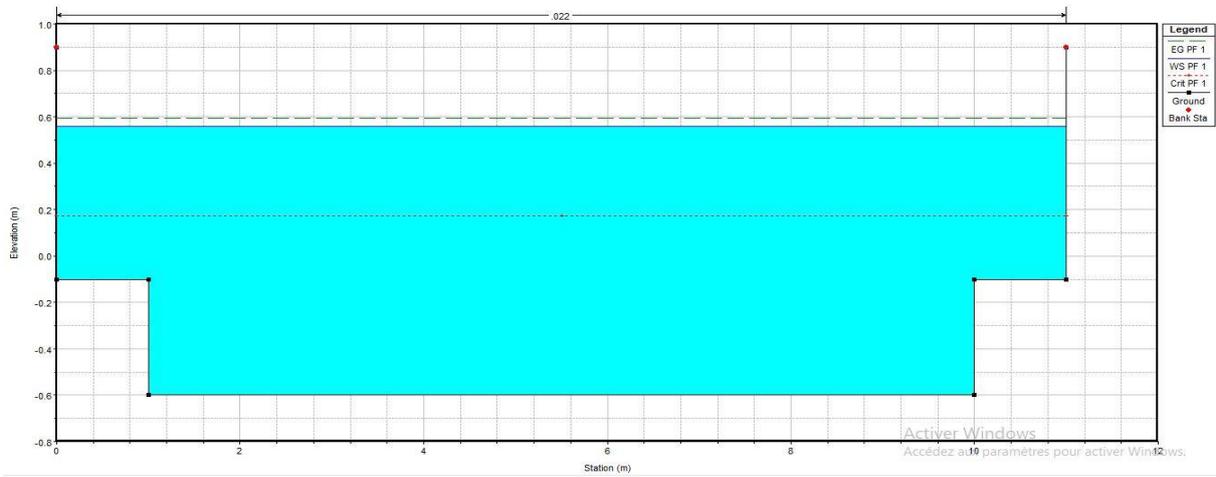


Profil en long de l'oued N3 avant l'aménagement

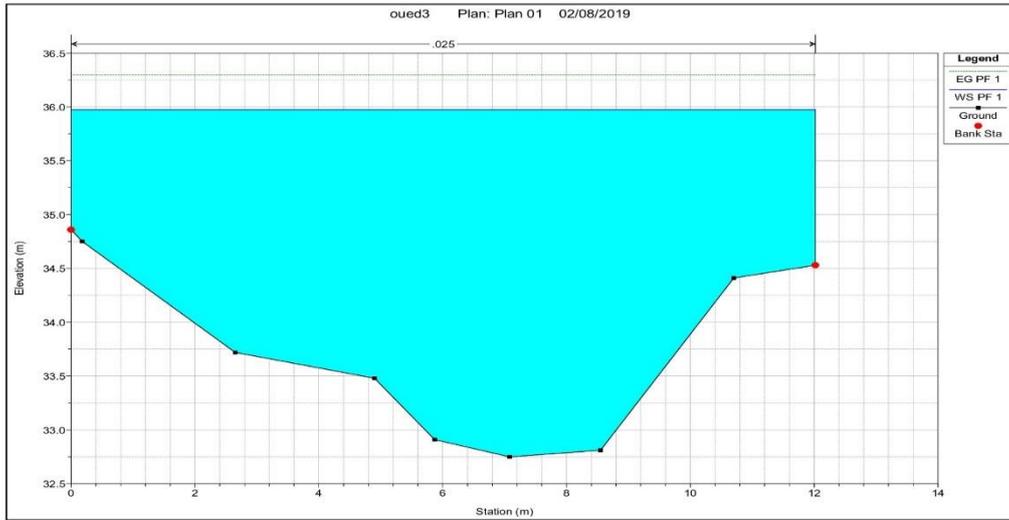
Section N 7
Avant l'aménagement



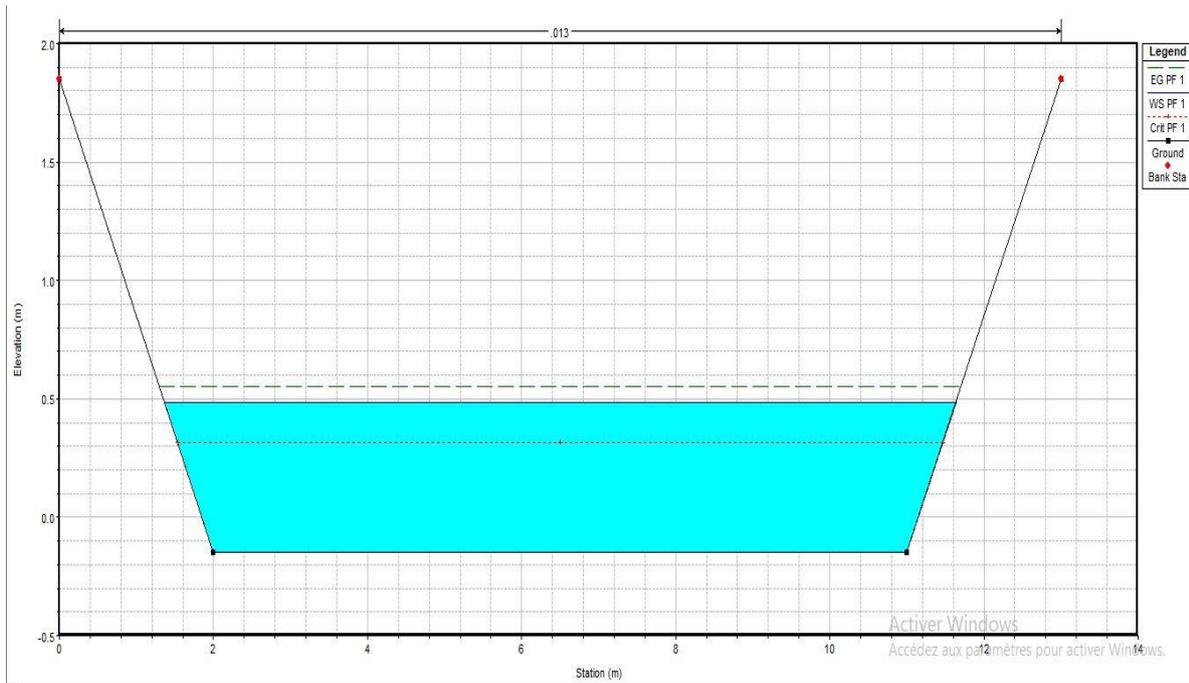
Après l'aménagement



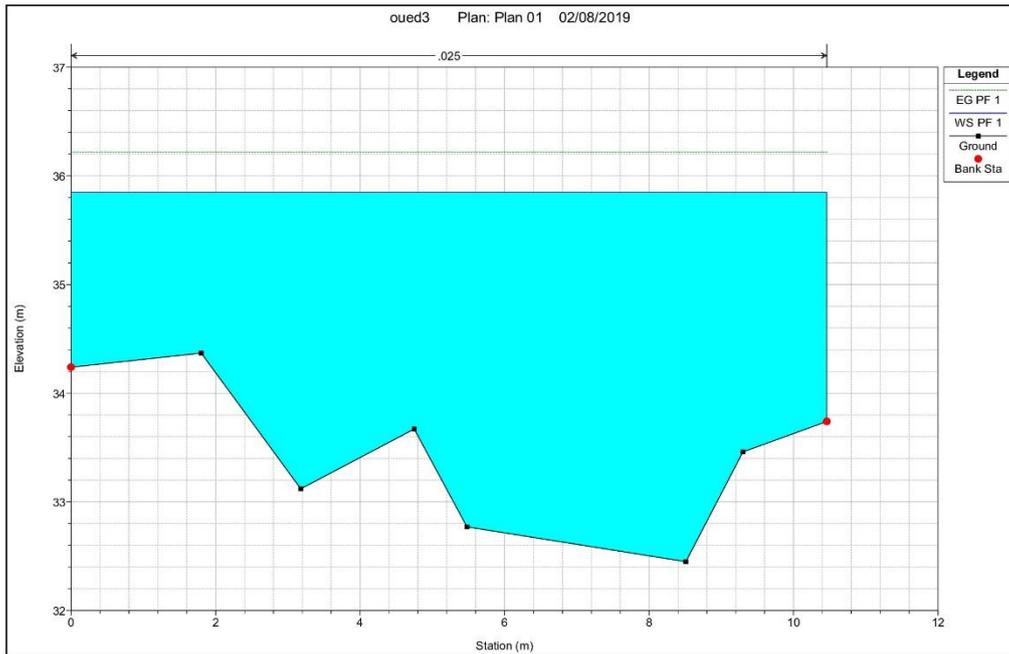
Section N 8
Avant l'aménagement



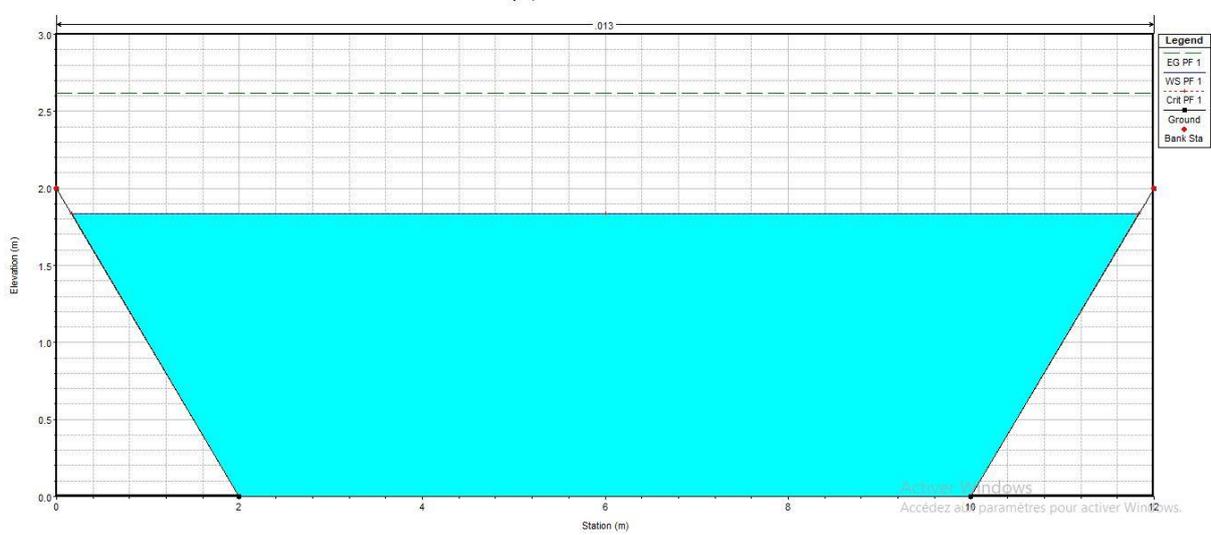
Après l'aménagement



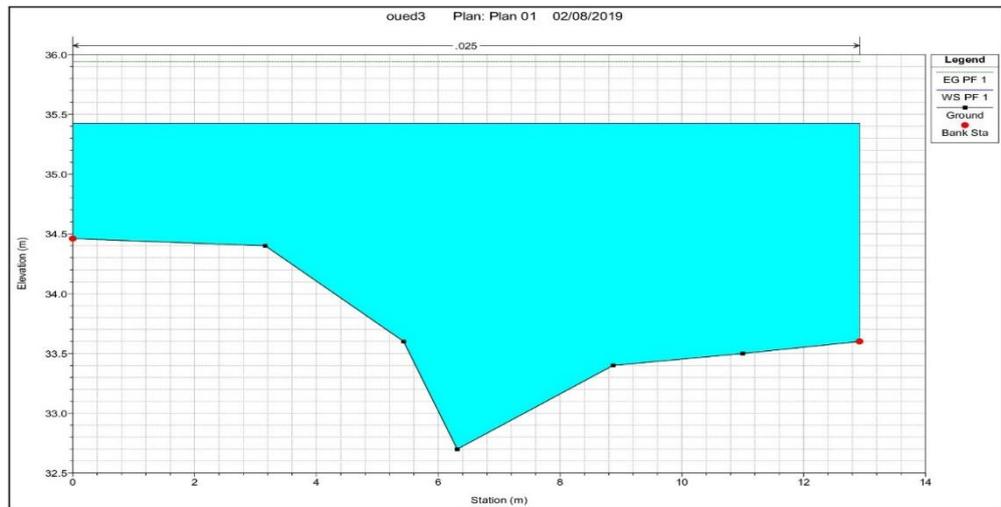
Section N 9
Avant l'aménagement



Après l'aménagement



Section N 11
Avant l'aménagement



Après l'aménagement

