



Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique

Laboratoire d'Hydraulique appliquée et environnement

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

MERAKCHI Abderrahmane.

SERIK Koseila.

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

Option : **Ouvrages et Aménagements Hydrauliques.**

INTITULÉ :

Étude d'aménagement de l'oued Beni-Hamdoune à Tazmalt, Wilaya de Béjaïa.

Soutenu le **30 / 09 /2021** devant le jury composé de :

- Président : BENZERRA Abbas.
- Promoteur : BRAKENI Abderrazak.
- Co-promoteur : OULEBSIR Rafik.
- Examineurs : SAKHRAOUI Fouad.

REMERCIEMENTS :

Tout d'abord, nous tenons à remercier vivement :

Notre cher promoteur M. Abderrazak BRAKENI, qui a été notre guide. Nous lui témoignons ici notre vive reconnaissance, et notre pleine gratitude.

M. Rafik OULEBSIR, notre co-promoteur, qui nous a accompagné tout au long de cette aventure extraordinaire, avec ses orientations et conseils, et qui n'épargnait aucun effort pour nous éclaircir.

Nous remercions également, du fond du cœur, le département de l'hydraulique, le chef du département, tous les enseignants et tout le personnel.

Nous rendons hommage aussi à l'âme du feu M. ALLOUACHE, emporté dans les flots de cette épidémie.

Nous remercions l'université de Béjaïa, pour ce monde qu'elle nous a permis de nous inventer, pour toutes ces connaissances qu'elle nous a permis de faire, pour tous les bons moments que nous y avons vécus.

Nous remercions la ville de Béjaïa, sa population, tous ses regards étrangers, mais accueillants et bienveillants. Tous ces sourires amis, tous ces bonjours, tous ces mercis, tous ces aurevoirs.

❖ **Dédicaces :**

Je dédie ce travail à :

Mon père.

A ce travailleur de la terre, à ce cœur généreux, à cette main affectueuse et légère. Je le dédie à cet homme debout, dont la vie fut éphémère.

Cher père ; Me voici à genoux, les jambes souillées et les cheveux pleins d'eau, me voici je prends mes armes, me voici un homme désormais et la fleur toujours au fusil. Me voici face à la nuit, devant laquelle j'hésite à entrer, devant laquelle j'évite de glisser. J'ai fait ma valise, j'ai rangé mes livres et j'ai fermé la porte à clé. Voici mon papier qui porte notre nom famille. Me voici au bord de l'un des vaisseaux de Christophe Colomb sous un ciel gris, sans étoiles pour me guider. Le chemin est long, mais je tourne mes voiles vers ton pays. Vers nos champs de blé, gelés et tristes au mois de février, mais verts en avril. Verts comme la couleur de tes yeux.

Ma sœur KARIMA.

Chère sœur, je te dédie ce travail, mais également mon cœur et mon âme. Je te voue ma vie. Je sanctifie ton nom et je l'immortalise ici, sur cette page. Je l'écris comme une louange, pour que, chaque personne qui aura consulté cet ouvrage le prononcera, et ce sera pour toi, mon plus grand hommage.

C'est fini. J'y suis parvenu. C'était possible et c'est grâce à toi. C'était difficile, mais tu sais que nous, nous n'avons pas le choix. C'était plaisant, mais sans toi ; je n'y trouve aucune joie.

Tu es partie sans créer gars, sans rien demander. Tu es partie sans rien promettre, sans rien laisser voir. Sauf un petit sourire, pudique et clair, comme une eau de source, qui ne place sa confiance qu'en Dieu, qui se détourne de la grâce des Hommes, qui ne supplie pas, qui ne se soumet pas, mais qui s'offre sincèrement, volontairement et généreusement aux pauvres, aux faibles, aux enfants...

C'est fini et je suis fini avec. Tout s'achève un jour comme tu disais. Tout s'achève ; et la peine et le rêve. La vie, le sang et la sève. Les hostilités sans trêve. Ceux qui ne savent rien, et ceux qui leur donnent raison, le garçon épave et l'homme qui dormait dans une cave.

C'est fini. Maintenant :

Puisses-tu trouver la paix éternelle.

Puisses-tu trouver la lumière du ciel.

Deviens un ange, deviens une étoile.

Repose en paix, au paradis,

Sur un lit aux odeurs légères,

De fumigations et d'encens,

Sur un divan profond et des fleurs sur des étagères.

Adieu ma madone. Nous nous retrouverons bientôt.

Ma sœur Dalila, et sa fille Meriem à qui je souhaite tout le bonheur et toute la réussite du monde.

MERAKCHI Abderrahmane.

❖ **Dédicaces :**

Je dédie ce travail à :

Toute ma famille qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui, à ma future femme et à mes amis

Exceptionnellement :

A toi mon père :

Qui as été toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, à toi qui as toujours été le support de ma vie.

A toi ma mère :

Qui as tout sacrifié pour moi, qui as souffert sans me laisser souffrir et qui n'as épargné aucun effort pour me rendre heureux.

A toi mon frère :

A qui je souhaite le sourire éternel, une vie pleine de joie et de prospérité.

A mes deux sœurs :

A qui je souhaite tout le bonheur et la réussite du monde

A ma sœur et ses deux enfants :

A qui je souhaite tout le bonheur et la réussite du monde

SERIK Koseila.

Sommaire.

- ❖ Liste des figures.
- ❖ Liste des tableaux.
- ❖ Nomenclature.
- ❖ Introduction générale.

CHAPITRE I : 1ETUDE CLIMATIQUE ET HYDROLOGIQUE.	1
1.1 Introduction.	2
1.2 Présentation de la zone d'étude.	2
1.2.1 Définition du bassin versant.....	2
1.2.2 Bassin versant de la SOUMMAM.	3
1.2.3 Principaux types du sol.	5
1.2.4 Le climat.	5
1.2.5 Sous bassin versant de BENI-HAMDOUNE.	6
1.3 Etude du climat.	6
1.3.1 Conditions climatiques.....	6
1.3.2 Pluviométrie.....	7
1.3.3 Température.....	8
1.3.4 Le vent.	8
1.3.5 Détermination du type du climat.....	8
1.4 Etude du bassin versant de BENI HAMDOUNE.	9
1.4.1 Les caractéristiques géométriques.	9
a. Le périmètre.....	9
b. La surface.....	9
1.4.2 Caractéristiques de forme.....	9
1.4.2.1 Indice de compacité de Gravelieus Kc (1914).....	10
1.4.2.2 Rectangle équivalent ou Rectangle de Gravelieus.....	10
1.4.2.3 Coefficient d'allongement.	10
1.4.3 Caractéristiques de relief.....	11
1.4.3.1 Le relief.....	11
1.4.3.2 Courbe hypsométrique.....	13
1.4.3.3 Hauteurs caractéristiques.	13
1.4.3.4 Les indice de pente.	14
1.4.3.5 La dénivelée.....	14
1.4.3.6 Indice de pente globale Ig (P. Dubreuil, 1974).....	14
1.4.3.7 Indice de pente moyenne du bassin versant Im :	14
1.4.3.8 La dénivelée Spécifique « DS ».....	14
1.5 Caractéristiques hydrographiques du bassin versant.	16
1.5.1 La chevelure hydrographique.....	16
1.5.2 Densité de drainage Dd.....	16
1.5.3 La fréquence des thalwegs d'ordre 1.	17
1.5.4 Coefficient de torrentialité.	17
1.5.5 Temps de concentration du bassin versant.....	17
1.5.6 Vitesse de ruissellement.....	18

1.6	Conclusion.....	20
2	2 CHAPITRE II : ETUDE GEOLOGIQUE.....	21
2.1	Introduction.....	22
2.2	Historique.....	22
2.3	Aperçu sur la géologie de l'Algérie.....	22
2.3.1	Domaine orogénique du Nord de l'Algérie.....	22
2.3.2	La chaîne alpine.....	22
2.3.3	Les zones internes.....	22
2.3.4	La zone des flyschs.....	23
2.3.5	Les zones externes.....	23
2.3.6	Domaine cratonique.....	23
2.4	La plate-forme saharienne.....	23
2.5	Situation géographique.....	24
2.6	Cadre géologique du bassin.....	25
3	3 CHAPITRE III : ETUDE PLUVIOMETRIQUE.....	26
3.1	Introduction.....	27
3.2	Etude des précipitations.....	27
3.3	Variation interannuelle de la pluviométrie.....	28
3.4	Variations temporelles des précipitations annuelles.....	29
3.5	Ajustement des précipitations annuelles à une loi de probabilité.....	30
3.5.1	La loi de Gumbel.....	30
3.5.2	Loi log-normale.....	30
3.6	Précipitations mensuelles et les régimes saisonniers.....	31
3.7	Les précipitations extrêmes et les averses facteur générateur des crues.....	33
3.8	Les pluies de courte durée.....	35
4	4 CHAPITRE IV : ETUDE DES APPORTS ET DES CRUES.....	40
4.1	Introduction.....	41
4.2	Etudes des apports.....	41
4.2.1	Formule de l'A.N.R.H :.....	41
4.2.2	Formule de MEDINGUER :.....	41
4.2.3	Formule de SAMIE :.....	41
4.2.4	Formule de DERI II :.....	41
4.3	Module de l'écoulement.....	41
4.4	Module de l'écoulement relatif.....	41
4.5	Coefficient de l'écoulement.....	41
4.6	Coefficient de variation.....	42
4.6.1	Formule de SOKOLOVSKY :.....	42

4.6.2	Formule de GUIPROVODKHOZ :	42
4.6.3	Formule de L'ANTONOV :	42
4.6.4	Formule de KRISTEKLY MENKEL :	42
4.7	Etude des crues.	43
4.7.1	Formules empiriques pour la détermination de la crue.	43
4.7.2	Formule de MALLET-GAUTHIER :	43
4.7.3	Formule de SOKOLOVSKY :	43
4.7.4	Formule Rationnelle (TURRAZA) :	45
4.7.5	Formule de GIANDOTTI.	45
4.8	Hydrogramme de crue.	46
4.8.1	Construction des hydro grammes des crues (SOKOLOVSKY).	47
4.9	Conclusion.	49
5	CHAPITRE V : ETUDE HYDRAULIQUE SANS AMENAGEMENT.	49
5.1	Introduction.	49
5.2	Objectif et calcul hydraulique d'aménagement. [5]	49
5.3	Généralités sur les écoulements à surface libre.	49
5.3.1	Types d'écoulement.	49
5.3.2	Variabilité dans le temps.	49
5.3.3	Variabilité dans l'espace.	50
5.3.4	Les canaux.	51
5.3.5	Différents types de canaux.	51
5.3.5.1	Les canaux naturels :	51
5.3.5.2	Les canaux artificiels :	51
5.3.6	Les paramètres géométriques.	51
5.3.7	Géométrie des canaux : [6]	51
5.3.8	Régime D'écoulement : [5]	52
5.3.9	Nombre de REYNOLDS :	53
5.3.10	Nombre de FROUDE :	53
5.4	Dimensionnement des canaux.	53
5.4.1	Formule de MANNING-STRICKLER. [7]	53
5.5	Calcul des paramètres géométriques.	54
5.5.1	Diamètre hydraulique :	54
5.5.2	Rayon hydraulique :	55
5.5.3	Hauteur critique :	55
5.5.3.1	Méthode graphique :	55
5.5.3.2	Méthode analytique d'AGROSKINE.	55
5.5.3.3	Méthode itérative.	56
5.5.4	Géométrie des canaux :	56
5.5.4.1	Les caractéristiques géométriques des canaux.	56
5.5.4.2	Résumé des caractéristiques géométriques des canaux :	56
5.6	Vérification de l'écoulement sous ponts :	58
5.7	Modélisation :	58

5.7.1	Introduction :.....	58
5.7.2	Choix du type de modèle hydraulique.	58
5.7.3	Présentation du logiciel HEC RAS.	59
5.7.3.1	Les équations utilisées par le logiciel. [5]	59
5.7.4	Théorie de base de calcul du modèle HEC-RAS pour l'écoulement permanent.	60
5.7.5	Banque de données nécessaires à l'application du modèle HEC-RAS.....	60
5.8	Application du modèle HEC-RAS.	61
5.8.1	A l'état Naturel.....	61
5.8.2	Modélisation de la géométrie.....	61
5.8.3	Le choix des valeurs de rugosité de Manning.....	61
5.8.4	Modélisation de l'écoulement.....	62
5.8.5	Simulation hydraulique.....	62
5.8.6	Résultats de la simulation.....	62
5.8.7	Analyse.....	66
5.8.8	Délimitation des zones inondables.....	68
5.9	Conclusion.....	68
6	CHAPITRE VI : ETUDE HYDRAULIQUE AVEC AMENAGEMENT.	71
6.1	Introduction.....	70
6.2	Proposition d'aménagement.....	70
6.3	Avantages d'un canal trapézoïdal.....	70
6.4	Dimensionnement des canaux.....	70
6.4.1	Équation de Chézy.....	70
6.5	Calcul des paramètres géométriques.....	70
6.5.1	Paramètres géométriques d'un canal à section trapézoïdale. [7]	70
6.5.2	Section de débit maximum.....	71
6.5.3	Profondeur normal (hn). [7].....	71
6.5.4	Profondeur critique hc.....	72
6.5.5	La pente critique Ic.....	72
6.5.6	Calcul de la ligne d'eau.....	72
6.5.6.1	Equation de la ligne d'eau :	72
6.5.6.2	Calcul de la surface d'eau.....	72
6.6	Calcul hydraulique du canal.....	72
6.6.1	Le fruit de talus :	73
6.6.2	La rugosité.....	73
6.6.3	La largeur du canal.....	73
6.7	Calcul des paramètres de l'écoulement.....	73
6.8	Conclusion.....	81
	Conclusion générale.....	82
7	Références bibliographiques & sites internet :	83

Liste des figures :

<i>Figure (I.1)</i>	<i>Schéma d'un Bassin versant avec une ligne de crête, un cours d'eau principale et un exutoire.</i>	4
<i>Figure (I.2)</i>	<i>Distinction entre bassin versant réel et bassin versant topographique.</i>	5
<i>Figure (I.3)</i>	<i>Les sous bassins de la Soummam.</i>	6
<i>Figure (I.4)</i>	<i>Carte du relief du sous bassin versant Beni-Hamdoune.</i>	13
<i>Figure (I.5)</i>	<i>Courbe hypsométrique du bassin versant Beni-Hamdoune.</i>	14
<i>Figure (I.6)</i>	<i>Réseau hydrographique du bassin versant Beni-Hamdoune.</i>	18
<i>Figure (II.1)</i>	<i>Schéma structural des Chaînes alpines de la Méditerranée occidentale (d'après Chalouan).</i>	25
<i>Figure (II.2)</i>	<i>Carte des sols du bassin versant de la Soummam.</i>	26
<i>Figure (III.1)</i>	<i>Évolution des précipitations annuelles à la station de Tazmalt (1969-2004).</i>	31
<i>Figure (III.2)</i>	<i>Ajustement de pluviométrie annuelle à la station de Tazmalt (Gumbel).</i>	31
<i>Figure (III.3)</i>	<i>Ajustement de pluviométrie annuelle à la station de Tazmalt (Log-normal).</i>	32
<i>Figure (III.4)</i>	<i>Comparaison des ajustements (entre la loi Gumbel et log-normal) de la pluviométrie annuelle à la station de Tazmalt.</i>	33
<i>Figure (III.5)</i>	<i>Variations mensuelles de la pluviométrie dans le bassin de l'oued Beni Hamdoune.</i>	33
<i>Figure (III.6)</i>	<i>Observation sur papier de probabilité.</i>	35
<i>Figure (III.7)</i>	<i>Comparaison des ajustements (entre la loi Gumbel et log-normal) de la pluviométrie annuelle à la station de Tazmalt.</i>	36
<i>Figure (III.8)</i>	<i>Courbe des pluies à courte durée à Tazmalt.</i>	37
<i>Figure (III.9)</i>	<i>Courbe Intensité-Durée-Fréquence à Tazmalt.</i>	39
<i>Figure (IV.1)</i>	<i>Hydrogramme fréquentiels des différentes périodes de retour d'oued Beni-Hamdoune.</i>	48
<i>Figure (V.1)</i>	<i>Variabilité de l'écoulement dans un canal en fonction du temps.</i>	51
<i>Figure (V.2)</i>	<i>Variabilité de l'écoulement dans un canal selon l'espace.</i>	52
<i>Figure (V.3)</i>	<i>Organigramme de l'écoulement et ses variétés.</i>	53
<i>Figure (V.4)</i>	<i>Caractéristiques géométriques d'un canal.</i>	54
<i>Figure (V.5)</i>	<i>Éléments géométriques de différentes sections d'un canal.</i>	58
<i>Figure (V.6)</i>	<i>Déférentes caractéristiques géométriques du canal.</i>	59
<i>Figure (V.7)</i>	<i>Conservation de la charge entre deux sections.</i>	62
<i>Figure (V.8)</i>	<i>Découpage de la section pour le calcul du frottement.</i>	63
<i>Figure (V.9)</i>	<i>La géométrie du cours d'eau sur Geometric Data.</i>	64
<i>Figure (V.10)</i>	<i>Débits de crues sur cinq périodes de retour et conditions aux limites.</i>	65
<i>Figure (V.11)</i>	<i>Visualisation en trois dimensions de l'oued Beni-Hamdoune du tronçon (1934 – 6).</i>	66
<i>Figure (V.12)</i>	<i>Visualisation animée de la vitesse de l'écoulement à l'état naturel des débits de crues de l'oued Beni-Hamdoune du tronçon (1934 – 6).</i>	66
<i>Figure (V.13)</i>	<i>Cross section, « Section en travers » : 1696.</i>	69
<i>Figure (V.14)</i>	<i>Cross section, « Section en travers » : 664.</i>	69
<i>Figure (V.15)</i>	<i>Cross section, « Section en travers » : 383.</i>	70
<i>Figure (V.16)</i>	<i>Cross section, « Section en travers » : 91.</i>	70
<i>Figure (V.17)</i>	<i>Cross section, « Section en travers représentant un pont » : 1931.</i>	70

<i>Figure (V.18)</i>	<i>Cross section, « Section en travers représentant un pont » : 217.</i>	<i>71</i>
<i>Figure (V.19)</i>	<i>Les zones inondables de l'oued Beni-Hamdoune sur la carte Google satellite avec RAS MAPPER.</i>	<i>71</i>
<i>Figure (VI.1)</i>	<i>Type d'aménagement proposé.</i>	<i>76</i>
<i>Figure (VI.2)</i>	<i>Visualisation en 3D, Oued Bebi-Hamdoune après aménagement. (View 3D multiple cross section plot).</i>	<i>78</i>
<i>Figure (VI.3)</i>	<i>Profile en long du canal. (View profiles).</i>	<i>78</i>
<i>Figure (VI.4)</i>	<i>Section en travers du cours d'eau représentant le pont 1825.</i>	<i>79</i>
<i>Figure (VI.5)</i>	<i>Section en travers du cours d'eau représentant le pont 1725.</i>	<i>79</i>
<i>Figure (VI.6)</i>	<i>Section en travers du cours d'eau représentant le pont 1125.</i>	<i>80</i>
<i>Figure (VI.7)</i>	<i>Section en travers du cours d'eau représentant le pont 75.</i>	<i>80</i>
<i>Figure (VI.8)</i>	<i>Section en travers du cours d'eau (Cross section :1850).</i>	<i>81</i>
<i>Figure (VI.9)</i>	<i>Section en travers du cours d'eau (Cross section :1750).</i>	<i>81</i>
<i>Figure (VI.10)</i>	<i>Section en travers du cours d'eau (Cross section :1600).</i>	<i>82</i>
<i>Figure (VI.11)</i>	<i>Section en travers du cours d'eau (Cross section :1450).</i>	<i>82</i>
<i>Figure (VI.12)</i>	<i>Section en travers du cours d'eau (Cross section :1250).</i>	<i>83</i>
<i>Figure (VI.13)</i>	<i>Section en travers du cours d'eau (Cross section :500).</i>	<i>83</i>

Liste des tableaux :

Tableau (I.1)	<i>Superficies des sous bassins versants de la Soummam.</i>	6
Tableau (I.2)	<i>Le débit moyen annuel des affluents de l'oued Soummam (Visiterv, 1987).</i>	7
Tableau (I.3)	<i>Tableau (I.3) : Caractéristiques du bassin versant de la Soummam.</i>	8
Tableau (I.4)	<i>Précipitations annuelles des cinq stations pluviométriques du bassin versant de La Soummam (1971-1985).</i>	9
Tableau (I.5)	<i>Températures moyennes mensuels à la station de Béjaia (2010-2019).</i>	10
Tableau (I.6)	<i>Calcul d'indice d'aridité.</i>	10
Tableau (I.7)	<i>Classement en fonction de l'indice d'aridité de DE. Martonne.</i>	10
Tableau (I.8)	<i>Tableau définissant l'hypsométrie du bassin versant de Beni-Hamdoune.</i>	14
Tableau (I.9)	<i>La classification d'O.R.S.T.O.M (Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-mer).</i>	17
Tableau (I.10)	<i>La dénivelée et la dénivelée spécifique et état du relief.</i>	17
Tableau (I.11)	<i>Résultats du calcul du temps de concentration pour le bassin versant de Beni-Hamdoune par différentes méthodes²</i>	20
Tableau (I.12)	<i>Caractéristiques hydrométriques du bassin versant de l'oued Beni-Hamdoune.</i>	21
Tableau (III.1)	<i>Caractéristique de station pluviométrique Tazmalt.</i>	29
Tableau (III.2)	<i>Série pluviométrique station de Tazmalt (1969 – 2004).</i>	30
Tableau (III.3)	<i>Caractéristiques de la précipitation annuelle de la station pluviométrique du Bassin de l'oued Beni-hamdoune.</i>	30
Tableau (III.4)	<i>Les pluies moyennes mensuelles et leurs paramètres statistiques du bassin de l'oued Beni-Hamdoune.</i>	34
Tableau (III.5)	<i>Les paramètres statistiques des pluies maximales journalières.</i>	36
Tableau (III.6)	<i>Caractéristiques de la pluie journalière maximale à la station de Tazmalt.</i>	37
Tableau (III.7)	<i>Pluies et intensités maximales de durée t (h) et de périodes retour T (ans).</i>	38
Tableau (IV.1)	<i>Coefficient de variation calculé par différentes formules empiriques.</i>	43
Tableau (IV.2)	<i>Débit maximum de crue pour différentes périodes de retour (Formule de MALLET-GAUTHIER) station de Tazmalt.</i>	44
Tableau (IV.3)	<i>Valeur de γ en fonction de bassin versant.</i>	45
Tableau (IV.4)	<i>Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de SOKOLOVSKY) Station Tazmalt.</i>	45
Tableau (IV.5)	<i>Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de TURRAZA) Station Tazmalt.</i>	46
Tableau (IV.6)	<i>Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de GIANDOTTI) Station Tazmalt.</i>	47
Tableau (IV.7)	<i>Récapitulatif des résultats de débit de crue.</i>	47
Tableau (IV.8)	<i>Tableau récapitulatif des temps de concentration, de montée et de décrue.</i>	48
Tableau (IV.9)	<i>Débit de crues pour différentes périodes de retour d'oued Beni-Hamdoune.</i>	49
Tableau (V.1)	<i>Valeurs estimées pour le coefficient de Manning Strickler en fonction de la nature des Parois.</i>	56
Tableau (V.2)	<i>Les paramètres de l'écoulement du canal.</i>	60
Tableau (V.3)	<i>Valeurs du coefficient de rugosité du cours d'eau.</i>	64
Tableau (V.4)	<i>Résultats de la simulation pour une période de retour de 100 ans.</i>	68
Tableau (VI.1)	<i>Paramètres de l'écoulement du canal obtenus après simulation.</i>	74
Tableau (VI.2)	<i>Paramètres de l'écoulement du canal, obtenus après simulation.</i>	77

Nomenclature :

α : coefficient de pondération de la vitesse.
 \bar{A} : Apport moyen annuel (l).
 A : Apport liquide (hm^3).
 B : largeur du plan d'eau en surface.
 C_r : Coefficient de ruissellement en fonction de la probabilité donnée.
 C_e : le coefficient d'expansion ou de concentration.
 C : Coefficient de CHEZY ($m^{1/2}/s$).
 C_t : Coefficient topographique variant entre (0.066 et 0.166).
 D_d : Densité de drainage.
 D : Dénivelée entre $H_5\%$ et $H_{95}\%$ (m).
 F_1 : Fréquence des thalwegs d'ordre 01.
 g : l'accélération de pesanteur égale à 9.81
 $H_5\%$ et $H_{95}\%$: sont les altitudes correspondantes à $S_5\%$ et $S_{95}\%$ (m).
 H_{max} : les altitudes maximales (m).
 H_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau consécutives en (m) ;
 H_{moy} : altitude moyenne en (m).
 H_{min} : altitude minimale en (m).
 $H_{tc,p(\%)}$: lame d'eau précipitée pour une probabilité donnée et d'une durée égale au temps de concentration des eaux.
 h_e : perte de charge.
 I_a : indice d'aridité.
 I : La pente de fond du canal (m/m).
 I_t : Intensité des pluies pendant une durée égale au temps de concentration pour une fréquence donnée (mm/h).
 I_g : indice de la pente globale (%).
 I_m : Indice de pente moyenne ;
 I_{BV} : la pente du bassin versant en (%).
 K_c : Le coefficient de compacité ou de Gravelieus
 K : flux pour la subdivision
 L : longueur du rectangle équivalent en (Km).
 l : largeur du rectangle équivalent en (Km).
 L : Longueur du rectangle équivalent (km).
 l_e : lame d'eau écoulée (mm).
 L : la distance entre les deux profils ;
 L : Longueur du talweg principal (Km).

L_{cp} : longueur du chenal principal hydrographique en (Km).
 M_e : Module de l'écoulement (l/s).
 n : coefficient de rugosité de Manning pour une subdivision.
 N_1 : Nombre de thalwegs d'ordre 1.
 p : Précipitations moyennes mensuelles (mm).
 P_{bv} : périmètre du bassin versant (Km).
 P_t : pluies de courte durée de fréquence donnée en (mm) ;
 $PJ_{max\%}$: Pluies journalière de fréquence donnée en (mm) ;
 P_{moy} : pluie moyenne annuelle (m).
 P : pluie moyenne annuelle (mm).
 P_{moy} : pluie moyenne annuelle en (m).
 P : la précipitation moyenne annuelle en (m).
 P_m : Périmètre mouillée de la section.
 q : Module de l'écoulement relatif ($l/s/km^2$).
 Q : Débit (m^3/s)
 $Q_{max,p(\%)}$: Débit maximum pour une fréquence donnée (m^3/s).
 R_h : rayon hydraulique pour une subdivision.
 S_i : Surface partielle entre deux courbes de niveau (km^2) ;
 S_{BV} : Surface du bassin versant en (Km²).
 S : surface en km^2 .
 S_m : Section mouillée.
 S_f : la pente de la ligne d'énergie (pente de frottement) ;
 T : Température moyenne annuelle ($^{\circ}C$).
 T_c : temps de concentrations exprimé en heure.
 t : temps en heure ;
 T : Temps d'une année en secondes ; $T = 31.536.107$ s.
 V : vitesse moyenne sur la section.
 V : La vitesse moyenne (m/s).
 Y : hauteur d'eau à la section.
 Z : cote du fond du lit.

INTRODUCTION GENERALE.

Les inondations sont un phénomène naturel, dues au débordement des crues après le passage de fortes pluies torrentielles. Elles sont encouragées lorsque les voies d'évacuation sont obstruées, fragiles ou leur dimension ne suffit pas à canaliser les énormes masses d'eau qui s'y déversent.

Pour remédier à cela et afin d'éviter à la ville de Tazmalt d'être le théâtre d'un phénomène similaire nous avons proposé, dans le travail qui va suivre, un aménagement d'un Oued sis à Beni-Hamdoune. Il prend sa source dans le bassin versant de Beni-Hamdoune, sous bassin versant de la Soummam. Ce bassin versant est estimé, après étude, être une zone de danger.

Une zone qui comporterait un risque de débordement, notamment au niveau des ponts qui la traversent : deux chemins communaux, la nationale 26 et la voie de la S.N.T.F

Comment procéder, comment s'assurer de la présence d'un risque d'inondation et quelle solution doit être apportée afin de limiter ou d'éradiquer ce danger ?

Ce travail va tenter de répondre à ces questions et bien d'autres. Il s'appuie sur une étude hydrologique, un calcul hydraulique et une conception assistée par ordinateur ; c'est-à-dire à l'aide de logiciels. Grâce aux données qui ont été fournies par la commune de Tazmalt, notamment les séries pluviométriques. Les informations collectées sur plusieurs ouvrages : mémoires de fin d'études, livres et sites internet. Nous avons pu faire une bonne connaissance du terrain et de la géologie de la région, qui se trouveront définies à longueur de chapitres. Avec également des illustrations, des schémas et des tableaux à l'appui.

Quant à la conception assistée par ordinateur, elle se scinde en quatre parties. Nous avons dans un premier temps, utilisé des logiciels de S.I.G (Système d'Information Géographique), Map Info et Global Mapper dans notre cas. Ce système est conçu pour recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et présenter tous les types de données spatiales et géographiques, par exemple les courbes de niveaux et la courbe hypsométrique.

Deuxièmement, nous avons utilisé des logiciels de simulations. En s'appuyant sur les résultats obtenus par le S.I.G et les calculs hydrauliques, en utilisant des formules théoriques et empiriques, nous avons opté pour le logiciel HEC-Ras (Hydrologic Engineering Center River Analysis System) couplé avec le module RAS mapper, il donne les résultats de la simulation sur la base des débits de différentes périodes de retour calculés préalablement. En effet il nous a permis de connaître les zones inondables ainsi que la lame d'eau de l'écoulement.

Finalement, après la prise en compte des résultats de la simulation. Nous avons calculé les sections de notre Oued après aménagement, avec les logiciels du D.A.O (Dessin Assisté par Ordinateur), Auto-CAD, Covadis ou Civil 3D.

La quatrième catégorie de logiciels que nous avons utilisés, sont des logiciels de statistiques qui effectuent des calculs comme le tableur Excel ou qui ajustent des courbes comme Hyfran.

Les chapitres de notre étude se présentent comme suit :

- Le premier présente la zone d'étude, située à Tazmalt et appartenant au bassin versant de la Soummam, et donne des informations sur le site du projet, sa géologie et sa morphologie.
- Le second chapitre est consacré à l'étude géologique, étude purement théorique mais hautement importante, elle s'appuie sur la bibliographie et les cartes géologiques disponibles.
- Le troisième chapitre est une étude climatique qui s'occupe de la pluviométrie, la température ...etc.
- Le quatrième chapitre est l'étude des apports et des crues, calculés à l'aide de différentes formules.
- Le cinquième chapitre exploite les résultats du chapitre précédent pour offrir une simulation hydraulique sans aménagement, c'est-à-dire le comportement de l'Oued à l'état naturel.
- Le sixième et dernier chapitre est un traitement technique des résultats obtenus des différentes études et calculs effectués, il propose une solution d'aménagement, conçue par ordinateur, au problème d'inondation.

CHAPITRE I :
ETUDE CLIMATIQUE ET
HYDROLOGIQUE.

1.1 Introduction.

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

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

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

L'étude hydrologique dans ce chapitre a pour but de définir les paramètres hydrologiques et morphologiques du sous bassin de l'oued Beni-hamdoune afin d'évaluer l'importance de la crue exceptionnelle qui conditionnera le dimensionnement d'éventuels ouvrages hydrauliques.

1.2 Présentation de la zone d'étude.

1.2.1 Définition du bassin versant.

Un bassin versant est un territoire géographique bien défini, il correspond à l'ensemble de la surface recevant les eaux qui circulent naturellement vers un même cours d'eau ou vers une même nappe d'eau souterraine. Il est constitué d'une rivière principale, qui prend sa source le plus souvent sur les hauteurs en amont, au niveau de ce que l'on appelle la « tête du bassin ». Cette rivière s'écoule dans le fond de la vallée pour rejoindre l'exutoire en aval. Un bassin versant est dit topographique s'il est délimité par une ligne de crête appelée « ligne de partage des eaux », mais lorsque le sol est perméable et recouvre un substratum imperméable, la division selon la topographie ne correspond pas à la ligne de partage effective des eaux souterraines, dans ce cas on parle du bassin versant réel, cette distinction est très importante en région karstique et il est nécessaire de prendre en compte les écoulements souterrains.



Figure (I.1) : Schéma d'un Bassin versant avec une ligne de crête, un cours d'eau principale, des affluents et un exutoire. (Source : Ministère de l'Environnement du Québec. 2001)

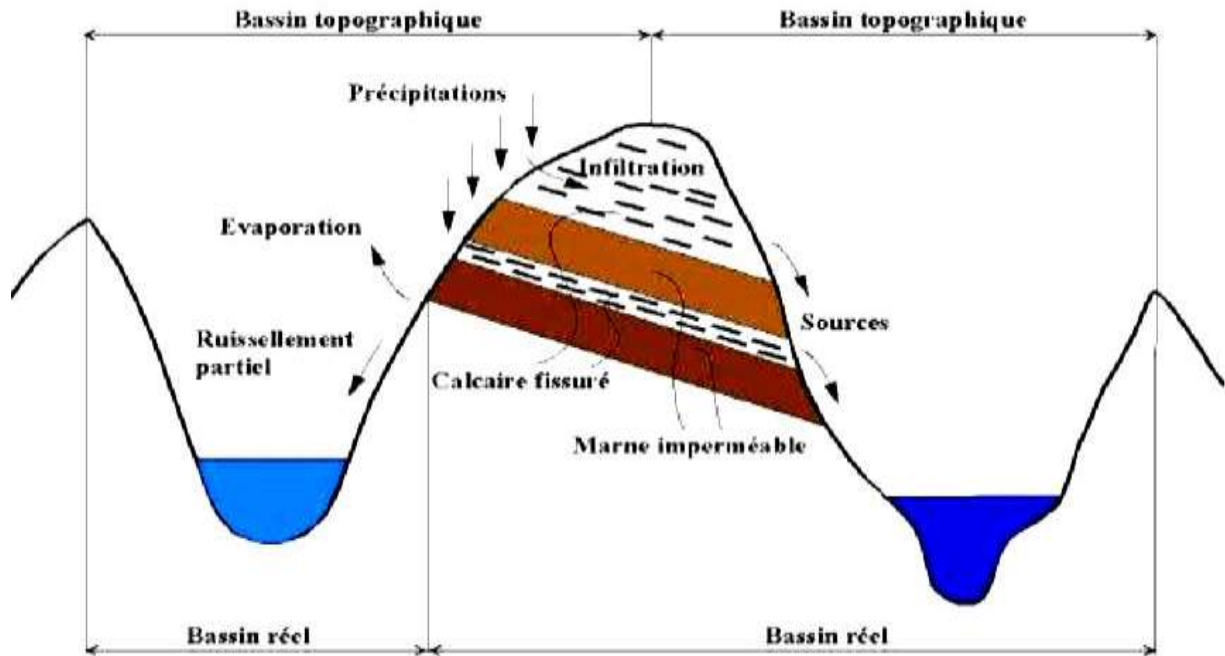


Figure (I.2) : Distinction entre bassin versant réel et bassin versant topographique. [2]

1.2.2 Bassin versant de la SOUMMAM.

Etymologiquement, le mot Soummam est une altération du mot kabyle « assemmam », qui signifie « acide ». Pline l'Ancien, l'auteur romain de la célèbre encyclopédie de L'Histoire naturelle, avait cité la Soummam comme étant nommée "le Nasava" par Ptolémée.

Le bassin versant de la Soummam est l'un des plus importants bassins en Algérie, situé au nord, à environ 130 km à l'est d'Alger, il porte la codification N°15 selon l'A.N.R.H (Agence Nationale des Ressources Hydriques), il s'étend sur une superficie de 9200 km², sa forme est grossièrement allongée. Il fait partie de deux secteurs biogéographiques (sectorisation de Quézel et Santa 1962) ; sa partie amont, incluse dans le secteur Constantinois, comprend le sous bassin de l'oued Sahel (plateau de Bouira) et le sous bassin de l'oued Boussellam (plateau de Sétif), quant à la partie aval, notamment à la vallée de l'Oued Soummam, elle appartient au secteur biogéographique Kabyle, sous-secteur de la petite Kabylie, incluant la Kabylie des Babors.

Du fait de l'allongement de la vallée du Sud-Ouest au Nord-Est, il devient plus convenable de fournir les coordonnées géographiques des deux extrémités du territoire, notamment l'amont et l'aval de l'oued Soummam, de la confluence de l'oued Boussellam et l'oued Sahel (amont) à l'embouchure (aval) :

- A l'amont (Akbou) : Longitude : 4° 32' 45'' Est ; Latitude : 36° 47' 17'' Nord.
- A l'aval (embouchure) : Longitude : 05° 04' 41'' Est ; Latitude : 36° 43' 36'' Nord.
- Au centre : Longitude : 5° 00' 00'' Est ; Latitude : 36° 42' 16'' Nord.

Surplombé du côté nord par le gros massif du Djurdjura, pourvoyeur principal du bassin, avec un sommet de 2308m (Lalla Khedidja) au-dessus de la mer et, limité du le flanc sud par le mont Hodna, haut de 1862m. D'ouest en est, le bassin est ouvert, depuis Bouira jusqu'à son embouchure sur la mer méditerranéenne. Il est au centre de six grands bassins versants, classés selon l'A.N.R.H comme suit : Au nord le N°2 (Côtier Algérois). A l'ouest N° 9 (Isser). Au sud le N°5 (Chott Hodna). Au sud-est le N°7 (Hauts-plateaux constantinois). A l'est le N° 10 (Kebir Rhumel). Au Nord-est le N°3 (Côtier constantinois).

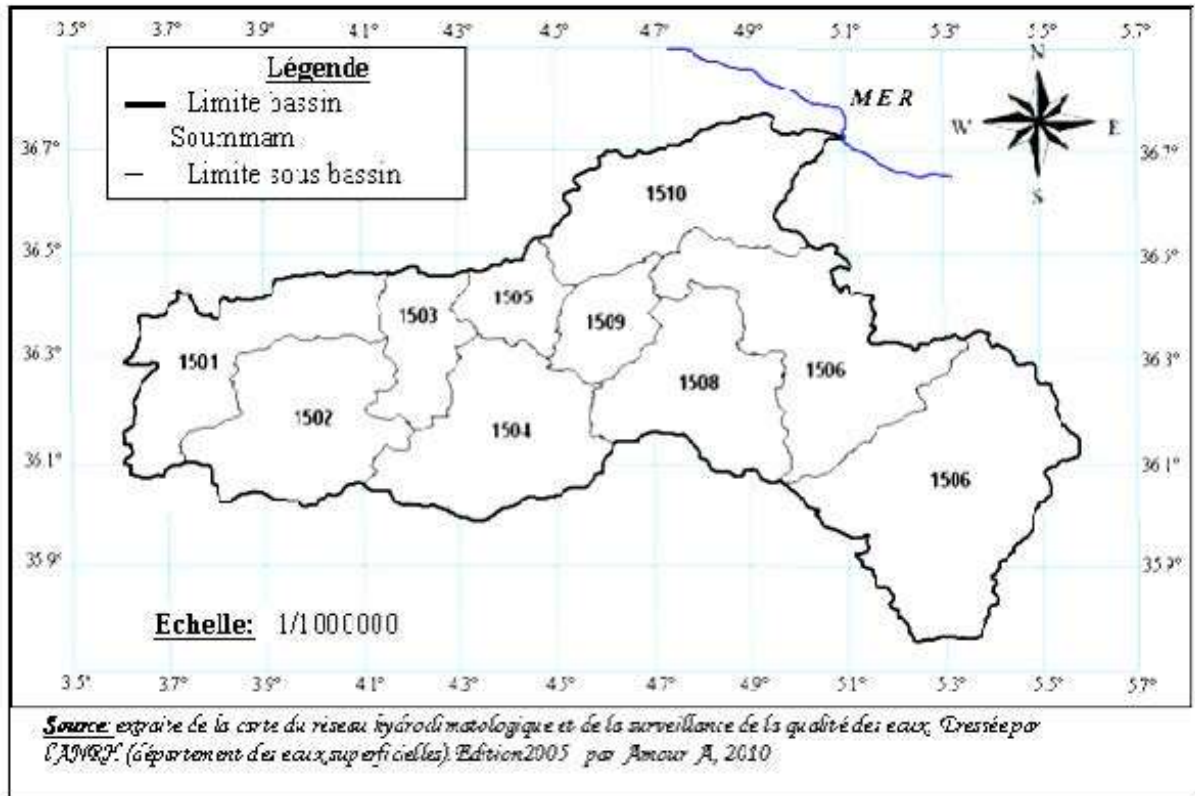


Figure (I.3) : les sous bassins de la Soummam. [1] (Source : Extraite de la carte du réseau hydro climatologique et de la surveillance de la qualité des eaux, dressée par l'A.N.R.H) 2005.

Tableau (I.1) : Superficies des sous bassins versants de la Soummam. [12]

Sous bassin versant	Code	Superficie (km ²)
Oued Eddous	1501	903
Oued Zaiane	1502	1012
Oued Sahel amont	1503	430
Oued Azerou	1504	1084
Oued Sahel Aval	1505	326
Oued Bousselam Amont	1506	1785
Oued Bousselam Moyen	1507	1234
Oued El Ham	1508	930
Oued Bousselam Aval	1509	360
Oued Soummam	1510	1061

A son embouchure, l'oued Soummam présente un apport de $700.106 \text{ m}^3/\text{an}$ d'eau qu'il verse en mer Méditerranéenne (Visitery, 1987). L'apport principal provient des affluents de la rive gauche, avec un total moyen de $68.106 \text{ m}^3/\text{an}$, et les affluents de la rive droite déversent un total moyen de $25 \times 106 \text{ m}^3/\text{an}$ (tableau I). Les affluents de la rive gauche étant situés sur des versants plus arrosés en pluies et en neige, leur permettant de canaliser un écoulement de surface plus important que celui des versants drainés par les affluents de la rive droite. Quant aux eaux souterraines, les aquifères s'y trouvant piégés dans des couches assez profondes, ne sont acheminées vers la surface que par des courants ascendants.

Tableau (I.2) : Le débit moyen annuel des affluents de l'oued Soummam (Visitery, 1987).

Affluents de l'oued Soummam	Superficie du bassin versant (km ²)	Débites moyens (m ³ /an)
Oued Sahel	3800	-
Oued Illoula	40	4×10^6
Rive Gauche Oued Ighzer Amokrane	80	12×10^6
Oued Remila	100	28×10^6
Oued El Kseur	55	12×10^6
Oued Ghir	50	12×10^6
Oued Boussellam	4300	-
Rive droite Oued seddouk	125	10×10^6
Oued Amassine	195	15×10^6
Oued Amizour	55	-

1.2.3 Principaux types du sol.

Les données pédologiques disponibles concernent uniquement la vallée de la Soummam. A ce niveau, Huit classes de sol ont été décrites par Energoproject (1963) ; sols minéraux bruts, sols peu évolués, Vertisols, sols calcimagnésiques, sols isohumiques, sols à sesquioxydes de fer, sols fersialitiques.

1.2.4 Le climat.

Il est généralement de type méditerranéen, mais il présente une hétérogénéité d'une localité à une autre, dû à la configuration orographique du territoire. On note un climat subhumide dans la partie aval de la vallée de l'oued Soummam jusqu'à Sidi Aich, un climat semi-aride à aride sur le reste du bassin versant (plateau de Sétif et de Bouira) (Benhamiche, 1997).

Tableau (I.3) : Caractéristiques du bassin versant de la Soummam. [12]

Caractéristiques	symbole	valeur	unité
superficie	S	9125	Km ²
périmètre	P	554	Km
Indice de compacité	Kc	1.62	-
Longueur du rectangle équivalent	L	238	Km
Largeur du rectangle équivalent	I	38.34	Km
Longueur du thalweg principal	Lt	150	Km
Altitude max	Hmax	2308	m
Altitude min	Hmin	2	m
Altitude moyenne	Hmoy	785	m
Indice de pente global	Ig	4.16	m/Km
Densité de drainage	DP	0.62	Km/Km ²
Coefficient de torrentialité	Ct	0.089	-
Rapport de confluence	Rb	variable	-

1.2.5 Sous bassin versant de BENI-HAMDOUNE.

1.3 Etude du climat.

1.3.1 Conditions climatiques.

Le climat est l'ensemble de circonstances atmosphériques et météorologiques (humidité, pressions, températures...) propres à une région. Il peut être dévastateur dans ses deux extrémités, sécheresse ou humidité. Ses conditions, telles que : les précipitations, les évapotranspirations, l'humidité, la température, le vent et la pression atmosphérique, sont la mosaïque qui déterminent le comportement hydrologique d'un bassin versant, la vulnérabilité de ce dernier, sa population ainsi que ses infrastructures en dépendent grandement.

En Algérie le climat est de type méditerranéen sur toute la frange nord qui englobe le littoral et l'Atlas Tellien (étés chauds et secs, hivers humides et frais) ; la vallée de la Soummam est sous un climat tempéré avec un léger changement saisonnier de la température. Sur les plateaux de Sétif et de Bouira, le climat est continental et sec avec des hivers froids et des étés chauds. La partie sud de plateau de Sétif est subhumide à semi-aride.

1.3.2 Pluviométrie.

Elle mesure l'ensemble des précipitations (les apports provenant au sol sous forme liquide ou solide), comme la pluie ou la neige, produites sur une aire géographique pendant une période donnée. Les résultats sont donnés par des appareils tels que : le pluviomètre, le pluviographe ou le radar météorologique.

En ce qui concerne le bassin versant de la Soummam, du littoral vers les zones de l'intérieur, trois étages bioclimatiques ont été distingués (Benhamiche, 1997) ;

- Etage Humide, sur le bassin versant nord avec des précipitations supérieures à 900 mm par an,
- Etage subhumide entre El Kseur et Sidi Aich, avec une pluviométrie moyenne de 600 à 900 mm par an.
- Etage semi-aride, le long de la vallée de Sidi Aich à Tazmalt, avec une pluviométrie relativement faible de 400 à 600 mm par an et des températures légèrement plus élevées allant de 26 à 30°C°.

Tableau (I.4): Précipitations annuelles des cinq stations pluviométriques du bassin versant de La Soummam (1971-1985). [2]

Année	Tilesdit	El Asnam	Porte de	Sidi Yahia	Sidi Aich
1971	349.03	106.03	450.3	296.73	1351.0
1972	265.29	446.4	328.2	456.26	1397,6
1973	182.73	389.9	N.obs	276.84	944,55
1974	56.71	289.3	N.obs	95.19	N.obs
1975	102.9	581.1	310.3	247.16	670
1976	55.07	406.3	245.9	132.08	N.obs
1977	34.96	361.3	223.3	71.32	N.obs
1978	74.57	335.3	249.5	94.41	4,4
1979	98.59	377.9	N.obs	78.66	3,32
1980	113.2	452.3	372.6	158.47	6,511
1981	119.6	503	359.7	291.26	6,95
1982	82.9	498.9	396.8	N.obs	577,1
1983	39.51	120.2	184.5	N.obs	385,8
1984	102.5	643.2	234.9	371.65	4,995
1985	63.73	552.1	372.7	85.86	N.obs

1.3.3 Température.

Le traitement des caractéristiques thermiques est essentiel dans telle étude, car la température est un élément très important dans la détermination du climat, dans l'étude hydrologique et dans l'établissement du bilan hydrique, elle a une influence directe dans la détermination des débits (Crue et étiage) et leurs variations.

Tableau (I.5) : Températures moyennes mensuels à la station de Béjaia (2010-2019).

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.
T°	23.84	20.68	15.94	12.45	11.69	11.56
Mois	Mars.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.
T°	13.73	16.21	18.5	22.26	25.46	25.99
Température moyenne : $T^{\circ}_{\text{moy}} = 18.19$						

- Les mois les plus froids de ces neuf années sont : Janvier et Février, ayant une moyenne mensuelle de 11.69°C et de 11.56°C respectivement.
- Les mois les plus chauds sont : juin et Juillet, ayant une température de 25.46°C et 25.99°C respectivement ;
- La moyenne annuelle est de l'ordre 18.19°C.

1.3.4 Le vent.

Les vents sont caractérisés par leurs directions, leurs vitesses et leurs intensités :

Les vents de direction ouest/nord-ouest sont responsables de la pluviométrie.

Les vents de directions Sud-Nord engendrent une forte évapotranspiration et une sécheresse abaissant l'humidité.

1.3.5 Détermination du type du climat.

Indice d'aridité DE MARTONNE (1923).

C'est le rapport des précipitations moyennes mensuelles (mm) et la température annuelle (°C), il est calculé par la formule suivante :

$$I_a = \frac{P}{T + 10}$$

Tableau (I.6) : Calcul d'indice d'aridité.

Station	P (mm)	T (°C)	Ia
Béjaia	822.24	18.19	29.18

Tableau (I.7) : Classement en fonction de l'indice d'aridité de DE. Martonne.

Classement de l'indice d'aridité.	Type de climat.
$I_a < 5$	Climat hyperaride
$5 < I_a < 7.5$	Climat désertique
$7.5 < I_a < 10$	Climat steppique
$10 < I_a < 20$	Climat semi-aride
$20 < I_a < 30$	Climat tempéré
$I_a > \gg 30$	Climat humide

N.B : La région de notre étude se caractérise par un régime thermique tempéré.

1.4 Etude du bassin versant de BENI HAMDOUNE.

1.4.1 Les caractéristiques géométriques.

Le comportement d'un bassin versant dépend de manière intrinsèque de sa forme, sa géologie et sa géomorphologie, le débit qui s'y coule est l'expression de ses caractéristiques géométriques (surface, périmètre, longueur du thalweg principal).

a. Le périmètre.

Le périmètre est la longueur, généralement exprimée en km, de la ligne de contour du bassin ; sa mesure est faite à l'aide d'un curvimètre. Pour certaines applications on trace le périmètre stylisé du bassin en lissant son contour.

La délimitation du bassin versant de Beni-hamdoune, faite sur Google-Earth, nous donne son périmètre comme suit : $P = 15.4$ km.

b. La surface.

C'est la portion du plan délimitée par la ligne de crête, ou contour du bassin. Sa mesure est faite soit à l'aide d'un planimètre, soit par la méthode des petits carrés, et est généralement exprimée en Km^2 .

Le bassin versant Beni-hamdoune a une surface. $S = 10.8$ km^2 .

Longueur du thalweg principal :

$$L = 7.53 \text{ km.}$$

1.4.2 Caractéristiques de forme.

La réponse d'un bassin versant à une averse varie suivant sa forme, l'eau prend beaucoup de temps pour atteindre l'exutoire sur un bassin versant long, et chemin faisant elle se perd en infiltration ou en évaporation, par contre, sur un bassin versant plus compact dont les points sont rapprochés, l'eau parcourt rapidement la chevelure du bassin et conserve sa masse.

Pour donner la forme de notre bassin versant, nous allons utiliser les trois indices suivants :

- L'indice de compacité.
- Le rectangle équivalent.
- Le coefficient d'allongement.

1.4.2.1 Indice de compacité de Gravelius K_c (1914).

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

Si A est la surface du bassin en Km^2 et P son périmètre en km, le coefficient K_c est égal à :

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Si : $K_c < 1$ Le bassin est circulaire.

Si : $K_c > 1$ Le bassin est allongé.

- L'indice de compacité du bassin versant de Beni-Hamdoune : $K_c = 1.32$: Le bassin versant est de forme allongée.

1.4.2.2 Rectangle équivalent ou Rectangle de Gravelius.

Cette notion a été introduite pour pouvoir comparer des bassins versants entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques géométriques sur l'écoulement.

Soit L et I la longueur et la largeur du rectangle, et P et S le périmètre et la Surface du bassin versant.

On a :

$$L = \frac{K\sqrt{S}}{1.12} \left[1 + \left(\frac{1.12}{K} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (1)$$

$$I = \frac{K\sqrt{S}}{1.12} \left[1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (2)$$

Application numérique : L = 5.92 Km.
I = 1.82 Km.

Remarque : $(5.923 \times 1.822) = 10.80$

1.4.2.3 Coefficient d'allongement.

Traduction anglaise : Elongation coefficient

Rapport (E) entre le plus long parcours de l'eau (L) sur un bassin versant et la racine carrée de la surface (S) de ce bassin versant :

$$E = \frac{L}{\sqrt{S}} \dots\dots\dots (3)$$

Le coefficient d'allongement conditionne la réponse d'un bassin versant à une pluie. Cette notion est utilisée explicitement dans la méthode de Caquot sous la forme d'un coefficient de correction du débit donné par les formules établies pour un coefficient $E=2$.

- Le bassin versant de Beni-hamdoune donne : $E=1.80$

1.4.3 Caractéristiques de relief.

1.4.3.1 Le relief.

Le relief a une influence remarquable sur l'écoulement, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse de l'écoulement. Le relief se détermine au moyen d'indices et de courbes. La figure (1.4), obtenue par le logiciel Global Mapper, représente le relief de la zone de notre étude.

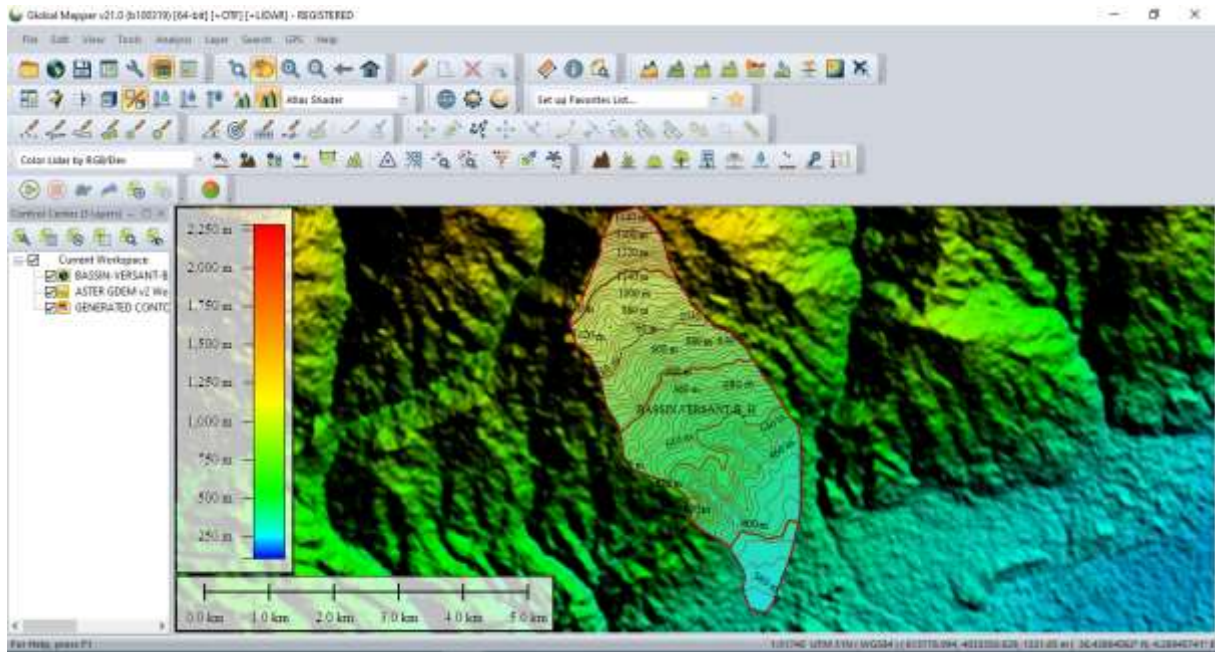


Figure (1.4) : Carte du relief du sous bassin versant Beni-Hamdoune.

Tableau (I.8) : tableau définissant l'hypsométrie du bassin versant de Beni-Hamdoune donné par le logiciel MapInfo.

Altitudes (m)	Surfaces cumulées (m)	Surfaces cumulées (%)	Surfaces partielles (m)	Altitudes (m)	Surfaces cumulées (m)	Surfaces cumulées (%)	Surfaces partielles (m)
320	6357.5954	0.06%	15188.28	960	3814939.8	35.26%	170499.6
340	21545.870	0.20%	24855.22	980	3985439.5	36.83%	185028.9
360	46401.089	0.43%	31802.68	1000	4170468.4	38.54%	168598.7
380	78203.773	0.72%	63408.59	1020	4339067.2	40.10%	186306.1
400	141612.36	1.31%	52186.23	1040	4525373.3	41.82%	201735.9
420	193798.58	1.79%	64258.03	1060	4727109.3	43.69%	252327.3
440	258056.61	2.38%	64569.19	1080	4979436.6	46.02%	285015.6
460	322625.80	2.98%	55635.65	1100	5264452.2	48.65%	227265.9
480	378261.44	3.50%	72782.67	1120	5491718.2	50.75%	246619.5
500	451044.11	4.17%	86397.92	1140	5738337.7	53.03%	275539.7
520	537442.04	4.97%	51381.32	1160	6013877.5	55.58%	218336.1
540	588823.36	5.44%	49755.82	1180	6232213.6	57.60%	323200.5
560	638579.18	5.90%	86820.07	1200	6555414.2	60.58%	329553.0
580	725399.25	6.70%	101302.6	1220	6884967.2	63.63%	388659.3
600	826701.85	7.64%	125281.0	1240	7273626.6	67.22%	318911.1
620	951982.84	8.80%	168405.0	1260	7592537.7	70.17%	250072.9
640	1120387.8	10.35%	195394.1	1280	7842610.7	72.48%	240909.8
660	1315781.9	12.16%	210872.6	1300	8083520.6	74.70%	271388.0
680	1526654.6	14.11%	233431.2	1320	8354908.7	77.21%	282970.5
700	1760085.8	16.27%	213098.3	1340	8637879.2	79.83%	266687.8
720	1973184.2	18.24%	159019.3	1360	8904567.0	82.29%	344461.2
740	2132203.5	19.70%	121519.7	1380	9249028.2	85.48%	288187.5
760	2253723.3	20.83%	146267.4	1400	9537215.8	88.14%	159517.4
780	2399990.8	22.18%	170840.2	1420	9696733.2	89.61%	149422.9
800	2570831	23.76%	132065.1	1440	9846156.2	90.99%	258698.9
820	2702896.1	24.98%	132451.2	1460	10104855.	93.38%	243026.7
840	2835347.4	26.20%	130891.9	1480	10347882	95.63%	103965.5
860	2966239.3	27.41%	160687.6	1500	10451847.	96.59%	368845.4
880	3126926.9	28.90%	168307.7	TOTAL	10820693	100%	
900	3295234.7	30.45%	172025.7				
920	3467260.4	32.04%	175539.1				

1.4.3.2 Courbe hypsométrique.

Cette courbe représente la relation des altitudes en fonction des surfaces cumulées (en pourcentages), elle renseigne sur le degré de maturité d'un cours d'eau, selon le modèle de Davis, elle est tracée à partir des résultats de mesure de la répartition du bassin versant par tranche d'altitudes et de surfaces partielles.

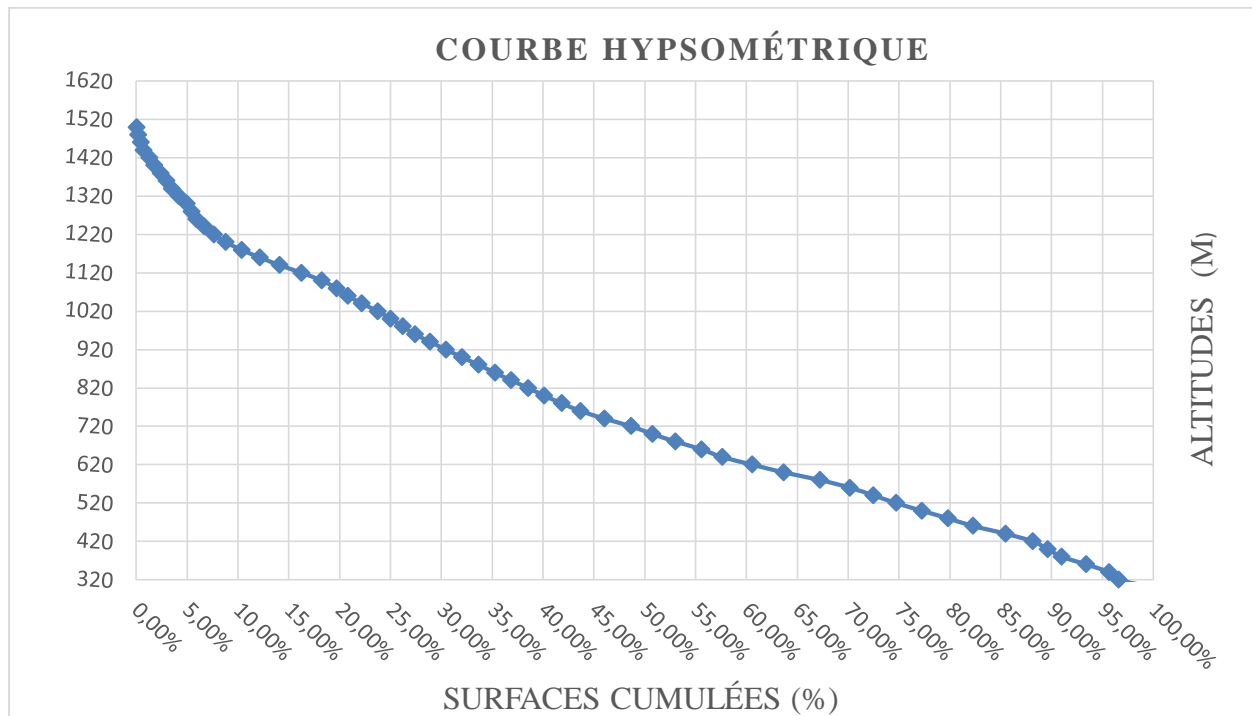


Figure (I.5) : Courbe hypsométrique du bassin versant Beni-Hamdoune.

1.4.3.3 Hauteurs caractéristiques.

a. Altitude maximale et minimale :

Elles sont lues directement sur les cartes topographiques, l'altitude maximale correspond au point le plus élevé dans le bassin qui se trouve en amont quant à l'altitude minimale, qui se trouve en aval du bassin versant, à l'exutoire, correspond au point le plus bas. Ces deux données deviennent importantes lors du développement de certaines relations faisant intervenir des variables climatologiques telles que la température et la précipitation. (MUZY André, 1998).

- $H_{\min} = 320\text{m}$.
- $H_{\max} = 1449$

b. Altitude moyenne du bassin versant : (SARI Ahmed) :

L'altitude moyenne du bassin versant est un indice important qui intègre et présente l'influence de la zonalité climatique verticale et elle est déterminée par la somme du produit de la surface partielle S_i comprise entre les courbes de niveau, et des altitudes moyennes correspondantes H_i .

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum (h_i \times s_i)}{S} \dots\dots\dots (4)$$

On aura : $H_{\text{moy}} = 769.9\text{m}$

c. L'altitude médiane :

Elle correspond à la valeur lue sur l'axe des ordonnées de la courbe hypsométrique à l'abscisse 50%. Cette valeur se rapproche de la valeur de l'altitude moyenne si la pente de la courbe hypsométrique est assez régulière.

On peut lire sur notre courbe : $H_{50\%} = 710$ m

d. L'altitude $H_{95\%}$:

Elle correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 95% de la surface totale du bassin, sur l

e. L'altitude $H_{5\%}$:

Elle correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 5% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique, on lit : $H_{5\%} = 1300$ m

Sur la courbe hypsométrique, on lit $H_{95\%} = 350$ m

1.4.3.4 Les indice de pente.

La répartition hypsométrique permet de déterminer les indices de pente qui caractérisent les pentes du bassin versant afin de connaître sa classification et d'effectuer des comparaisons.

1.4.3.5 La dénivelée.

Elle est calculée par la formule suivante : $D = H_{5\%} - H_{95\%}$

1.4.3.6 Indice de pente globale I_g (P. Dubreuil, 1974).

L'indice de pente globale se calcule à partir de la courbe hypsométrique, avec les altitudes $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$:

$$I_g = \frac{D}{L} \dots\dots\dots (5)$$

❖ Application numérique : $D = 1300 - 358 \rightarrow 942$

$$I_g = \frac{942}{5.92} \rightarrow 159.12$$

$I_g = 159.12$ soit : 1.6%

1.4.3.7 Indice de pente moyenne du bassin versant I_m :

L'indice de la pente moyenne est le rapport entre $(H_{\max} - H_{\min})$ et la longueur du rectangle équivalent.

$$I_m = \frac{\Delta}{L} = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{L} \dots\dots\dots (6)$$

❖ Application numérique :

$$\Delta = H_{\max} - H_{\min} = 1449 - 320 = 1129$$

$$I_m = 238.15$$

1.4.3.8 La dénivelée Spécifique « DS ».

Elle est calculée par la formule suivante :

$$D_s = I_g \times \sqrt{S} = \frac{D}{L} \times \sqrt{S} \dots\dots\dots (7)$$

❖ Application numérique :

$$D_s = 522.92$$

Tableau (I.9) : La classification d'O.R.S.T.O.M (Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-mer).

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

Tableau (I.10) : La dénivelée et la dénivelée spécifique et état du relief.

Bassin versant	Dénivelée (m)	Dénivelée spécifique (m)	Etat du relief
Beni-Hamdoune	942	522.92	Relief très fort

1.5 Caractéristiques hydrographiques du bassin versant.

1.5.1 La chevelure hydrographique.

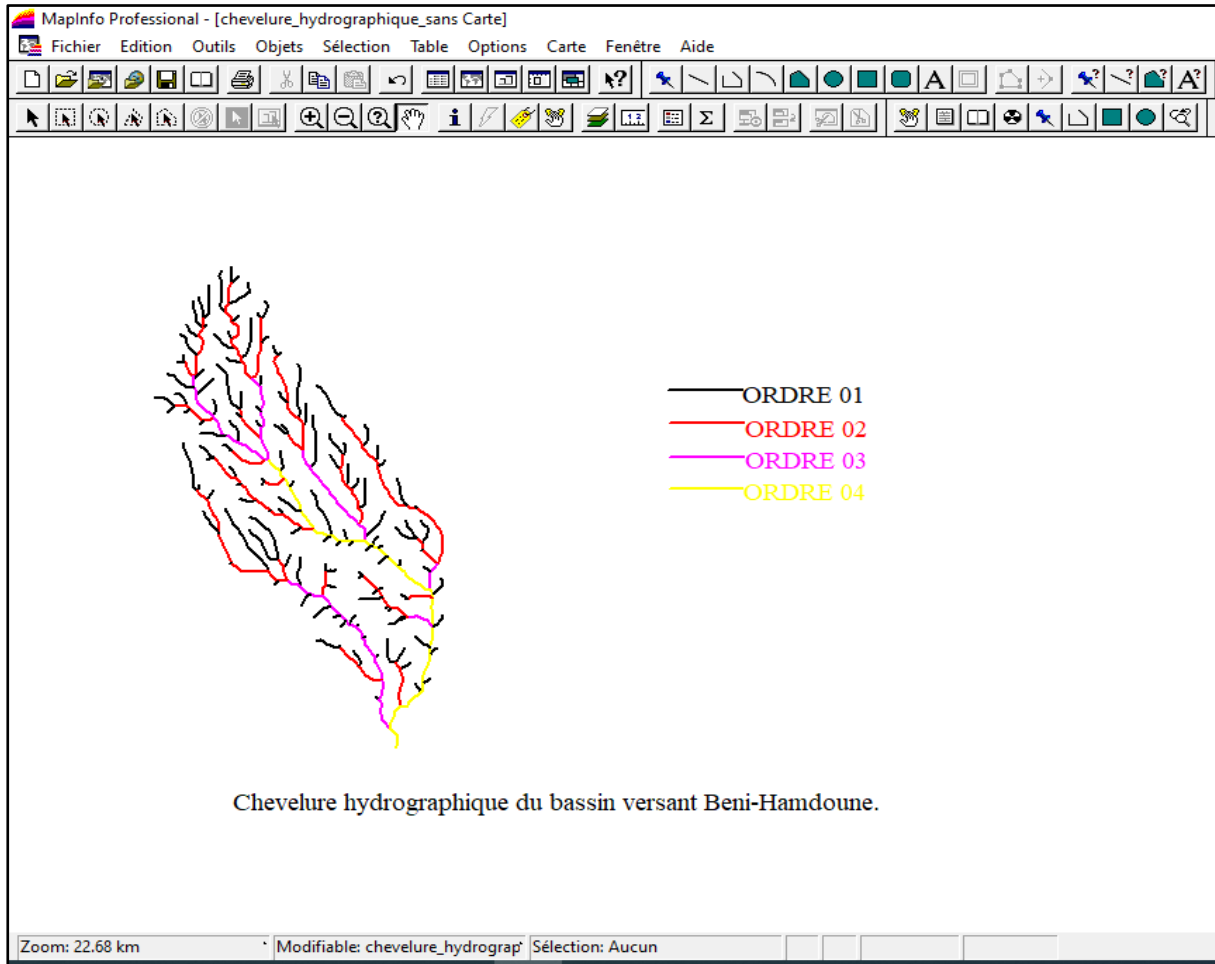


Figure (I.6) : Réseau hydrographique du bassin versant Beni-Hamdoune faite avec MapInfo.

1.5.2 Densité de drainage D_d .

C'est le rapport entre la longueur totale de tous les talwegs L_i du bassin versant, à la surface S . Elle reflète la dynamique du bassin, la stabilité du chevelu hydrographique et le type de ruissellement de surface. Elle est exprimée en Km/Km^2 .

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S} \dots\dots\dots (8)$$

❖ Application numérique :

$L = 57.23 \text{ Km}$.

$S = 10.8 \text{ Km}^2$.

$D_d = 5.3 \text{ Km}/\text{Km}^2$

La densité de drainage est un critère important dans la connaissance de la géologie ou du climat, elle est plus ou moins faible lorsque le bassin versant en question contient des matériaux perméables et/ou possédant une couverture végétale continue, mais lorsque le bassin versant comporte des roches et des matériaux imperméables, la densité de drainage, dans ce genre de bassin, se trouve notablement élevée. La présence de pentes accentuées où l'avènement de certaines pluies torrentielles (forte intensité et en courte durée) peuvent aussi l'influencer.

1.5.3 La fréquence des thalwegs d'ordre 1.

C'est le rapport du nombre total de thalwegs d'ordre 1 à la surface du bassin versant tel que :

$$F_1 = \frac{N_1}{S} \dots\dots\dots (9)$$

Application numérique :

$$F_1 = 12.5$$

1.5.4 Coefficient de torrentialité.

Il est défini comme étant :

$$C_t = D_d \times F_1 \dots\dots\dots (10)$$

Application numérique :

$$C_t = 66.25 \text{ Km}^{-3}$$

1.5.5 Temps de concentration du bassin versant.

Le temps de concentration est le temps écoulé entre le début d'une précipitation et l'atteinte du débit maximal à l'exutoire du bassin versant. Il correspond au temps nécessaire pour permettre à l'eau de ruisseler du point le plus reculé du bassin versant jusqu'à l'exutoire.

Dans le contexte algérien et pour les grands bassins versants, il peut être notamment calculé par les formules suivantes :

a. La formule de GIANDOTTI (1937) : (CHAUMONT M.)

$$T_c = \frac{a\sqrt{S} + b \times L_p}{C \times \sqrt{H_m}} \dots\dots\dots (11)$$

Avec :

- a = 4 ; b = 1.5 ; c = 0.8 (pour les grands et moyens bassins d'Afrique du Nord).
- H_m : altitude moyenne relative du bassin en (Km) (différence entre l'altitude moyenne pondérée et l'altitude de l'exutoire H_{moy} – H_{min}).

Cette formule a été éprouvée en Afrique du Nord et parait fournir une bonne valeur du temps de concentration pour les grands et moyens bassins (de 400 à 10000 Km²).

Pour les petits bassins on lui préfère la formule de Ventura. (CHAUMONT M.)

Application numérique :

$$T_c = 1.97$$

b. La formule de KIRPICH.

$$T_c = 0.6615 \times (L_{cp})^{0.77} \times (L_g)^{-0.385} \dots\dots\dots (12)$$

Application numérique :

$$T_c = 1.37$$

c. Formule de L'A.N.R.H : (SOGREAH 1986/1989).

Cette formule été développée par Sogreah sur demande de l'A.N.R.H, elle est vérifiée et recommandée pour les petits bassins versants de l'Algérie.

Elle se présente comme suit :

$$T_c = 3 \times \left(\frac{S_{BV} \times L_{cp}}{(10 \times I_{BV})^{3/2}} \right)^{1/4} \dots\dots\dots (12)$$

Application numérique :

T_c=1.93

Les résultats de différentes méthodes sont présents dans le Tableau suivant :

Tableau (I.11) : Résultats du calcul du temps de concentration pour le bassin versant de Beni-Hamdoune par différentes méthodes.

Formule	A.N.R.H	KIRPICH	GIANDOTTI
Résultat	1.93	1.07	1.97

❖ *N.B : Nous avons choisi le résultat de la formule de l'A.N.R.H car il représente la valeur la plus proche de la moyenne des trois méthodes qui est 1.65.*

1.5.6 Vitesse de ruissellement.

C'est la vitesse qui caractérise un écoulement superficiel, sur les pentes d'un réseau hydrographique d'un bassin versant, des eaux qui n'ont pas été absorbées par la terre par infiltration et qui proviennent des averses ou après la fonte des blocs neigeux.

Elle se définit comme suit : $V_r = \frac{L_p}{T_c} \dots\dots\dots (13)$

Tableau (I.12) : Caractéristiques hydrométriques du bassin versant de l'oued Beni-Hamdoune.

Désignation		Symbole	Unités	Oued Beni-Hamdoune.
Superficie		S	Km ²	10.8
Périmètre		P	km	15.4
Longueur du thalweg principal		L	km	7.46
Indice de compacité		K _c	/	1.32
Coefficient d'allongement		E	/	1.8
Rectangle équivalent	longueur	L _r	km	5.92
	largeur	l _r	Km	1.82
Altitudes	maximale	H _{max}	m	1449
	moyenne	H _{moy}	m	769.9
	Minimale	H _{min}	m	320
Indice de pente globale		I _g	m/Km	159.12
Indice de pente moyenne		I _m	m/Km	238.15
Densité de drainage		D _d	Km/Km ²	1.51
Coefficient de torrentialité		C _t	Km ⁻³	66.25
Temps de concentration		T _c	h	1.93
Vitesse de ruissellement		V _r	Km/h	3.86

Application numérique : V_r= 3.86 Km/h.

1.6 Conclusion.

Le bassin versant Beni-Hamdoune sis à Tazmalt, sous bassin versant de la Soummam et situé dans le coté sud-est au pied du Djurdjura. Sa superficie est son périmètre, mesurés à l'aide du logiciel Google-Earth, sont respectivement 10.8 Km^2 et 15.4 Km . Sa forme allongée favorise l'écoulement, elle est vérifiée par son indice de compacité de Gravelius K_c qui équivaut à 1.32.

Le relief de notre bassin versant est également une donnée importante pour la connaissance de la morphologie du terrain, avec l'aide de la dénivelée spécifique, calculée par la formule de Muzy André, nous avons obtenu : $D_s=522.92$, nous concluons que le relief est très fort.

Finalement la chevelure hydrographique très dense qui caractérise notre relief et le temps de concentration T_c qui correspond au temps nécessaire à l'eau pour parcourir le bassin versant, trouvé par la formule de Sogreah et égal à 1.93, nous renseigne sur l'importance du ruissellement qui se produit lors des grandes précipitations.

Ces résultats nous conduisent à estimer que l'Oued de Beni-Hamdoune présente un risque d'inondation et un danger sur la population et les infrastructures de la région, il est donc d'une urgence vitale de prendre en considération ces résultats et de proposer une solution d'aménagement afin de maitriser les crues et leurs débordements.

***CHAPITRE II : ETUDE
GEOLOGIQUE***

2.1 Introduction.

La connaissance de la géologie est un prélude important avant d'entamer un quelconque travail sur un terrain, définir les paramètres géologiques et les types des sols existants est le début de toute étude technique.

De manière assez concise, nous présentons quelques caractères généraux sur la géologie du bassin de l'oued Beni-Hamdoune afin de pouvoir distinguer entre les unités géologiques et les différents paramètres lithologique et hydrodynamique (niveau de perméabilité) qui influencent sur l'écoulement des eaux de surface au niveau de notre bassin.

2.2 Historique.

La géologie fut d'une importance capitale pour le pouvoir colonial français car elle constituait un outil au service du développement économique et industriel de la métropole. Et dès la conquête de l'Algérie en 1830, le service de l'état-major confie à ses militaires les travaux d'élaboration de la carte géologique du pays. Les premières études géologiques et la reconnaissance des richesses naturelles du sol furent d'abord effectuées par des officiers d'état-major comme le capitaine Rozet (1840-1842). Dans son sillage, une commission scientifique – créée en 1839 et présidée par E. Renou –, est chargée de l'exploration méthodique de l'Algérie. Dès 1843, l'ingénieur en chef des Mines, Henri-Jérôme-Marie Fournel et son collaborateur Ville (à partir de 1845) prennent la suite des opérations.

2.3 Aperçu sur la géologie de l'Algérie.

D'un point de vue géologique, l'Algérie est divisée en deux unités structurales à savoir :

- Le domaine orogénique du Nord de l'Algérie.
- Le domaine cratonique.

2.3.1 Domaine orogénique du Nord de l'Algérie.

Le Nord de l'Algérie fait partie d'un domaine orogénique instable depuis le Cénozoïque. C'est le domaine de la chaîne alpine dont la structuration n'est pas encore terminée, et qui est due au rapprochement des plaques africaine et européenne. Un accident tectonique majeur appelé : accident sud-atlasique, sépare le domaine cratonique de la plateforme saharienne du domaine orogénique du Nord de l'Algérie.

2.3.2 La chaîne alpine.

De l'Ouest à l'Est, La chaîne alpine d'Afrique du Nord ou chaîne des Maghrébides fait partie de l'orogène alpin périméditerranéen d'âge Tertiaire qui s'étend sur 2000 km du Rif à la Sicile. Dans ce domaine en forme d'anneau très aplati, on distingue classiquement les zones internes, situées à l'intérieur de l'anneau et représentées aujourd'hui par différents massifs, dispersés le long de la côte méditerranéenne et les zones externes situées à sa périphérie.

Du nord au sud, elle est composée des ensembles structuro-sédimentaires suivants :

1. Le plateau continental algérien.
2. L'atlas tellien.
3. Le Hodna.
4. Les hauts plateaux.
5. L'atlas saharien.
6. Les bassins du Chott Melrhir.

2.3.3 Les zones internes.

Elles sont représentées par des « massifs anciens » littoraux, bordés au sud par une « chaîne calcaire » ou « Dorsale ». En Algérie, les socles de la grande et de la petite Kabylie constituent l'essentiel des zones internes. Ces zones comportent un socle métamorphique surmonté par un

Paléozoïque schisteux allant du Cambrien au Carbonifère inférieur. La couverture mésozoïque et paléogène, localisée à la marge sud de ces massifs anciens, constitue le Dorsale kabyle ou Chaîne calcaire. Elle est vivement plissée et écaillée. Au cours de l'orogénèse alpine, les zones internes ont été largement charriées vers le Sud.

2.3.4 La zone des flyschs.

Elle est constituée par un matériel crétacé et paléogène qui s'est déposé dans un sillon qui se situait entre les zones internes et les zones externes. Les flyschs ont été charriés sur les zones externes puis, pour une partie, ils ont été ramenés sur les zones internes par des glissements plus tardifs.

2.3.5 Les zones externes.

Elles résultent du décollement et du clivage au Miocène de la couverture sédimentaire mésozoïque-paléogène déposée sur la marge nord de la plaque Afrique. En Algérie, les zones externes telliennes comportent de grandes nappes pelliculaires à matériel marneux du Crétacé-Paléogène.

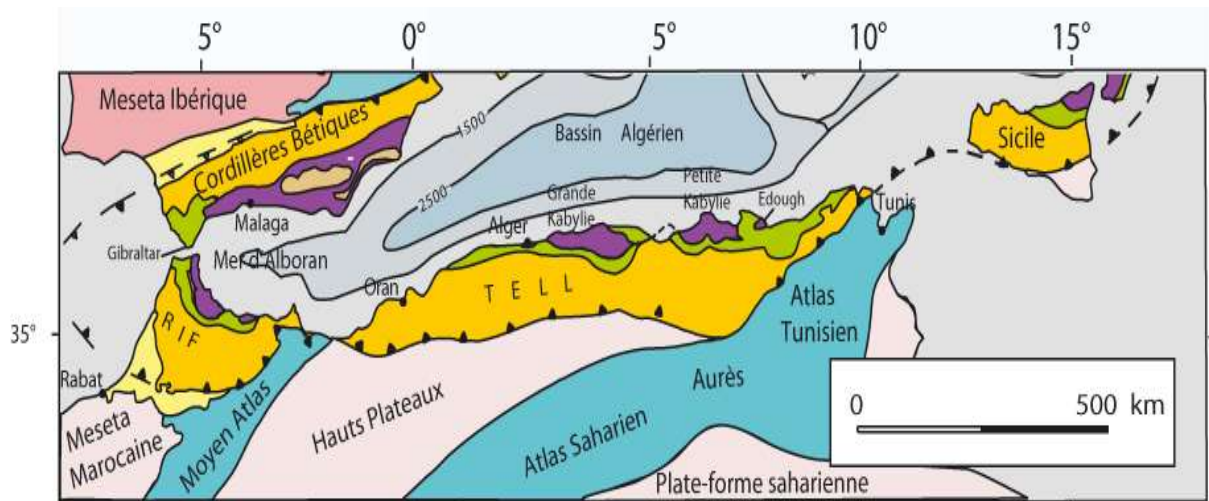


Figure (II.1) : Schéma structural des Chaînes alpines de la Méditerranée occidentale (d'après Chalouan)

2.3.6 Domaine cratonique.

Localisé dans le Sahara algérien, ce domaine est stable depuis 550 millions d'années. Il est constitué de deux boucliers où affleurent des roches métamorphiques et magmatiques et qui représentent les témoins de deux anciennes chaînes de Montagnes, et d'une plateforme appelée plateforme saharienne, structurée en bassins sédimentaires remplis de sédiments du Néoprotozoïque et du Phanérozoïque.

2.4 La plate-forme saharienne.

Les boucliers (Reguibat et Targui) sont entourés de bassins sédimentaires, remplis de sédiments du Néoprotozoïque et du Paléozoïque pour la couverture du bouclier Reguibat, et du Paléozoïque et Mésozoïque pour la couverture du bouclier Targui. Cette couverture sédimentaire a subi les contrecoups de l'orogénèse hercynienne, une chaîne de Montagnes édiflée beaucoup plus au Nord.

- **Le bouclier Reguibat** : il affleure dans le Sud-Ouest algérien, où il est connu sous le nom du massif Yetti-Eglab. Il représente le témoin de la chaîne (orogène) éburnéenne dont l'édification remonte à 2 Ga.
- **Le bouclier Targui** : il affleure dans le Sud du Sahara central et oriental, où il est connu sous le nom du massif du Hoggar. Il représente le témoin de la chaîne (orogène) panafricaine dont l'édification s'est terminée il y a 550 millions d'années

2.5 Situation géographique.

Le bassin versant Beni-Hamdoune, situé au nord de la commune de Tazmalt à 17 km à l'ouest d'Akbou, il se place entre Aghbalou à l'est, Chakouran au sud et Illilten au nord. C'est un sous bassin de la Soummam qui est situé dans la partie centrale au Nord de l'Algérie suivant la direction de parallèle 35° 45' et 36° 45'.

La carte des sols du bassin de la Soummam établie en 1945 par J-H Durand, chef du service des études pédologiques du gouvernement général d'Algérie, fait apparaître nettement la disposition zonale des sols algériens :

- Sols éoliens formés dans les régions désertiques ;
- Sols stables formés dans la zone semi-aride ;
- Sols lessivés formés dans la zone tellienne humide.

Elle montre que c'est surtout dans cette dernière zone que les liaisons entre sols et roches mères sont remarquables ; zone où se situe notre bassin versant, et où l'on trouve des types de sols très anciens de formation paléo-marécageuse et qui sont caractérisés par des formations bien accentuées.

Les sols de la Soummam sont majoritairement calcaires, très perméables à cause de leurs textures légères et fragiles. Au nord du bassin, les sols ne sont pas saturés, ils contiennent plus d'argile que de calcaire est dont l'argile peut être plus abondante en surface qu'en profondeur ; leurs roches mères sont généralement imperméables ou donnent des produits de décomposition imperméables.

Le long des oueds, les sols existants sont alluviaux avec, çà et là, des sols calciques et des sols en équilibre peu épais, plus ou moins riches en calcaire et très pauvres en sels solubles.

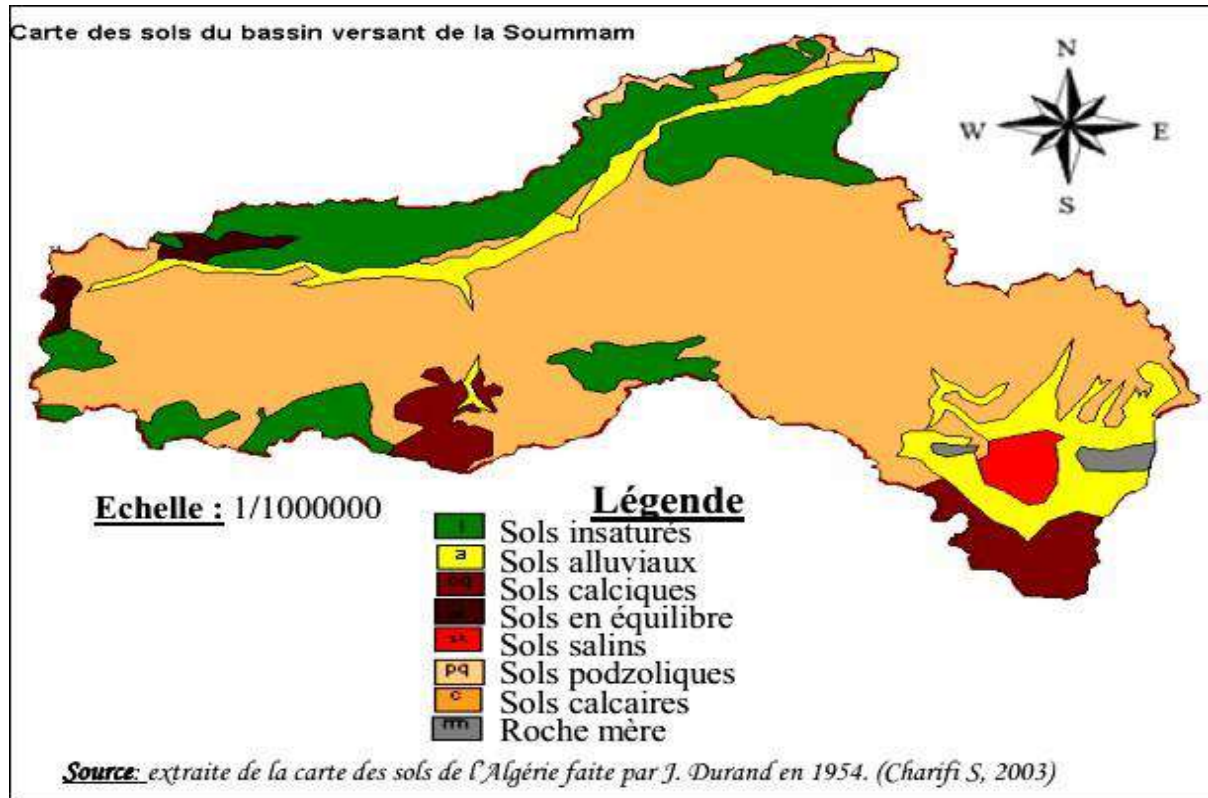


Figure (II.2) : Carte des sols du bassin versant de la Soummam, faite par J.Durand en 1954.

2.6 Cadre géologique du bassin.

Suivant la carte dressée par Energoproject (1963), le bassin versant de la Soummam est formé par des dépôts alluvionnaires anciens et actuels sur le lit majeur de l'oued Soummam, un substrat siliceux sur tout le versant exposé au nord et un substrat calcaire dominant la majeure partie du versant exposé au sud, avec une zone marno-argileuse (le miocène/pliocène) s'étendant d'El Kseur à Sidi Aïch. A la périphérie de ce bassin, on note des ensembles pétrographiques ; siliceux pour le massif d'Akfadou et du Djurdjura, calcaire pour le Gouraya et la chaîne des Babors.

Conclusion :

Le bassin versant de Beni-Hamdoune qui se trouve au nord de l'Algérie, appartient donc à cette partie du domaine orogénique du Nord de l'Algérie depuis le Cénozoïque, elle a été fragilisée par un accident majeur, appelé accident sud-atlasique, ayant altéré sa structure, ses sols sont devenus donc, très perméables et d'une texture assez légère, Ils sont généralement éoliens et appartenant au climat semi-aride.

La connaissance de la géologie nous guide à travers notre étude, elle nous alerte si nos résultats ne seraient pas conformes à la réalité du terrain, et nous permet aussi d'avoir une idée plus précise sur les difficultés auxquelles nous serons confrontés.

***CHAPITRE III : ETUDE
PLUVIOMETRIQUE.***

3.1 Introduction.

La pluviométrie en Algérie, qui a été d'abord confiée à l'état-major de l'armée française, a subi des perturbations lors de la guerre d'indépendance et a connu des modifications après les années soixante, donc les séries pluviométriques à notre disposition sont très récentes, entachées d'erreur ou sans précision, et nous n'avons pas une archive qui nous permet de faire des comparaisons afin de rectifier ces anomalies. Le défi maintenant est de travailler avec les données collectées sur le terrain, récentes et sans précision, et d'essayer de dégager des résultats aussi proches de réalité que possible.

Nous allons, dans ce chapitre, faire appel à certains outils techniques, statistiques et graphiques, afin de traiter convenablement des données pluviométriques, corriger les erreurs qu'elles comportent, et dégager un bon constat quant à l'hydro pluviométrie de la région et l'estimation de la lame d'eau moyenne.

3.2 Etude des précipitations.

On englobe sous le terme de précipitations, toutes les eaux météoriques ou hydrométéores qui tombent à la surface de la terre, sous forme liquide (pluie) solide (neige, grêle, grésil).

La hauteur des précipitations atteignant le sol pendant une période donnée est définie comme l'épaisseur que celles-ci couvriraient sur un plan horizontal, s'il n'y avait pas de pertes par écoulement, infiltration ou évaporation, et si les précipitations solides fondaient sur place. Dans le Système Universel, cette hauteur de précipitation est exprimée en millimètres (mm), et elle correspond au nombre de litres d'eau sur un seul mètre carré du sol.

- 1 Litre → 10^6 mm^3 .
- 1 m² → 10^6 mm^2 .
- 1 L/m² → 1 mm.

Les précipitations sont donc un élément élémentaire permettant de suivre l'évolution spatiotemporelle de la pluviométrie dans une région donnée, pour ce faire nous avons retenu des séries de pluies moyennes mensuelles, acquises auprès de l'A.N.R.H (Agence Nationale des Ressources Hydriques), pour les stations pluviométriques du bassin versant de l'oued Benihamdoune à Tazmalt et dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau (III.1) : Caractéristique de station pluviométrique Tazmalt.

N°	Code	Nom de la station	Période d'observation.	Coordonnées		
				x=652.75	y=344.25	z=324
06	150501	TAZMALT	1969 - 2005	x=652.75	y=344.25	z=324

N.B : Les tableaux qui représentent les séries pluviométriques peuvent être parfois lacunaires, tant il est difficile de faire des observations sur une longue période sans être confronté à des problèmes d'ordre pratique, d'où le manque de données dans certains endroits ou leur inexactitude dans d'autres.

Tableau (III.2) : Série pluviométrique station de Tazmalt (1969 – 2004)

Année	P. Annuelle.	P.J. max.	Année.	P. Annuelle.	P.J. max.
1969	620,2	44,7	1988	359,8	34,8
1970	249,2	21,2	1989	348,5	24,8
1971	610,7	55,8	1990	/	/
1972	503,8	60,6	1991	368,4	24,3
1973	401,1	67	1992	280,2	18,4
1974	295,3	27	1993	276,4	36,4
1975	462,5	38,5	1994	453	30,4
1976	324,1	40,4	1995	348,2	41,2
1977	274,2	32,2	1996	226,8	17,6
1978	332,5	35,1	1997	520,4	26,4
1979	/	/	1998	302,5	23,7
1980	475,5	46,4	1999	273,5	38,8
1981	479,7	39	2000	334	35,8
1982	376,4	35	2001	275	24,6
1983	312,6	32,8	2002	672	41
1984	347,6	50,1	2003	461,3	28,6
1985	363,4	56	2004	284,6	30
1986	437,5	45,1			
1987	310,7	38,5			

3.3 Variation interannuelle de la pluviométrie.

La variabilité climatique est un phénomène planétaire qui touche beaucoup de pays dans le monde selon les travaux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2013). De plus, ces experts ont mis en évidence, sans équivoque, un réchauffement global causé par des facteurs anthropiques. Parmi les répercussions de celui-ci se trouve le changement du régime des précipitations. On constate, en effet, une augmentation des précipitations dans les régions continentales de moyenne latitude de l'hémisphère Nord et dans l'Est de l'Amérique du Sud, alors qu'on enregistre une diminution des précipitations au Sahel, en Méditerranée, en Afrique et dans une partie de l'Asie du sud (GIEC, 2013). Dans le cas de notre bassin versant, nous avons utilisé la méthode de la moyenne arithmétique et le calcul du coefficient d'immodération afin de déterminer la variation annuelle de la pluviométrie, comme le montrent le tableau et le graphe suivants :

Tableau (III.3) : Caractéristiques de la précipitation annuelle de la station pluviométrique du Bassin de l'oued Beni-hamdoune

Station de Tazmalt	Moyenne(P.an)	P.max	P.min	P.max/P.min
	357,741667	672	226,8	2,96296296

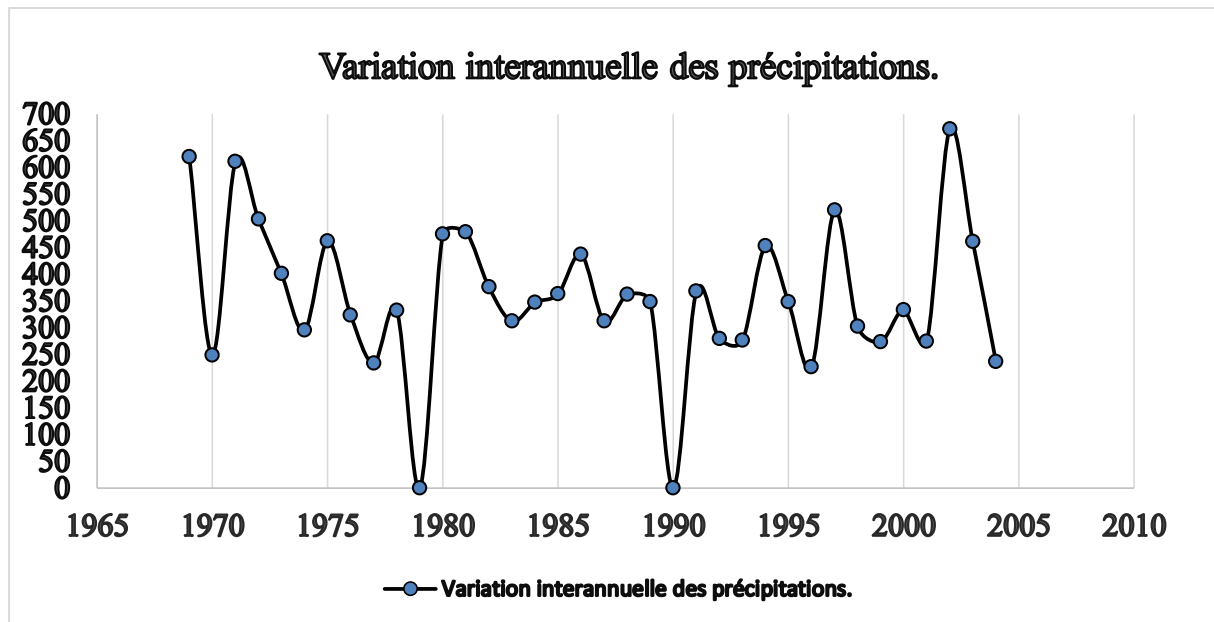


Figure (III.1) : Évolution des précipitations annuelles à la station de Tazmalt (1969-2004).

- N.B : Les pluies annuelles pour les années 1979 et 1990 sont lacunaires dans la série pluviométrique à notre disposition.

On peut observer une certaine irrégularité dans les moyennes annuelles calculées d'une part et constater, d'autre part, un coefficient d'immodération assez grand, ceci nous conduit à estimer que la pluviométrie interannuelle est irrégulière et de conclure que la répartition de la pluie dans notre bassin versant est plus ou moins non homogène.

Il faut noter aussi qu'il existe plusieurs méthodes, plus poussées et plus précises, qui permettent de mieux analyser les séries pluviométriques et déterminer avec plus d'exactitude la variation des précipitations ; à titre d'exemple : La méthode d'imputation multiple de Monte-Carlo par chaînes de Markov (MCMC) appelée aussi *fully conditional specification* (FCS) (BUUREN, 2007). Cette méthode a été utilisée dans plusieurs travaux pour combler des séries temporelles lacunaires, basée sur l'algorithme FCS, c'est une méthode itérative employée lorsque le motif de données manquantes est arbitraire, Pour chaque itération et pour chaque variable, on ajuste un modèle univarié (variable dépendante unique) en prenant les autres variables de ce modèle comme prédicteurs. Ensuite, on procède à l'imputation des valeurs manquantes pour la variable à ajuster. Cette procédure se répète jusqu'à atteindre le nombre maximal d'itérations. À l'itération maximale, les valeurs imputées seront enregistrées dans le jeu de données.

3.4 Variations temporelles des précipitations annuelles.

En observant les données de la série pluviométriques de la station de Tazmalt on peut constater que la pluviométrie annuelle a notablement changé au cours de la période d'étude, cette dernière se traduit par des maximums hauteurs des pluies.

N.B : Les précipitations annuelles varient d'une année à une autre et la courbe de tendance diminue avec le temps.

3.5 Ajustement des précipitations annuelles à une loi de probabilité.

Afin d'aboutir à une estimation des paramètres d'ajustement et calculer variables réduites, il y a lieu d'essayer de trouver une loi d'ajustement de la distribution des pluies annuelles, pour caractériser le régime des précipitations annuelles. Avant de faire l'ajustement de cette irrégularité inter annuelle des précipitations qui a un rôle essentiel dans l'écoulement fluvial.

L'ajustement graphique de la série pluviométrique de la station de Tazmalt pendant la période (1969/2004) montre que la pluie s'ajuste en général suivant une loi normale de Gauss ou une loi log-normale où la loi de log-normale est plus juste dans notre cas.

Les figurent suivantes montrent un ajustement par la méthode de Gambell et la méthode Log-normal avec une comparaison qui illustre la différence entre les résultats des deux calculs.

3.5.1 La loi de Gumbel.

En théorie des probabilités, la loi de Gumbel (ou distribution de Gumbel), du nom d'Émil Julius Gumbel, est une loi de probabilité continue.

La loi de Gumbel peut, par exemple, servir à prévoir le niveau des crues d'un fleuve, si on possède le relevé des débits sur dix ans. Elle peut aussi servir à prédire la probabilité d'un événement critique, comme un tremblement de terre. [17]

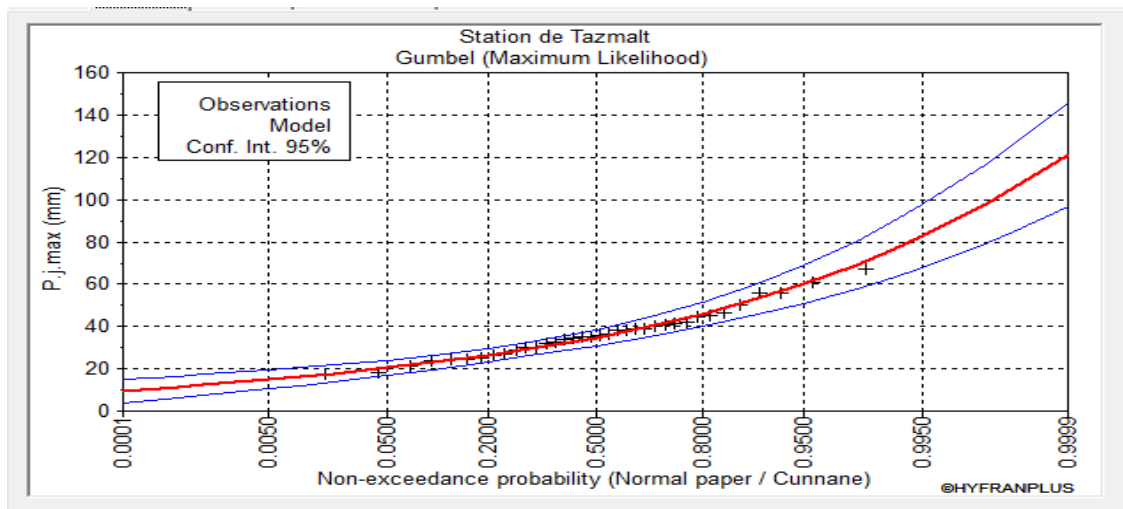


Figure (III.2) : Ajustement de pluviométrie annuelle à la station de Tazmalt (Gumbel), par le logiciel Hyfran.

3.5.2 Loi log-normale.

Cette loi est parfois appelée loi de Galton. Elle est habituellement notée : $\log N(\mu, \sigma^2)$ dans le cas d'une seule variable ou $\log(\mu, \Sigma)$ dans un contexte multidimensionnel.

Une variable peut être modélisée par une loi log-normale si elle est le résultat de la multiplication d'un grand nombre de petits facteurs indépendants. [17]

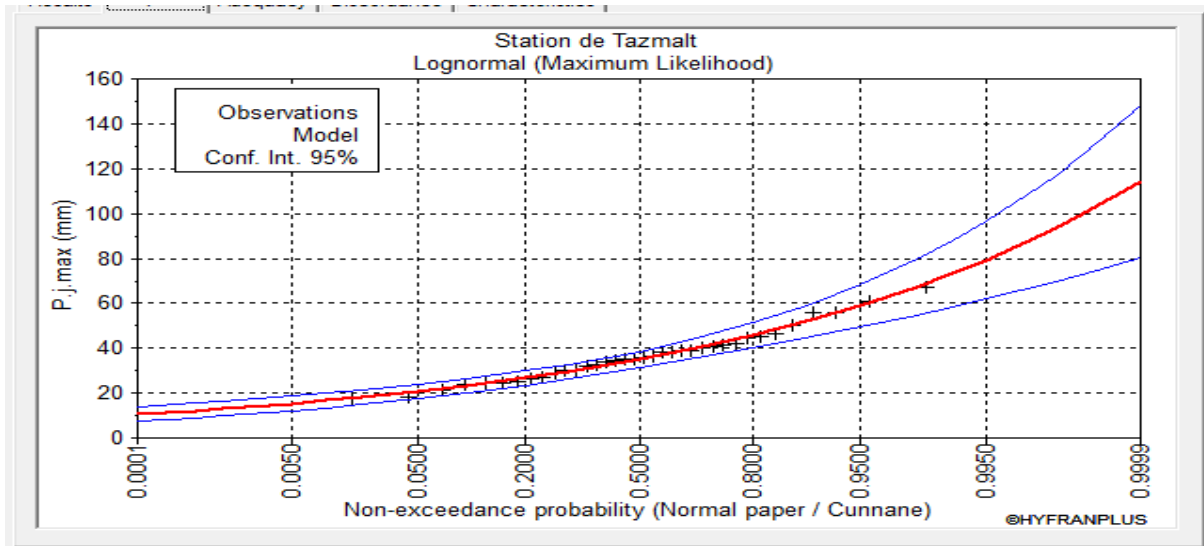


Figure (III.3) : Ajustement de pluviométrie annuelle à la station de Tazmalt par le logiciel Hyfran (Log-normal).

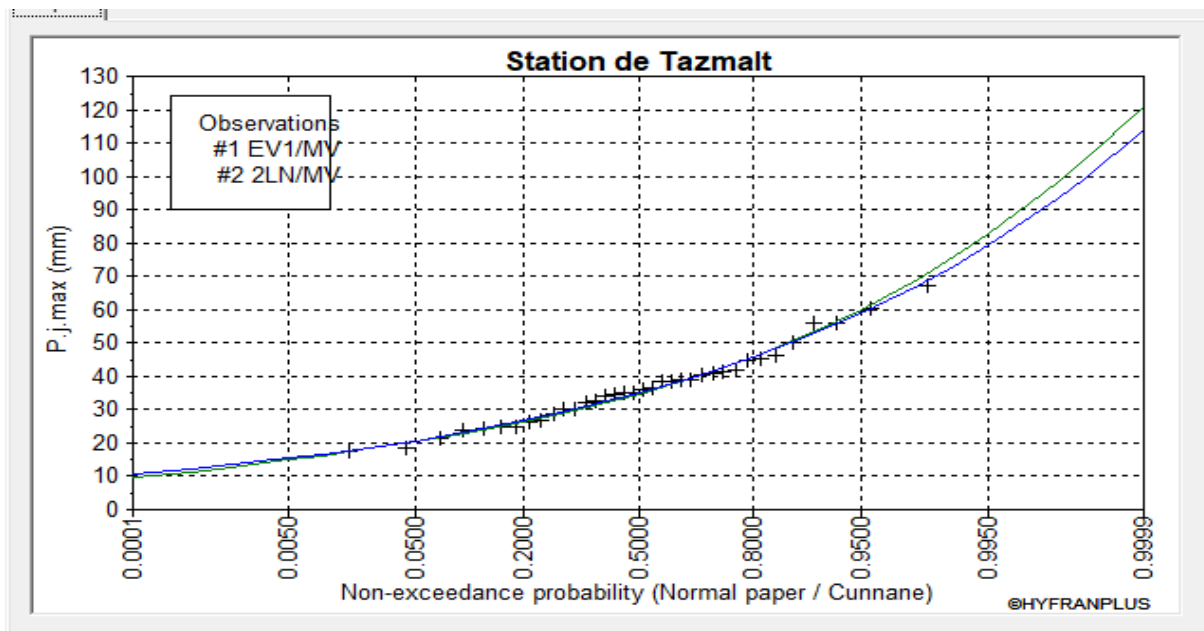


Figure (III.4) : Comparaison des ajustements (entre la loi Gumbel et log-normal) de la pluviométrie annuelle à la station de Tazmalt, par le logiciel hyfran.

3.6 Précipitations mensuelles et les régimes saisonniers.

La variation mensuelle de la pluviométrie exerce une grande influence sur le régime des cours d'eau, tels que l'érodabilité des sols et le transport des matériaux en suspension.

La répartition mensuelle et saisonnière des précipitations nous permet de définir les mois humides et secs dans l'année. À partir de cela nous pouvons déterminer la période qui soutient l'écoulement dans notre oued.

Les valeurs de la pluviométrie moyenne mensuelle relatives à la période (1969-2004), pour la station pluviométrique de Tazmalt, avec les paramètres statistiques tels que : la moyenne, l'écart type et le coefficient de variation sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau (III.4) : Les pluies moyennes mensuelles et leurs paramètres statistiques du bassin de l'oued Beni-Hamdoune.

Station de Tazmalt	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.
	25.8	29.5	38.2	54.6	53.3	42.1
	Mars.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Août.
	44.1	39.7	28.6	9.1	5.6	7.8
	Ecart-type = 16.9		Moyenne = 31.5		C.V = 0.53	

Pour la représentation graphique des précipitations moyennes mensuelles, nous constatons que l'année hydrologique dans notre bassin se divise en trois périodes pluviométriques :

1. Une période sèche qui correspond au mois (juin, juillet et août).
2. Une période relativement sèche qui correspond au mois (Septembre, Octobre, fin avril et début de mai).
3. Une période humide qui correspond au mois (Novembre jusqu'à Avril).

D'autre part, les mois les plus pluvieux, sont (Décembre et Janvier, et les mois les plus secs sont représentés par Juin, Juillet et Août).

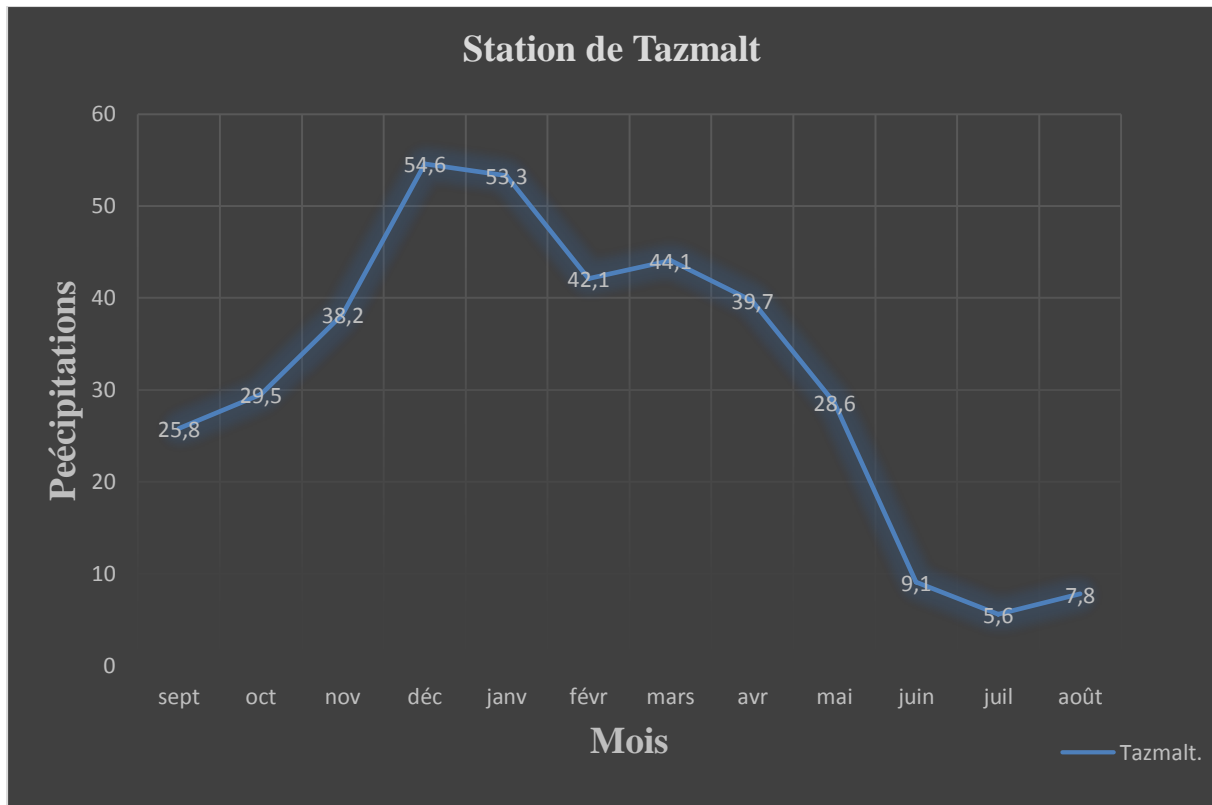


Figure (III.5) : Variations mensuelles de la pluviométrie dans le bassin de l'oued Beni-Hamboune.

3.7 Les précipitations extrêmes et les averses facteur générateur des crues.

Dans le but de déterminer les précipitations maximales journalières fréquentielles, qui provoquent des crues particulières et parfois très dangereuses, il est important d'effectuer un ajustement statistique d'une loi de probabilité à la série d'observation.

A partir des données d'observation disponibles pour la station pluviométrique de Tazmalt, nous pouvons dégager une idée générale sur l'importance des pluies extrêmes.

➤ Ajustement des pluies maximales journalières.

L'ajustement a été effectué à l'aide du logiciel Hyfran.

Nous avons choisi, parmi les nombreuses fonctionnalités du logiciel, les lois Gumbel et Lognormal, avec une comparaison des graphes des droites de régression obtenues par les ajustements.

Le tableau suivant donne les différentes caractéristiques statistiques de l'échantillon pour la station de Tazmalt.

Tableau (III.5) : Les paramètres statistiques des pluies maximales journalières.

Statistiques de base.	Station de Tazmalt (1969-2004)
Nombre de données.	37
Minimum.	17.6
Maximum.	67
Moyenne.	36.5
Ecart-type.	11.6
Médiane.	35.5
Coeff. de variation (Cv).	0.318
Coefficient d'asymétrie (Cs).	0.695
Coeff. d'aplatissement (Kurtosis) (Ck).	3

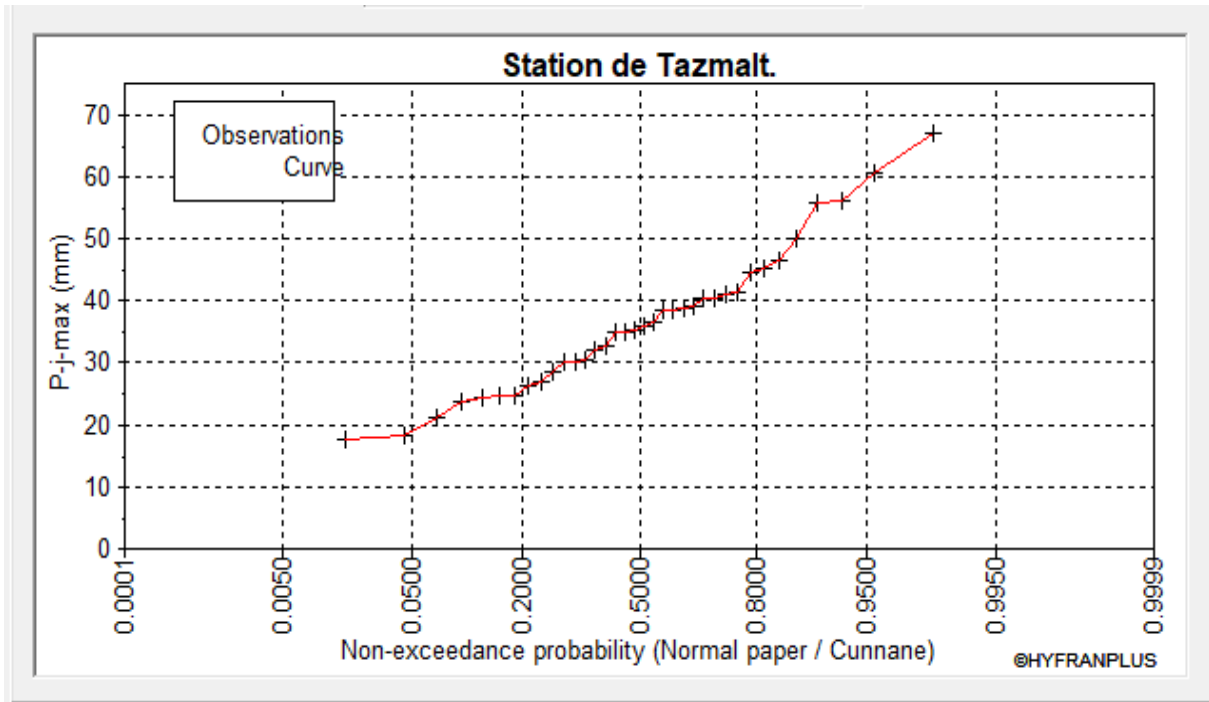


Figure (III.6) : Observation sur papier de probabilité.

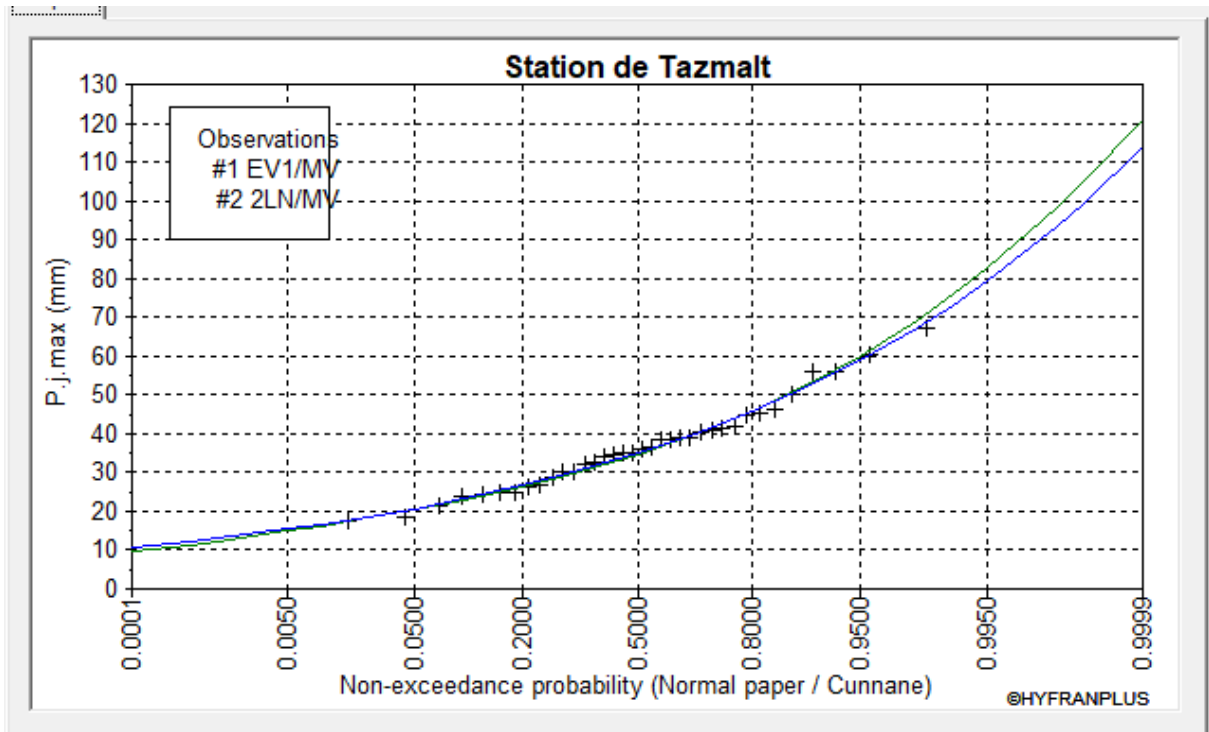


Figure (III.7) : Comparaison des ajustements (entre la loi Gumbel et log-normal) de la pluviométrie annuelle à la station de Tazmalt.

Tableau (III.6) : Caractéristiques de la pluie journalière maximale à la station de Tazmalt.

Période de retour	5	10	20	50	100
Fréquence au non-dépassement	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99
Pmax	45.5	52.8	59.8	68.8	75.5
Ecart-type	2.92	3.76	4.62	5.76	6.62
Int.Conf.	39.8-51.3	45.4-60.2	50.7-68.8	57.5-68.8	62.5-88.5

3.8 Les pluies de courte durée.

La pluie de courte durée est utilisée pour l'estimation des crues. Le calcul des pluies de courtes durées pour différentes fréquences a été effectuée à l'aide de la relation de Body exprimée par :

$$P_t = P_{j.\max(96\%)} \times \left(\frac{t}{24}\right)^b \dots\dots\dots (14)$$

Avec : b : exposant climatique calculé par la formule.

$$b = 1 + \frac{\ln\left(\frac{P_{j.\max x}}{24}\right) - \ln(25)}{\ln(25) - \ln(0.5)} \dots\dots\dots (15)$$

(Tazmalt : b = 0.27)

L'intensité de pluies est donnée par la formule suivante :

$$I_t = \frac{P_t}{t}$$

L'intensité et la pluie de courte durée correspondante à un pas de temps variable, sont représentées pour la station de Tazmalt et de différentes fréquences, dans le tableau.

Tableau (III.7) : Pluies et intensités maximales de durée t (h) et de périodes retour T (ans).

St	T(h)	5		10		20		50		100	
		Pt	It(h)	Pt	It(h)	Pt	It(h)	Pt	It(h)	Pt	It(h)
Station de TAZMALT	0.25	13.27	53.07	15.40	61.59	17.15	68.58	20.06	80.25	22.02	88.06
	1.93	23.04	11.94	26.73	13.85	29.77	15.43	34.84	18.05	38.23	19.81
	2	23.26	11.63	26.99	13.50	30.06	15.03	35.17	17.59	38.60	19.30
	3	25.95	8.65	30.12	10.04	33.54	11.18	39.24	13.08	43.06	14.35
	4	28.05	7.01	32.55	8.14	36.25	9.06	42.41	10.60	46.54	11.64
	5	29.79	5.96	34.57	6.91	38.50	7.70	45.05	9.01	49.43	9.89
	6	31.29	5.22	36.31	6.05	40.44	6.74	47.32	7.89	51.93	8.65
	7	32.62	4.66	37.86	5.41	42.16	6.02	49.33	7.05	54.13	7.73
	8	33.82	4.23	39.25	4.91	43.71	5.46	51.14	6.39	56.12	7.02
	9	34.91	3.88	40.52	4.50	45.12	5.01	52.79	5.87	57.93	6.44
	10	35.92	3.59	41.68	4.17	46.42	4.64	54.32	5.43	59.61	5.96
	11	36.86	3.35	42.77	3.89	47.63	4.33	55.73	5.07	61.16	5.56
	12	37.73	3.14	43.79	3.65	48.76	4.06	57.06	4.75	62.61	5.22
	13	38.56	2.97	44.74	3.44	49.83	3.83	58.30	4.48	63.98	4.92
	14	39.34	2.81	45.65	3.26	50.84	3.63	59.48	4.25	65.27	4.66
	15	40.08	2.67	46.51	3.10	51.79	3.45	60.60	4.04	66.50	4.43
	16	40.78	2.55	47.32	2.96	52.70	3.29	61.67	3.85	67.67	4.23
	17	41.45	2.44	48.11	2.83	53.57	3.15	62.68	3.69	68.79	4.05
	18	42.10	2.34	48.85	2.71	54.41	3.02	63.66	3.54	69.86	3.88
	19	42.72	2.25	49.57	2.61	55.21	2.91	64.59	3.40	70.88	3.73
	20	43.31	2.17	50.26	2.51	55.98	2.80	65.50	3.27	71.87	3.59
	21	43.89	2.09	50.93	2.43	56.72	2.70	66.36	3.16	72.83	3.47
	22	44.44	2.02	51.57	2.34	57.43	2.61	67.20	3.05	73.75	3.35
	23	44.98	1.96	52.20	2.27	58.13	2.53	68.01	2.96	74.64	3.25
24		45.50	1.90	52.8	2.20	58.8	2.45	68.8	2.87	75.5	3.15

Parmi les lois de l'ajustement, la droite de Gumbel donne, dans notre cas, la meilleure loi d'ajustement des précipitations maximales journalières

A la station de Tazmalt, la pluie maximale journalière correspondante au temps de concentration 1.93 h et pour une période de récurrence de 100 ans, est de 38.23 mm, et l'intensité maximale (figure III-10) est de 19.81 mm/h.

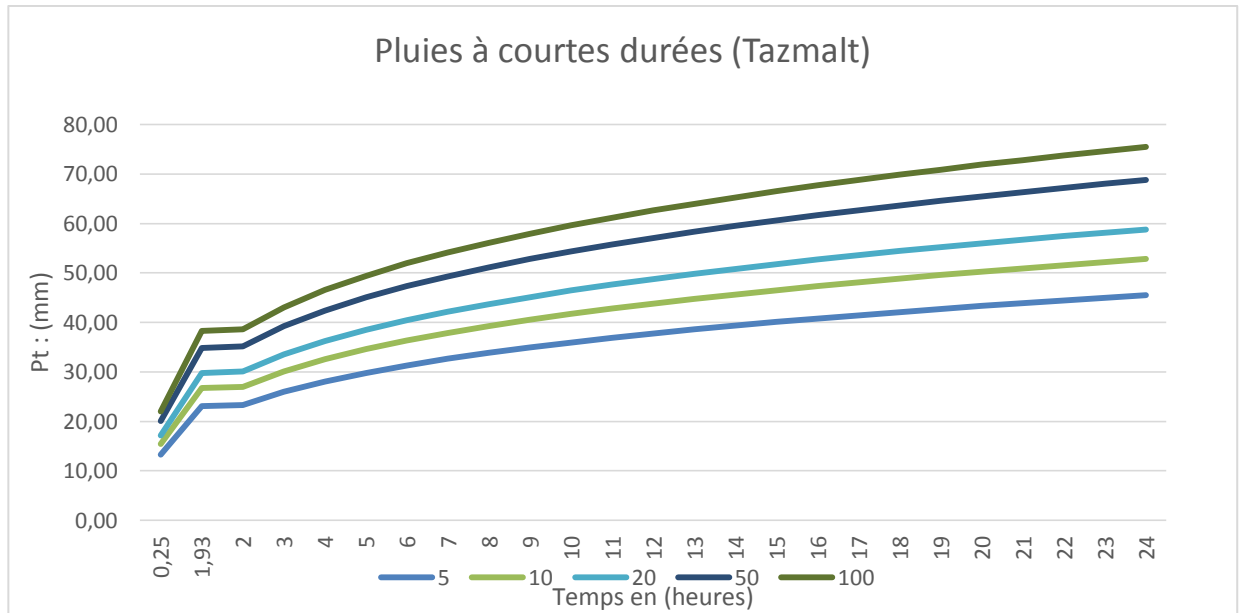


Figure (III.8) : Courbe des pluies à courte durée à Tazmalt.

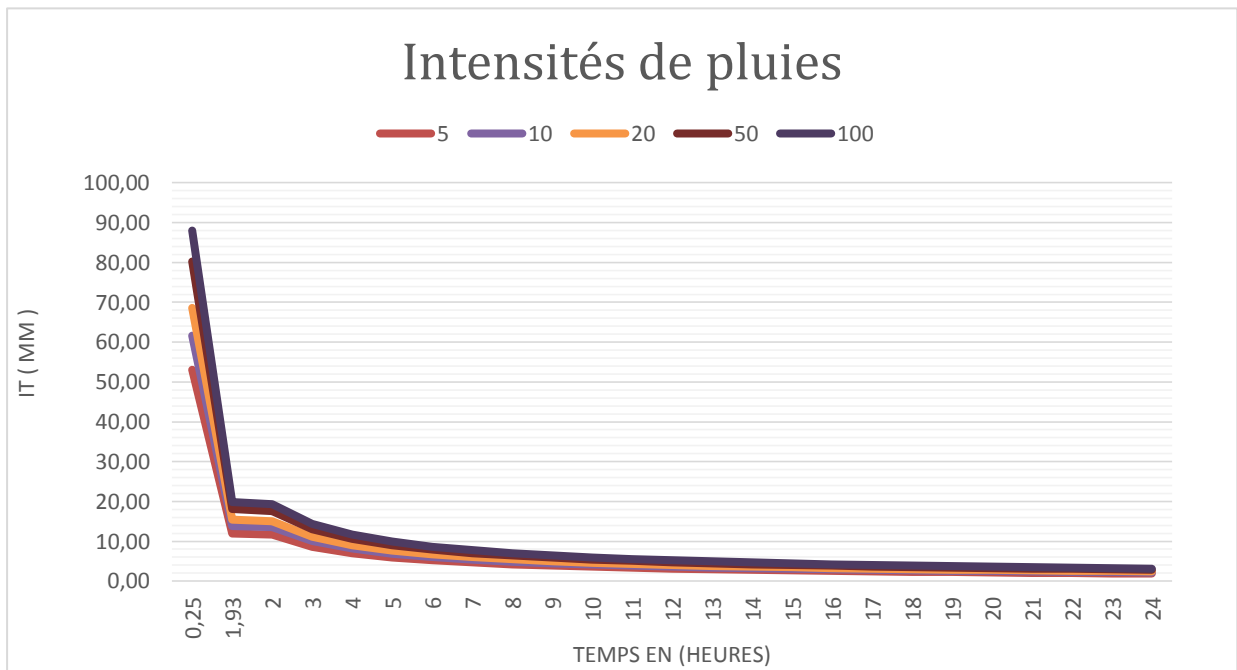


Figure (III.9) : Courbe des pluies à courte durée à Tazmalt.

Conclusion :

La pluviométrie est donc une science qui mesure la pluviosité ou les précipitations. On enregistre ces quantités de pluies mesurées dans des séries, appelées séries pluviométriques. Mais lorsque ces dernières sont lacunaires ou non précises, on fait appel à des outils statistiques, tel le logiciel Hyfran. Il fait des courbes d'ajustement avec plusieurs lois de probabilité statistique et permet de faire des comparaisons entre les résultats de ces lois. De cette façon on aura des valeurs corrigées, plus ou moins proche de la réalité. Ces résultats seront exploités pour établir des courbes de pluies de courtes durées, avec un temps de concentration approprié.

***CHAPITRE IV : ETUDE DES
APPORTS ET DES CRUES.***

3.9 Introduction.

Le bassin versant Beni-Hamdoune est sujet d'une pluviosité irrégulière, des crues importantes peuvent être enregistrées après le passage de fortes pluies torrentielles, sous forme d'averse ou des orages brutes, de courte durée et de très fortes intensités, ce qui nécessite de notre part, une estimation aussi précise que possible des débits de crues occasionnés par ces précipitations, dans le but d'appréhender, les risques et dangers liés à elles, c'est-à-dire les inondations.

3.10 Etudes des apports.

Pour compenser les lacunes que présentent nos données hydrométriques, l'apport moyen interannuel sera estimé par l'utilisation des formules empiriques suivantes :

3.10.1 Formule de l'A.N.R.H :

$$\bar{A} = 0.513 \times P_{moy}^{2.603} \times D_d^{0.5} \times S^{0.842} \dots\dots\dots (16)$$

3.10.2 Formule de MEDINGUER :

$$\bar{A} = l_e \times S \dots\dots\dots (17)$$

$$\text{Où : } l_e = 1.024 \times (P_{moy} - 0.26)^2 \dots\dots\dots (18)$$

3.10.3 Formule de SAMIE :

$$\bar{A} = l_e \times S \dots\dots\dots (19)$$

$$\text{Où : } l_e = P^2 \times (293 - 2 \times 2\sqrt{S}) \dots\dots\dots (20)$$

3.10.4 Formule de DERI II :

L'apport est donné par la relation suivante :

$$\bar{A} = K \times M_o \times S \dots\dots\dots (21)$$

3.11 Module de l'écoulement.

L'écoulement se caractérise par des modules et des coefficients.

Le module de l'écoulement est donné par la formule suivante :

$$M_e = \frac{\bar{A}}{T} \dots\dots\dots (22)$$

3.12 Module de l'écoulement relatif.

$$q = \frac{M_e}{S} \dots\dots\dots (23)$$

3.13 Coefficient de l'écoulement.

$$C_e = \frac{l_e}{P_{moy}} \dots\dots\dots (24)$$

3.14 Coefficient de variation.

Pour le calcul du coefficient de variation C_v , et en l'absence d'une série d'observation, nous avons utilisé des formules empiriques.

3.14.1 Formule de SOKOLOVSKY :

$$C_v = 0.78 - 0.29 \log(q) - 0.063 \times \log(S + 1) \dots \dots \dots (25)$$

3.14.2 Formule de GUIPROVODKHOZ :

$$C_v = \frac{0.7}{q \times 0.125} \dots \dots \dots (26)$$

Avec :

- q : Module de l'écoulement relatif (l/s/km²).

3.14.3 Formule de L'ANTONOV :

$$C_v = \frac{0.7}{(s + 1000) \times 0.097} \dots \dots \dots (27)$$

3.14.4 Formule de KRISTEKLY MENKEL :

$$C_v = \frac{0.83}{S \times 0.06 \times q \times 0.27} \dots \dots \dots (28)$$

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau (IV.1) : Coefficient de variation calculé par différentes formules empiriques.

Formules	Résultats			
	l_e (hm)	A(hm ³)	q l/s/km ²	C_v
A.N.R.H	0.02	0.2	0.06	1.07
MEDINGUER.	0.013	0.014	1.3×10^{-3}	4.3
M.SAMIE.	0.36	0.39	0.11	0.99
DERI II	0.44	0.48	0.14	0.96

3.15 Etude des crues.

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

L'existence de tant de méthodes de calcul est due aux changements des conditions et des problèmes rencontrés lors de l'estimation ainsi que du chargé d'étude. Les techniques utilisées dans la détermination des crues dépendent essentiellement des données disponibles, plus la disponibilité est importante plus les problèmes qui se posent sont moindres. Dans ce qui suit un rappel des différentes méthodes qui ont été établies. ⁽³⁾

➤ **Méthode historique :**

Méthode ancienne basée essentiellement sur l'étude des archives, les enquêtes auprès des populations et la recherche des traces des crues exceptionnelles atteintes dans le passé. Elle est utilisée lorsqu'on ne dispose pas d'observations sur le débit maximum enregistré lors d'une crue exceptionnelle.

➤ **Méthodes empiriques :**

Des formules empiriques de différents auteurs ont été mises au point afin de répondre aux conditions et aux problèmes rencontrés. Ces lois établissent les relations entre le débit, la surface du bassin versant, la pluie et la période de retour.

3.15.1 Formules empiriques pour la détermination de la crue.

3.15.2 Formule de MALLET-GAUTHIER :

$$Q_{\max.p(\%)} = 2K \log(1 + A \times P_{tcc(\%)}) \times \frac{S}{\sqrt{L}} \times \sqrt{1 + 4 \times \log(T) - \log(s)} \dots\dots\dots (29)$$

On prend : K = 2

C'est une constante qui dépend des caractéristiques des bassin versant (3 > K > 1)

A = 0.39 hm³

T : Période de retour (an).

Tableau (IV.2): Débit maximum de crue pour différentes périodes de retour (Formule de MALLET-GAUTHIER) station de Tazmalt.

Bassin	Fréquence (%)	80	90	95	98	99
	Période de retour (an)	5	10	20	50	100
Beni-Hamdoune	Q _{max} (m ³ /s)	26.27	33.32	39.58	47.87	53.68

3.15.3 Formule de SOKOLOVSKY :

$$Q_{\max.p(\%)} = \frac{0.28 \times (P_c - H_o) \times \alpha_p(\%) \times F \times S}{4 \times \sqrt{s} - 1.5 \times L} \dots\dots\dots (30)$$

Avec :

- H_0 : pertes initiales en mm. $H_0 = 7$ mm.
- $\alpha_{p(\%)}$: coefficient de ruissellement de la crue probable pour une période donnée par la formule suivante :

$$\alpha_{p(\%)} = \frac{\sqrt{P_{tc(\%)}} - \sqrt{H_0}}{\sqrt{P_{tcc[\%]}} + \sqrt{H_0}} \dots\dots\dots (31)$$

- F : Coefficient de forme de la crue donné par la formule suivante :

$$F = \frac{12}{4 + 3\gamma} \dots\dots\dots (32)$$

La surface du bassin versant Beni-Hamdoune est inférieure à 50 Km². On prend $\gamma = 2$.

Donc : F = 1.2

Tableau (IV.3) : valeur de γ en fonction de bassin versant.

Condition	γ
Surface du B.V compris entre 1 et 50 km ²	$\gamma = 2$
Pour un bassin boisé avec un sol peut perméable	$2 \leq \gamma \leq 2.5$
Pour un bassin boisé	$3 \leq \gamma \leq 4$
Pour les grands bassins	$4 \leq \gamma \leq 7$

Tableau (IV.4) : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de SOKOLOVSKY) Station Tazmalt.

Bassin versant	Fréquence (%)	80	90	95	98	99
	Période de retour (an)	5	10	20	50	100
Beni-Hamdoune	P_{tc} (mm)	23.04	26.73	29.77	34.84	38.23
	α (%)	0.29	0.32	0.34	0.38	0.4
	Q_{max} (m ³ /s)	8.63	11.71	14.36	19.63	23.18

3.15.4 Formule Rationnelle (TURRAZA) :

$$Q_{\max.p(\%)} = \frac{C \times it \times S}{3.6} \dots\dots\dots (33)$$

Tableau (IV.5) : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de TURRAZA) Station Tazmalt.

Bassin versant	Fréquence (%)	80	90	95	98	99
	Période de retour (an)	5	10	20	50	100
Beni-Hamdoune	C	0.29	0.32	0.34	0.38	0.4
	I _t	11.94	13.85	15.43	18.05	19.81
	Q _{max} (m ³ /s)	10.38	13.29	15.73	20.57	23.77

3.15.5 Formule de GIANDOTTI.

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

$$Q_{\max.p(\%)} = \frac{S \times c \times H_{tc.p(\%)} \times \sqrt{H_{moy} - H_{min}}}{4 \times \sqrt{S} + 1.5 \times \sqrt{L}} \dots\dots\dots (34)$$

Pour des bassins de topographie moyenne accidentée c=0.10

Tableau (IV.6) : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de GIANDOTTI) Station Tazmalt.

Bassin versant	Fréquence(%)	80	90	95	98	99
	Période de retour (an)	5	10	20	50	100
Beni-Hamdoune	P _t (mm)	23.04	26.73	29.77	34.38	38.23
	Q _{max} (m ³ /s)	6.27	7.27	8.10	9.36	10.41

Tableau (IV.7) : Récapitulatif des résultats de débit de crue.

Bassin Versant	Période de retour	Formule				Moyenne
		MALLET-GAUTHIER.	SOKOLOVSKY.	TURRAZ	GIANDOTTI.	
Beni-Hamdoune	5	26.27	8.63	10.38	6.27	12.88
	10	33.32	11.71	13.29	7.27	16.39
	20	39.58	14.36	15.73	8.10	19.44
	50	47.87	19.63	20.57	9.36	24.35
	100	53.68	23.18	23.77	10.41	27.76

3.16 Hydrogramme de crue.

L'hydrogramme de crue est une courbe qui nous renseigne sur les différentes caractéristiques de la crue : la forme, la durée, le volume et le débit de pointe qui sera le débit du projet. L'hydrogramme de crue est établi par la méthode de SOKOLOVSKY qui le trace à base de deux équations paraboliques, l'une pour la montée de crue et l'autre pour la décrue. [4]

❖ La montée de la crue :

$$Q_{montée} = Q_{max.p} \times \left(\frac{t}{t_m} \right)^m \dots\dots\dots (35)$$

Où : $T_m = T_c$: Temps de montée (h).

❖ La décrue :

$$Q_{descente} = Q_{max.p} \times \left(\frac{t_h - t}{t_d} \right)^n \dots\dots\dots (36)$$

Où : $T_d = T_d = \gamma \times T_m$ (D'après Sokolovsky)

Avec :

- $Q_{max,p}$: Débit maximum de crue (de pointe) (m3/s).
- $Q_m(t)$: Débit instantané au moment de la montée (m/s).
- $Q_d(t)$: Débit instantané au moment de la descente (m/s).
- m, n : puissances des paraboles pour l'Algérie m=2 et n=3.

- γ : Coefficient dépendant des caractéristiques du bassin versant, il est pris en général compris entre 2 et 4 ; ($4 > \gamma > 2$), celui-ci est fonction du cours d'eau (longueur), de la perméabilité et du boisement du bassin. On prend $\gamma = 3$.

Tableau (IV.8) : Tableau récapitulatif des temps de concentration, de montée et de décrue.

Bassin	γ	$T_c = T_m$	T_d	T_h
Bassin versant Beni-hamdoune	3	1.93	5.76	7.69

3.16.1 Construction des hydro grammes des crues (SOKOLOVSKY).

Pour construire l'hydrogramme de crue de notre bassin de l'oued Beni-Hamdoune, nous avons utilisé les valeurs des débits de crues pour différentes périodes de retour, les résultats obtenus sont exposés dans les tableaux (IV-11).

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

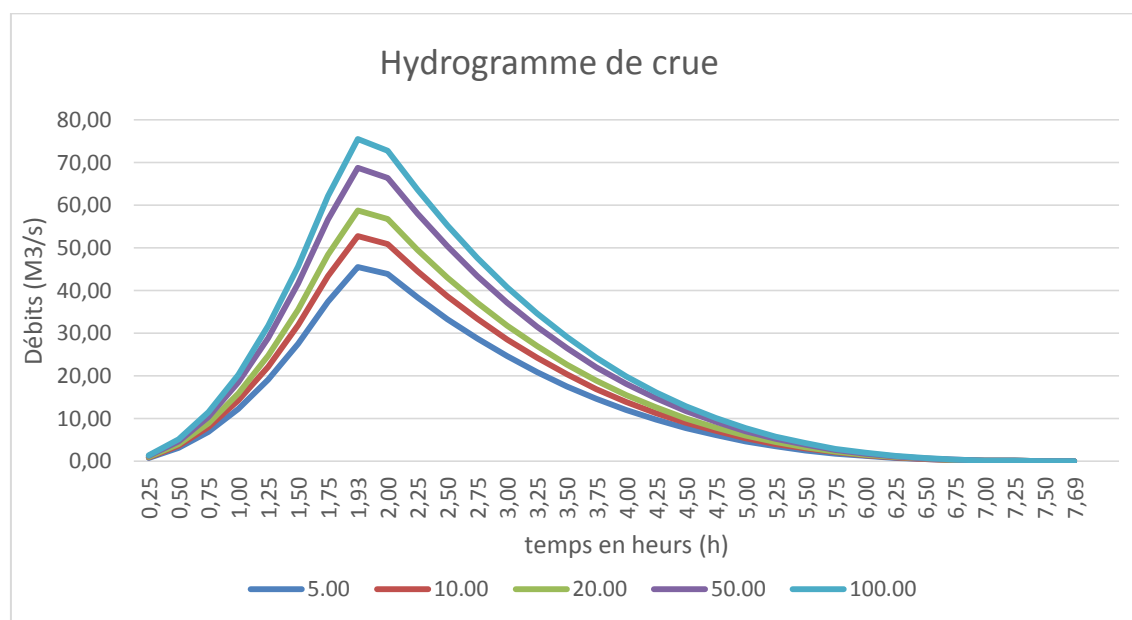


Figure (IV.1) : Hydrogramme fréquentiels des différentes périodes de retour d'oued Beni-Hamdoune.

Tableau (IV.9) : Débit de crues pour différentes périodes de retour pour un temps de concentration $T_c = 1.93$ d'oued Beni-Hamdoune.

T(h) \ Année	5	10	20	50	100
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.76	0.89	0.99	1.15	1.27
0.50	3.05	3.54	3.95	4.62	5.07
0.75	6.87	7.97	8.88	10.39	11.40
1.00	12.22	14.17	15.79	18.47	20.27
1.25	19.09	22.15	24.67	28.86	31.67
1.50	27.48	31.89	35.52	41.56	45.61
1.75	37.41	43.41	48.34	56.57	62.07
1.93	45.50	52.80	58.80	68.80	75.50
2.00	43.86	50.90	56.68	66.32	72.78
2.25	38.33	44.48	49.53	57.96	63.60
2.50	33.28	38.63	43.01	50.33	55.23
2.75	28.70	33.31	37.09	43.40	47.63
3.00	24.56	28.50	31.74	37.14	40.76
3.25	20.84	24.18	26.93	31.51	34.58
3.50	17.51	20.32	22.63	26.48	29.06
3.75	14.56	16.90	18.82	22.02	24.16
4.00	11.96	13.88	15.46	18.09	19.85
4.25	9.69	11.25	12.53	14.66	16.08
4.50	7.73	8.97	9.99	11.69	12.82
4.75	6.05	7.02	7.82	9.15	10.04
5.00	4.63	5.38	5.99	7.01	7.69
5.25	3.46	4.01	4.47	5.23	5.74
5.50	2.50	2.90	3.23	3.78	4.15
5.75	1.74	2.02	2.25	2.63	2.88
6.00	1.15	1.33	1.49	1.74	1.91
6.25	0.71	0.83	0.92	1.08	1.18
6.50	0.40	0.47	0.52	0.61	0.67
6.75	0.20	0.23	0.26	0.30	0.33
7.00	0.08	0.09	0.10	0.12	0.13
7.25	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
7.50	0.001	0.001	0.002	0.002	0.003
7.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

3.17 Conclusion.

L'estimation des crues, sur différentes périodes de retour, permet d'observer l'évolution des débits en fonction du temps, l'établissement de l'hydrogramme des crues est d'une importance capitale quant au dimensionnement des ouvrages à réaliser ainsi qu'à leur sécurité. L'usage que nous avons fait des plusieurs formules empiriques est dû au fait du manque de données.

Le débit du projet que l'on peut retenir suite au calcul du débit des crues du bassin versant Benihamdoune est : $Q(100) = 75.50 \text{ m}^3/\text{s}$.

***CHAPITRE V : ETUDE
HYDRAULIQUE SANS
AMENAGEMENT.***

4.1 Introduction.

L'étude hydraulique sans aménagement est effectuée afin de connaître le comportement naturel de notre Oued, son interaction avec les crues décennales ou centennales et les zones qui présentent un risque d'inondation en mettant en équation les résultats des calculs faits dans les chapitres précédents, dans le but de bien déterminer le type de l'aménagement à faire ainsi que le dimensionnement de l'ouvrage à implanter.

4.2 Objectif et calcul hydraulique d'aménagement. [5]

Les objectifs recherchés dans cette étude d'aménagement sont :

- Amélioration des conditions de l'écoulement des eaux superficielles afin d'éviter tout débordement sur les routes et submersion des terres agricoles.
- Proposition des ouvrages adéquats à l'écoulement des eaux superficielles en période de crue pour protéger le voisinage du cours d'eau du risque d'inondation.
- Préservation de l'espace urbain et amélioration de l'hygiène publique.

4.3 Généralités sur les écoulements à surface libre.

Les écoulements dans les canaux naturels (rivière) et artificiels (irrigation, assainissement) sont, dans la plupart des cas, des écoulements à surface libre. La surface libre est l'interface entre l'air et l'eau. La pression y est égale le plus souvent à la pression atmosphérique. [6]

4.3.1 Types d'écoulement.

On peut définir les écoulements suivants la variabilité des caractéristiques hydrauliques tels que le tirant d'eau et la vitesse en fonction du temps et de l'espace.

4.3.2 Variabilité dans le temps.

Le mouvement est permanent (ou stationnaire) si les vitesses U et la profondeur h restent invariables dans le temps en grandeur et en direction. Le mouvement est non-permanent dans le cas contraire.

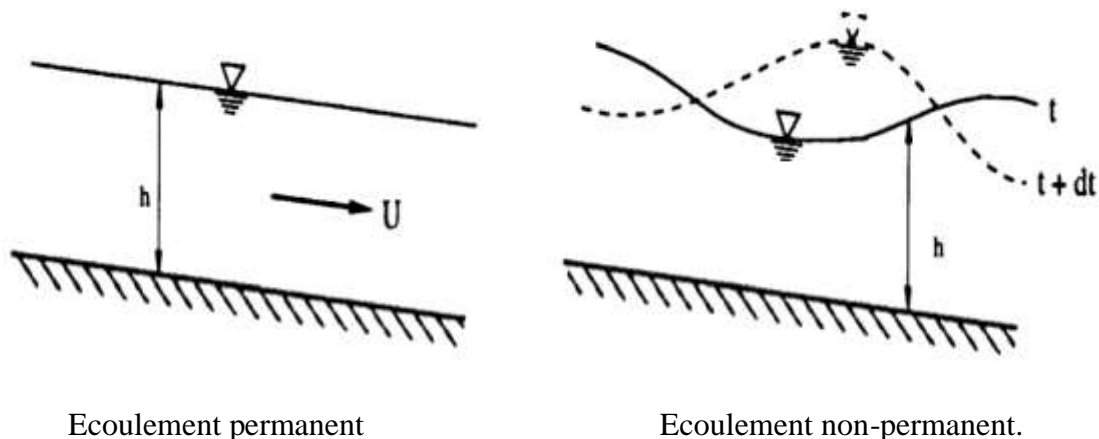


Figure (V.1) : Variabilité de l'écoulement dans un canal en fonction du temps.

Au sens strict, l'écoulement dans les canaux est rarement permanent. Néanmoins les variations temporelles sont, dans certains cas, suffisamment lentes pour que l'écoulement puisse être considéré comme une succession de régime permanent. On peut alors définir ainsi le régime quasi-permanent.

4.3.3 Variabilité dans l'espace.

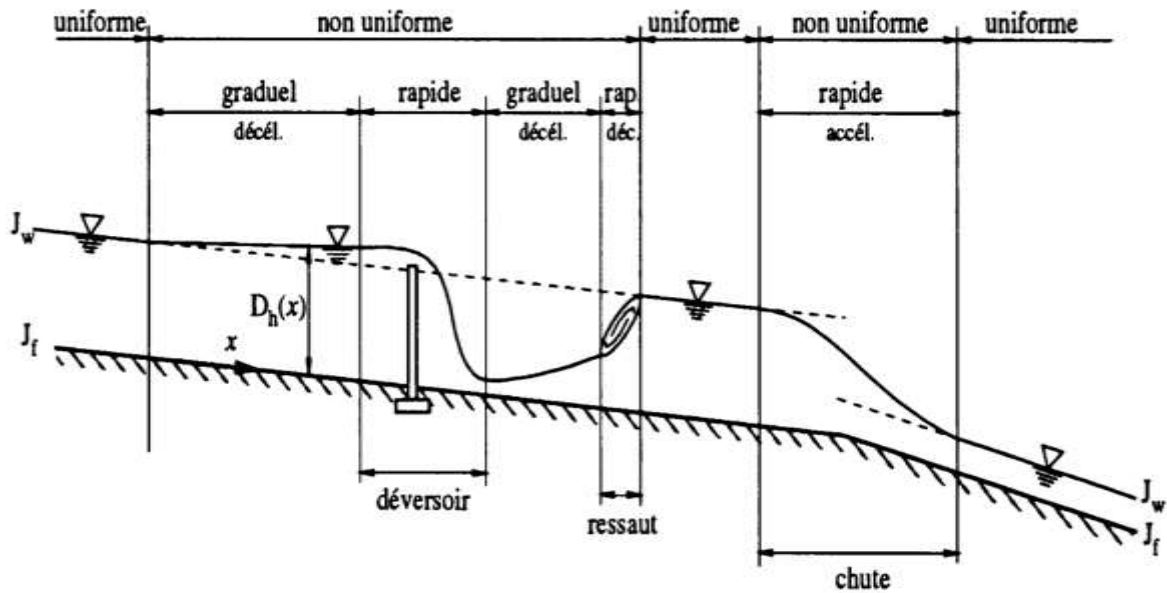


Figure (V.2) : Variabilité de l'écoulement dans un canal selon l'espace.

- Le mouvement est uniforme si les paramètres caractérisant l'écoulement restent invariables dans les diverses sections du canal. La ligne de la pente du fond est donc parallèle à la ligne de la surface libre.
- Le mouvement est non-uniforme ou varié si les paramètres caractérisant l'écoulement changent d'une section à l'autre. La pente de la surface libre diffère de celle du fond.
- Un écoulement non-uniforme peut être accéléré ou décéléré suivant que la vitesse croît ou décroît dans le sens du mouvement.
- Lorsque le mouvement est graduellement varié, la profondeur ainsi que les autres paramètres varient lentement d'une section à l'autre.
- Lorsque le mouvement est rapidement varié, les paramètres caractérisant l'écoulement changent brusquement, parfois avec des discontinuités. Cela se manifeste en général au voisinage d'une singularité, telle qu'un seuil, un rétrécissement, un ressaut hydraulique ou une chute brusque.

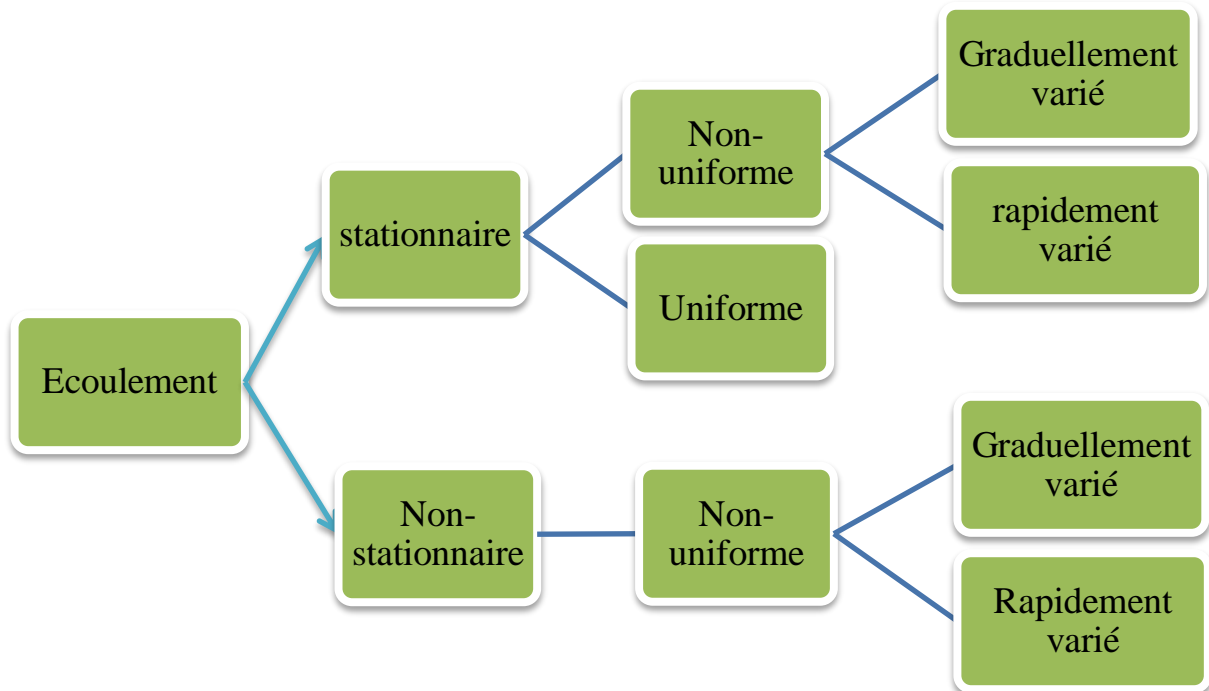


Figure (V.3) : Organigramme de l'écoulement et ses variétés.

4.3.4 Les canaux.

Le canal d'eau est un système d'évacuation où l'eau s'écoule sur une surface libre et ce dernier est soumis à la pression atmosphérique.

4.3.5 Différents types de canaux.

- ❖ On distingue deux types de canaux

4.3.5.1 Les canaux naturels :

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

4.3.5.2 Les canaux artificiels :

Ce sont des cours d'eau réalisés par l'homme sur (ou sous) terre, on distingue les canaux découverts construits au ras du sol (canaux de navigation) et les canaux couverts (égouts, drains... Etc.). Les propriétés hydrauliques de ces canaux sont généralement assez régulières ainsi l'application de la théorie hydraulique donne souvent des résultats significatifs.

4.3.6 Les paramètres géométriques.

4.3.7 Géométrie des canaux : [6]

Dans ce chapitre nous allons définir les grandeurs géométriques les plus utilisées permettant de caractériser l'écoulement.

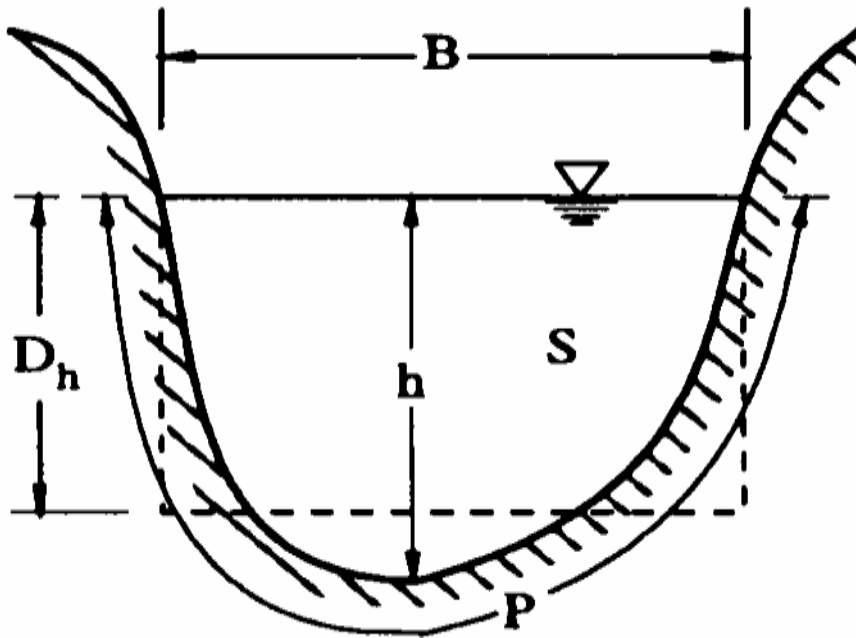


Figure (V.4) : Caractéristiques géométriques d'un canal.

- La section transversale d'un canal est la section plane normale à la direction de l'écoulement.
- La surface mouillée, S, est la portion de la section occupée par le fluide dans la section du canal.
- Un canal dont la section, la pente et la rugosité ne varient pas suivant le sens de l'écoulement est appelé canal prismatique.
- Le périmètre mouillé, P, est formé par la longueur de la ligne de contact entre la surface mouillée et les parois de la section (la largeur de la surface libre n'entre pas en compte).
- Le rayon hydraulique est donné par : $R_h = \frac{S}{P}$
- La largeur superficielle ou largeur au miroir, B, est la largeur du canal au niveau de la surface libre : $B = \frac{d_s}{d_h}$
- La profondeur hydraulique est donnée par : $D_h = \frac{S}{B}$
- La pente, I, varie environ de quelque %.
- La position du centre de gravité y_G par rapport à la surface libre.

Moment statique :

$$S \times y_G = \int_0^h (h-z) \times B \times z \times d_z \dots \dots \dots (37)$$

4.3.8 Régime D'écoulement : [5]

Les forces d'inertie, de pesanteur et de frottement engendrées par l'écoulement sur un canal à surface libre, permettent de déterminer le régime d'écoulement. Cela selon le nombre adimensionnel (coefficient) suivant :

4.3.9 Nombre de REYNOLDS :

Représente le rapport des forces d'inertie aux forces de frottement, il permet le classement des écoulements comme suit :

- Ecoulement laminaire si $Re < 500$
- Ecoulement transitoire si $500 < Re < 2000$
- Ecoulement turbulent si $Re > 2000$

4.3.10 Nombre de FROUDE :

Représente le rapport entre les forces de pesanteur et celles d'inertie, son rôle est de permettre le classement des écoulements comme suit :

- Ecoulement fluvial $Fr < 1$
- Ecoulement critique $Fr = 1$
- Ecoulement torrentiel $Fr > 1$

Par conséquent, les effets du nombre de Reynolds et du nombre de Froude donnent quatre régimes d'écoulement suivant :

- Fluvial-laminaire $Fr < 1$, $Re < 500$
- Fluvial-turbulent $Fr < 1$, $Re > 2000$
- Torrentiel-laminaire $Fr > 1$, $Re < 500$
- Torrentiel-turbulent $Fr > 1$, $Re > 2000$

4.4 Dimensionnement des canaux.

L'écoulement véritablement uniforme est inexistant dans les canaux naturels et du moins, assez rare dans les canaux artificiels, bien qu'il soit rare, on l'utilise souvent comme écoulement standard (théorique et expérimentale) de base pour tous les autres types d'écoulement.

4.4.1 Formule de MANNING-STRICKLER. [7]

C'est une formule expérimentale qui se définit comme suit :

$$Q = K_s \times S \times R_h^{2/3} \times \sqrt{I} \dots\dots\dots (38)$$

Avec

S : Section mouillée

I : Pente de la canalisation

R_h : Rayon hydraulique correspondant au rapport entre la surface mouillée et le périmètre mouillé.

K_s : Coefficient de Manning Strickler qui correspond à un coefficient de rugosité pour les écoulements à surface libre.

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

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

4.5 Calcul des paramètres géométriques.

4.5.1 Diamètre hydraulique :

Le diamètre hydraulique et le rayon hydraulique sont communément utilisés pour le calcul des écoulements dans un tube, une conduite hydraulique ou un canal. En utilisant ce diamètre particulier, on peut faire des calculs similaires à ceux d'un tube circulaire. Ces deux grandeurs sont homogènes à une longueur.

Le rayon hydraulique est utilisé dans l'équation de Hazen-Williams ou pour déterminer le coefficient de Chézy (avec la formule de Chézy ou celle de Bazin). Il est notamment utilisé pour

les écoulements à surface libres c'est-à-dire dans des conduites non pleines (comme les égouts) ou les canaux.

$$D_h = \frac{4 \times S}{P} \dots\dots\dots (40)$$

4.5.2 Rayon hydraulique :

On définit également le rayon hydraulique comme étant le rapport de la surface mouillée S (section droite du liquide) sur le périmètre mouillé P (périmètre de la conduite en contact avec le liquide).

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} \dots\dots\dots (41)$$

Le rayon hydraulique est le quart du diamètre hydraulique, alors que le rayon est la moitié du diamètre.

4.5.3 Hauteur critique :

La hauteur critique est donc atteinte quand le nombre de Froude $Fr = 1$.

Où : $F_r = \frac{v}{\sqrt{g \times D_h}} \dots\dots\dots$
 (42)

La hauteur critique est atteinte quand la vitesse moyenne de déplacement du fluide est égale à la célérité des ondes à la surface de l'eau. i.e. $V = \sqrt{g \times D_h}$

Le calcul de h_{cr} peut se faire par plusieurs méthodes qui sont les suivantes :

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

4.5.3.1 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 $\frac{v^2}{2g}$

4.5.3.2 Méthode analytique d'AGROSKINE.

La méthode d'AGROSKINE utilise la formule suivante :

$$\frac{\alpha \times Q^2 \times B_{cr}}{g \times S_{cr}} = 1 \dots\dots\dots (43)$$

Pour un canal rectangulaire :

$$h_{cr(R)} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \times Q^2}{g \times b^2}} \dots \dots \dots (44)$$

4.5.3.3 Méthode itérative.

Le procédé de calcul par cette méthode consiste à introduire les expressions de la surface mouillée (Sm), le rayon hydraulique (Rh), les valeurs de coefficient de STREHLER (Ks) et de la pente du fond du canal (JF) dans l'équation (IV.10), ensuite on fixe la valeur de la largeur de fond (b), et enfin, on fait varier les valeurs de h (avec un pas fixe ou variable) et on aura des valeurs de débit (Q), la valeur de (hn) est obtenu quand le débit trouvé égal au débit max (Q = Qmax).

4.5.4 Géométrie des canaux :

Le tableau suivant donne les formes géométriques courantes des cours d'eau avec les formules de calcul de leurs paramètres, néanmoins dans la nature, les formes des cours d'eau sont assez irrégulières et variées, mais peuvent toutefois être approximées à des sections trapézoïdales ou paraboliques.

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

Figure (V.5) : éléments géométriques de différentes sections d'un canal.

4.5.4.1 Les caractéristiques géométriques des canaux.

La connaissance des caractéristiques géométriques des canaux joue un rôle important dans l'application des lois hydrauliques et le dimensionnement des ouvrages.

4.5.4.2 Résumé des caractéristiques géométriques des canaux :

1. La section ou la surface mouillée (S) : est la portion de la section occupée par le liquide ;
2. Le périmètre mouillé (P) : la longueur de la ligne de contact entre la section mouillée et le lit (fond et berge), mais ne comprend pas la surface libre ;
3. Le rayon hydraulique (Rh) : le rapport entre la section mouillée (S) et le périmètre mouillé (p) ;
4. La profondeur d'écoulement (h) : hauteur d'eau au-dessus du fond du canal ;
5. La largeur de surface ou largeur au miroir (B) : c'est la largeur de la surface libre de l'eau dans le canal ;
6. La profondeur hydraulique (Dh) : c'est le rapport entre la surface mouillée et la largeur de la surface libre ;

7. La pente de fond du canal (JF) : Elle dépend essentiellement de la topographie et de la constitution du terrain ;
8. La pente de la ligne d'énergie (Jw) : La valeur de la pente de fond dépend essentiellement de la topographie et la constitution du terrain.

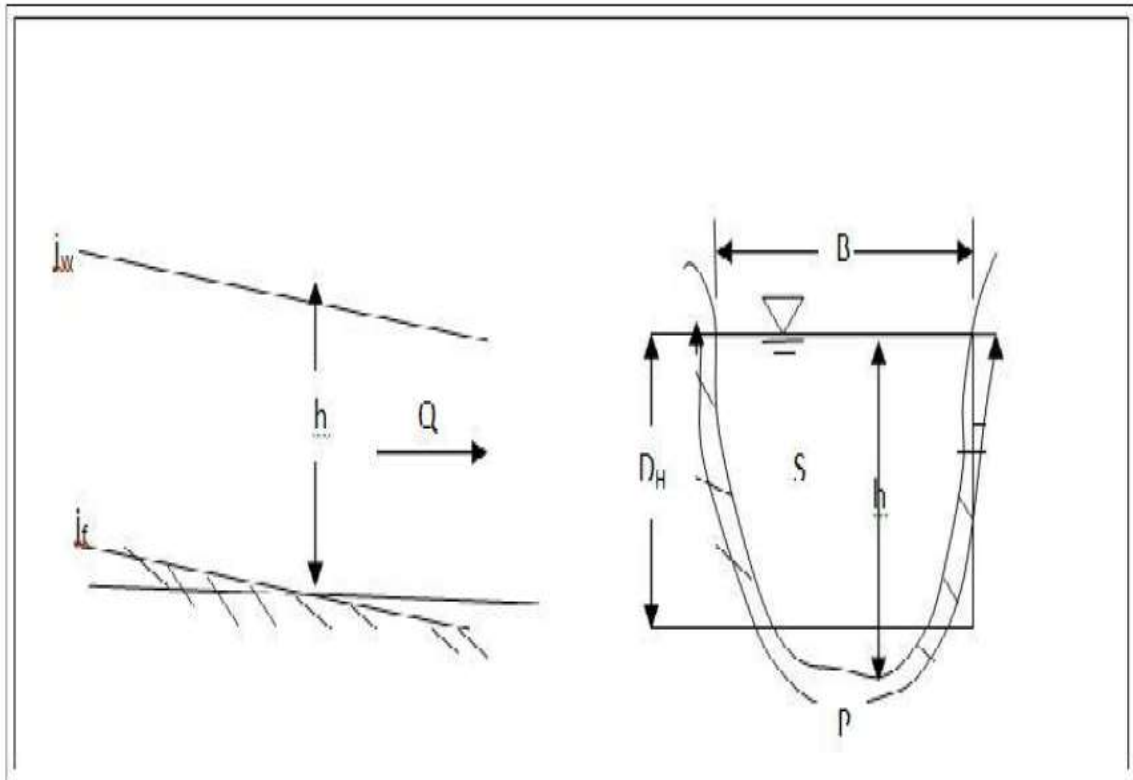


Figure (V.6) : Différentes caractéristiques géométriques du canal

4.6 Vérification de l'écoulement sous ponts :

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

Période de Retour	5	10	20	50	100
Coefficient de rugosité	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017
La pente du canal (m/m)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
La hauteur normal (m)	0.27	0.3	0.35	0.41	0.44
Largeur du radier (m)	35.88	38.08	39.97	42.32	43.45
Le débit d'écoulement (m ³ /s)	26.27	33.32	39.58	47.87	53.68
La section (m ²)	7.52	9.49	11.28	13.62	15.22
Périmètre mouillé (m)	16.34	18.60	20.88	18.65	17.70
Rayon Hydraulique (m)	0.46	0.51	0.54	0.73	0.86
La hauteur critique (m)	0.46	0.52	0.58	0.65	0.69
La pente critique (m/m)	1.6×10^{-3}	1.6×10^{-3}	1.6×10^{-3}	1.6×10^{-3}	1.6×10^{-3}
La vitesse d'écoulement (m/s)	3.43	3.51	3.51	3.51	3.32
Perte de charge (m)	0.86	0.92	0.97	1.03	1
L'énergie spécifique (m)	0.028	0.023	0.020	0.017	0.015
Le nombre de Froude	2.53	2.35	2.23	2.11	2.05
Le type d'écoulement.	Torrentiel				

4.7 Modélisation :

4.7.1 Introduction :

L'étude d'aménagement du cours d'eau présentée ici, nécessite une connaissance parfaite de l'état des lieux de notre zone d'étude et détermination des facteurs entraînant les différents risques, parmi eux le risque d'inondation.

Il y a donc lieu de travailler avec le logiciel HEC-RAS qui est : « un logiciel de simulation hydraulique des écoulements à surface libre, il permet de connaître le comportement de l'écoulement, de déterminer la manifestation des différentes crues et aussi de localiser les zones qui représentent un risque de débordement, et finalement déterminer les dimensions de l'ouvrage d'aménagement ». [7]

4.7.2 Choix du type de modèle hydraulique.

Les modèles monodimensionnels (1D) dites filaires, dans ce cas la géométrie du cours d'eau est représentée par une succession de profils en travers, où la vitesse de l'eau est calculée seulement suivant l'axe de l'écoulement. Les modèles bidimensionnels (2D), qui modélisent la section du cours d'eau par un maillage

2D, c'est-à-dire qu'ils permettent de calculer les champs de hauteur et de vitesse de l'eau sur chaque maille (Horrit et bates, 2002). [5]

4.7.3 Présentation du logiciel HEC RAS.

HEC-RAS (version 5.0.7), (Hydrologic Engineering Center River Analysis System), est un modèle de simulation hydraulique, développé par l'US Corps of Engineers, Il permet de faire des simulations en régimes permanent et transitoire d'une rivière. Il permet aussi de faire une simulation avec des maillages du cours d'eau.

Il consiste en général à déterminer la hauteur de l'eau dans une rivière à chaque débit entrant et aussi quelques variables caractéristiques d'un écoulement fluvial, comme la charge, la vitesse de l'eau, et autres. Enfin, un écoulement monodimensionnel donne une valeur unique de chaque variable pour chaque profil en travers du modèle.

Un modèle hydraulique HEC – RAS contient dans sa géométrie des profils en travers des rivières et les profils des ouvrages. Les profils en long sont calculés à l'altitude de profils en travers du thalweg, les profils en travers sont perpendiculaires au sens de l'écoulement et présentent des coordonnées et des altitudes topographiques. Ils décrivent la forme et l'allure de la rivière. Par rapport à d'autre logiciels de simulation, le logiciel HEC-RAS tient compte des calculs en présence des ouvrages dans la rivière pendant la simulation et garde en général les topographies extraites des données du système géographique. Le temps de calcul d'HEC –RAS pour une simulation est plus rapide. [8]

4.7.3.1 Les équations utilisées par le logiciel. [5]

Le logiciel HEC-RAS utilise les équations de Saint-Venant 1D ("shallow water equations" en anglais) pour relier les hauteurs d'eau et les débits. Ces équations se déduisent des équations de Navier-Stokes grâce à des simplifications liées au modèle de la rivière.

La ligne d'eau est calculée d'une section à une autre en résolvant l'équation de l'énergie par une méthode itérative. Elle est obtenue à partir de l'équation de quantité de mouvement, et représente la conservation de la charge hydraulique de Bernoulli. L'équation résolue est la suivante :

Le coefficient de perte de charge (h_e) est calculé avec la formule suivante :

$$h_e = L \times \overline{S_f} + c \times \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \dots\dots\dots (45)$$

La figure ci-dessous illustre l'apport de chaque terme de l'équation.

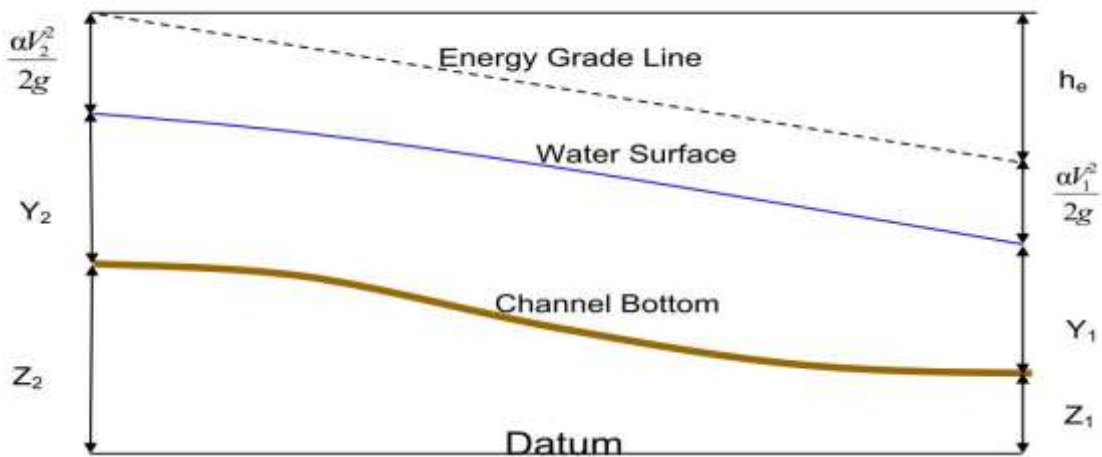


Figure (V.7) : Conservation de la charge entre deux sections. [8]

La détermination du transport total et du coefficient de vitesse pour une section de calcul exige que l'écoulement soit subdivisé en unités pour lesquelles la vitesse est uniformément distribuée. L'approche utilisée dans HEC-RAS est de subdiviser l'écoulement dans les surfaces des rives en utilisant les points d'arrêt des valeurs de la rugosité n comme base de la subdivision (endroits où est observé le changement des valeurs du coefficient de rugosité n).

Le flux est calculé dans chaque subdivision sous la forme suivante en fonction de n (Equation de Manning) :

$$Q = K \times I^{2/3} \dots\dots\dots (46)$$

Où :

$$K = \frac{1}{n} S R_h^{2/3} \dots\dots\dots (47)$$

Le programme cumule tous les débits dans les rives pour obtenir un flux pour la rive gauche et la rive droite.

Le débit total d'une section de calcul est obtenu en additionnant les trois débits

Des trois subdivisions (gauche, canal, droite).

Les pertes de charge estimées proviennent des effets de frottement et de contraction/expansion du cours d'eau. Le paramétrage de Manning-Strickler est utilisé pour le frottement. Pour évaluer correctement les pertes de charge et donc le frottement. HEC-RAS découpe chaque section en plusieurs domaines verticaux et pour chaque domaine on introduit leur coefficient de frottement. En effet le frottement dépend de la vitesse et sachant que la vitesse n'est pas la même sur les bords, dans le lit majeur ou dans le lit mineur. Le découpage se fait comme sur l'image qui suit :

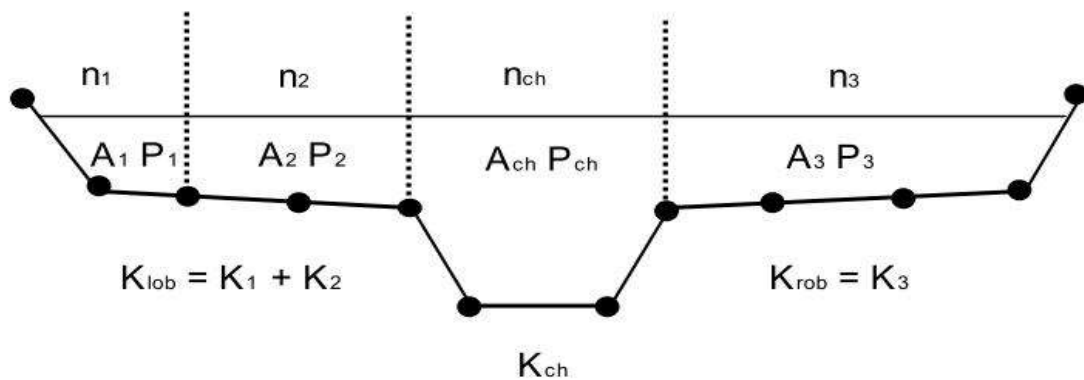


Figure (V.8) : Découpage de la section pour le calcul du frottement. [8]

4.7.4 Théorie de base de calcul du modèle HEC-RAS pour l'écoulement permanent.

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. [7]

4.7.5 Banque de données nécessaires à l'application du modèle HEC-RAS.

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

- Les données géométriques relatives à chaque section :
- La section en travers, définie par une série de couples distance-altitude
- La distance à la section suivante (Rives et axe canal).
- Les coefficients de contraction et d'expansion
- Les coefficients de rugosité
- Les données de l'écoulement et les conditions aux limites.

4.8 Application du modèle HEC-RAS.

4.8.1 A l'état Naturel.

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

Le modèle a été réalisé grâce au DEM (...), obtenu par Google-earth et Global-Mapper.

Le centre du thalweg, les sections de l'oued, la délimitation du lit mineur et les ponts qui traversent l'oued ont été faites manuellement sur Geometric Data à partir du module RAS mapper.

4.8.2 Modélisation de la géométrie.

La réalisation de la géométrie des cours d'eau consiste à implanter des profils en travers représentatifs sur lesquels on calcule la hauteur d'eau et d'autres caractéristiques de l'écoulement.

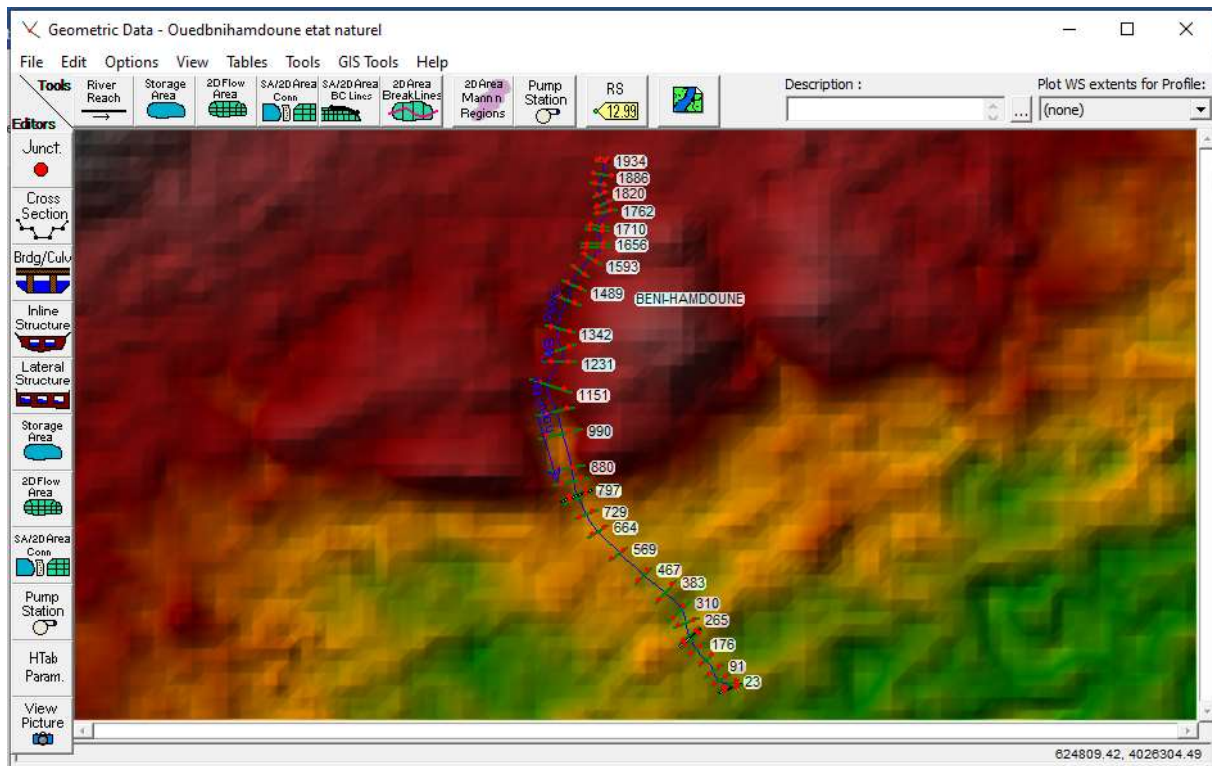


Figure (V.9) : La géométrie du cours d'eau sur Geometric Data.

4.8.3 Le choix des valeurs de rugosité de Manning.

Le coefficient de Manning (n) ou coefficient de rugosité, est choisi selon la nature et les matériaux qui constituent le canal étudié, c'est-à-dire le lit de l'oued et ses berges.

Tableau (V.3) : Valeurs du coefficient de rugosité du cours d'eau.

Berge droite	Lit mineur	Berge gauche
Rivière de plaine, large, végétation peu dense.	Rivière de plaine, large.	Rivière de plaine, large, végétation peu dense.
0.033	0.017	0.033

4.8.4 Modélisation de l'écoulement.

Après la réalisation de la géométrie du canal à l'état naturel (non-aménagé), il y a lieu d'introduire les débits des diverses périodes de retour, calculés plus haut par différentes formules, afin d'obtenir une simulation de ces débits qui va permettre la connaissance des caractéristiques de l'écoulement en question.

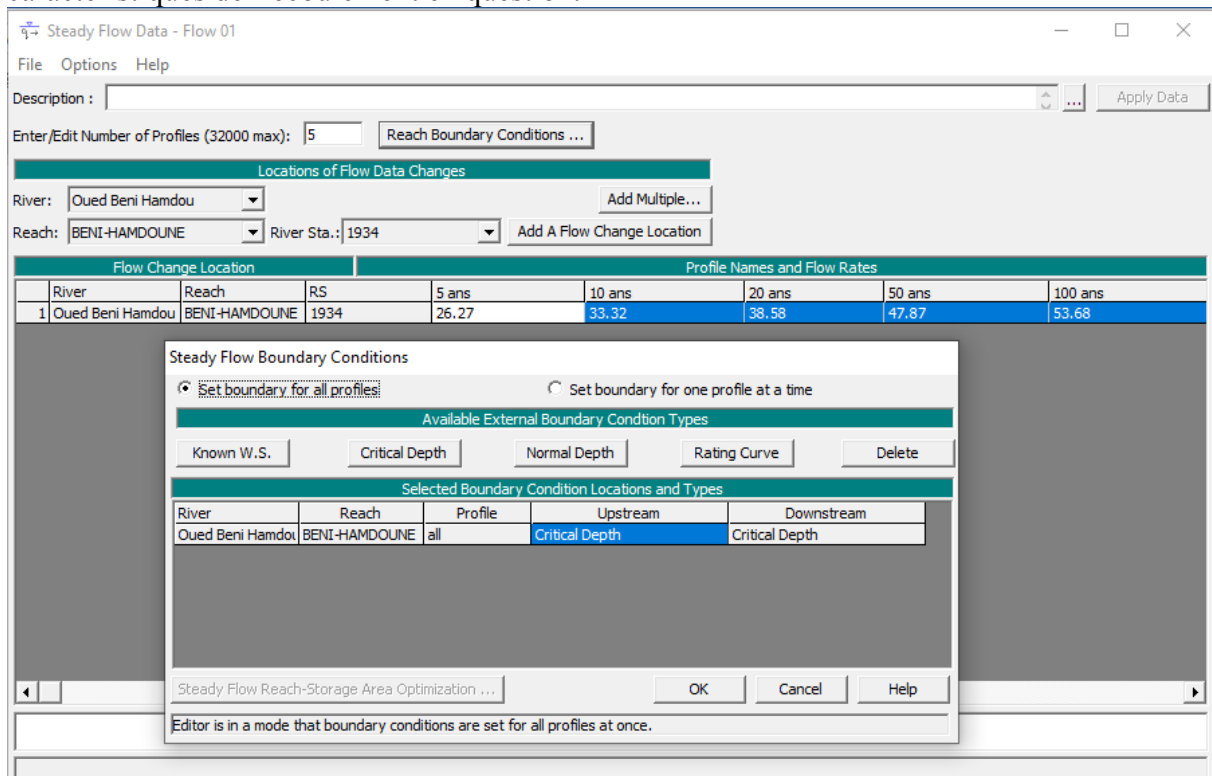


Figure (V.10) : Débits de crues sur cinq périodes de retour et conditions aux limites.

4.8.5 Simulation hydraulique.

Après avoir réalisé la géométrie, les sections de travers et les ponts, introduit les données hydrométriques et les débits de différentes périodes de retour.

Nous choisissons le régime turbulent sur « Perform a steady flow simulation » et lancer la simulation avec « compute ».

4.8.6 Résultats de la simulation.

L'opération de la simulation s'achève par l'affichage des résultats du calcul. Ces résultats peuvent se présenter sous différentes formes telles que : Des tableaux, des représentations graphiques ou sous forme de schémas.

Ci-dessous quelques exemples de résultats obtenus de la simulation hydraulique avec HEC-RAS de l'Oued (Beni-hamdoune) à l'état naturel et pour différentes périodes de retour :

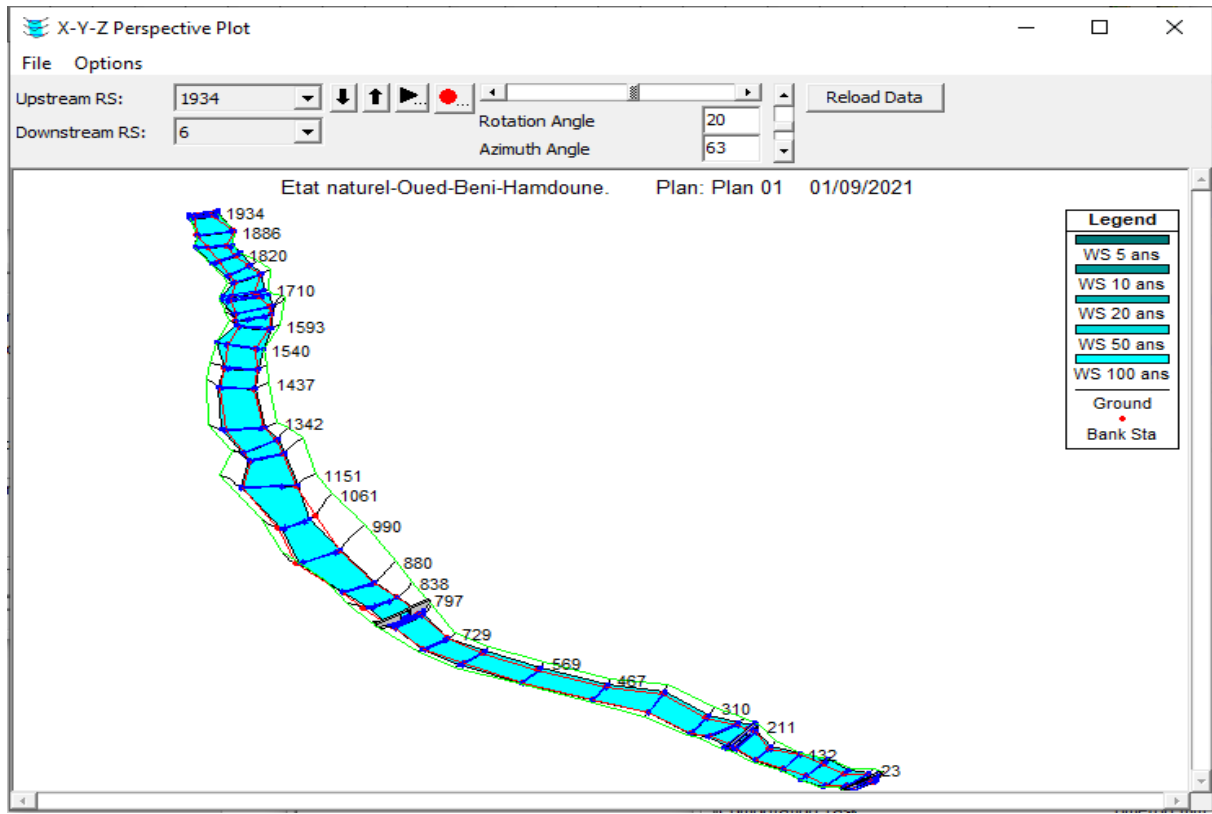


Figure (V.11) : Visualisation en trois dimensions de l'oued Beni-Hamdoune du tronçon (1934 – 6).

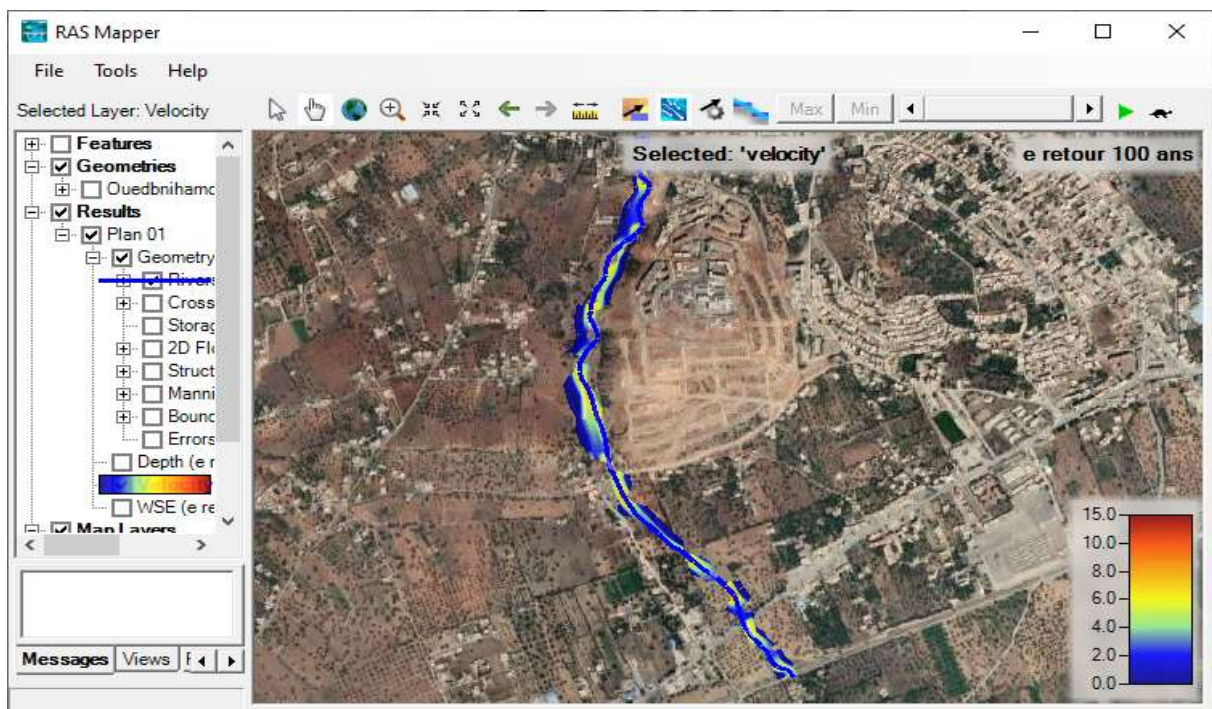


Figure (V.12) : Visualisation animée de la vitesse de l'écoulement à l'état naturel des débits de crues de l'oued Beni-Hamdoune du tronçon (1934 – 6).

Tableau (V.4) : Résultats de la simulation pour une période de retour de 100 ans.

River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
1934	53.68	329.32	329.93	329.93	330.19	0.003553	2.50	27.37	51.35	1.03
1927	53.68	328.92	329.36	329.61	330.20	0.015688	4.24	15.22	43.45	2.05
1886	53.68	326.81	327.04	327.34	328.80	0.097485	5.89	9.12	50.27	4.41
1854	53.68	325.28	325.64	325.96	326.93	0.034402	5.46	12.72	43.58	2.93
1820	53.68	323.88	324.22	324.54	325.68	0.038267	5.61	11.75	45.42	3.07
1789	53.68	321.44	321.67	322.03	323.81	0.098437	6.51	8.41	41.47	4.54
1762	53.68	321.50	321.93	322.12	322.55	0.013836	3.50	15.79	46.43	1.86
1710	53.68	321.86	322.52	322.52	322.81	0.003273	2.45	24.72	46.30	0.99
1696	53.68	322.35	322.94	322.94	323.22	0.003378	2.38	24.33	46.47	1.00
1656	53.68	323.33	323.85	323.85	324.08	0.003653	2.14	25.50	56.23	1.00
1640	53.68	321.61	322.24	322.61	323.81	0.041363	5.55	9.67	30.60	3.15
1593	53.68	323.02	323.92	323.92	324.19	0.003529	2.32	23.22	43.82	1.01
1540	53.68	322.23	322.53	322.80	323.67	0.037040	4.78	11.84	47.19	2.91
1489	53.68	318.98	319.39	319.70	321.06	0.070931	5.72	9.39	42.80	3.89
1437	53.68	317.45	317.83	318.06	318.69	0.026995	4.12	13.26	48.38	2.49
1342	53.68	311.95	312.17	312.48	314.01	0.110370	6.03	9.04	53.83	4.65
1274	53.68	313.57	314.19	314.19	314.41	0.003790	2.09	25.94	60.56	1.01
1231	53.68	315.12	315.75	315.75	315.99	0.003620	2.18	24.84	52.25	1.00
1151	53.68	313.66	314.01	314.27	315.16	0.058588	4.76	11.40	59.02	3.46
1061	53.68	305.19	305.57	305.94	307.95	0.111714	6.84	7.84	38.20	4.82
990	53.68	297.67	298.02	298.31	299.79	0.113320	5.88	9.13	56.36	4.67
880	53.68	298.88	299.51	299.51	299.76	0.003683	2.21	24.62	51.25	1.01
838	53.68	295.25	295.70	296.15	299.00	0.135329	8.04	6.68	29.49	5.39
797	53.68	293.17	293.51	293.78	294.83	0.060555	5.10	10.57	50.88	3.56
784	53.68	292.91	293.27	293.53	294.42	0.047123	4.75	11.32	50.28	3.18
729	53.68	286.99	287.29	287.64	289.96	0.150839	7.24	7.41	41.56	5.47
664	53.68	286.49	286.93	287.10	287.52	0.011432	3.46	16.71	45.31	1.73
569	53.68	285.32	285.80	285.97	286.39	0.012345	3.42	16.13	44.85	1.77
467	53.68	281.70	281.98	282.32	283.75	0.072917	5.90	9.26	42.40	3.96
383	53.68	281.17	281.59	281.66	281.91	0.007211	2.51	21.68	62.52	1.34

310	53.68	276.48	276.65	277.02	280.03	0.271748	8.17	6.66	49.22	7.04
265	53.68	278.35	278.84	278.84	279.08	0.003687	2.15	25.25	55.14	1.00
223	53.68	281.81	282.37	282.37	282.61	0.003576	2.19	25.27	54.44	1.00
211	53.68	281.34	281.60	281.87	282.93	0.065791	5.12	10.54	54.18	3.68
176	53.68	278.51	278.78	279.13	280.53	0.067136	5.88	9.34	40.11	3.84
132	53.68	277.50	277.88	278.11	278.67	0.021944	3.95	13.77	46.08	2.28
91	53.68	277.99	278.57	278.57	278.84	0.003383	2.33	25.21	51.77	0.99
54	53.68	276.67	276.91	277.22	278.39	0.058135	5.44	10.32	46.34	3.56
23	53.68	275.99	276.46	276.68	277.21	0.019411	3.83	14.21	46.35	2.16
12	53.68	275.92	276.41	276.59	277.01	0.011008	3.51	16.42	42.02	1.71
6	53.68	275.44	275.72	276.04	277.13	0.047962	5.28	10.43	41.10	3.29

Avec :

- River sta : Station.
- Q (m³/s) : Débit.
- Min ch (m) : Cote minimale de la section.
- W.S Elev (m) : Cote de niveau d'eau.
- Crit w.s (m) : Cote de niveau d'eau pour un écoulement critique.
- E.G Elev (m) : Cote d'énergie.
- E.G Slope (m/m) : Pente de la ligne d'énergie.
- Vel Chnl (m/s) : Vitesse de la zone centrale de la section.
- Flow Area (m²) : Surface hydraulique de la section (surface mouillée).
- Top Width (m) : Largeur hydraulique de la section (largeur au miroir).
- Froude : Nombre de Froude.

4.8.7 Analyse.

Pour la crue centennale dont le débit est de 53.68 m³/s.

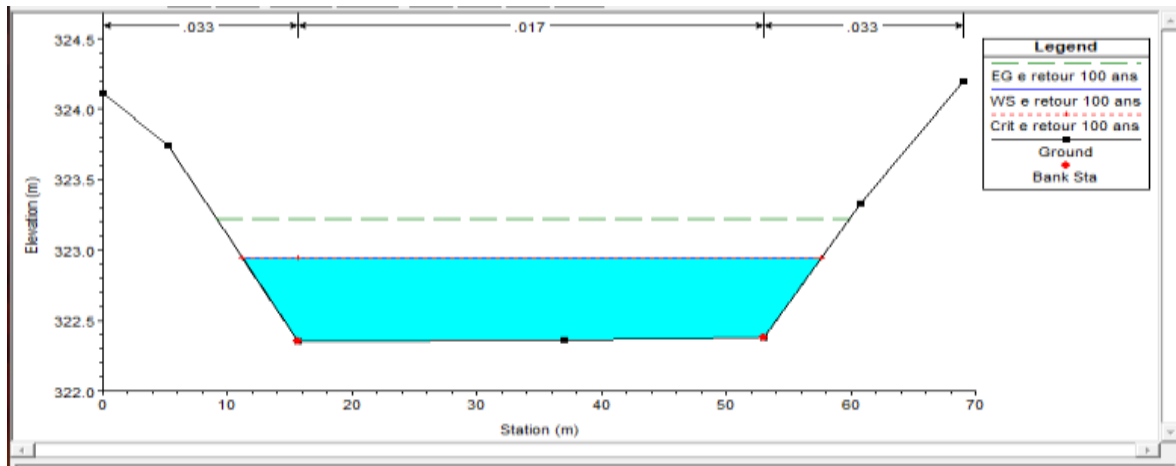


Figure (V.13) : Cross section, « Section en travers » : 1696.

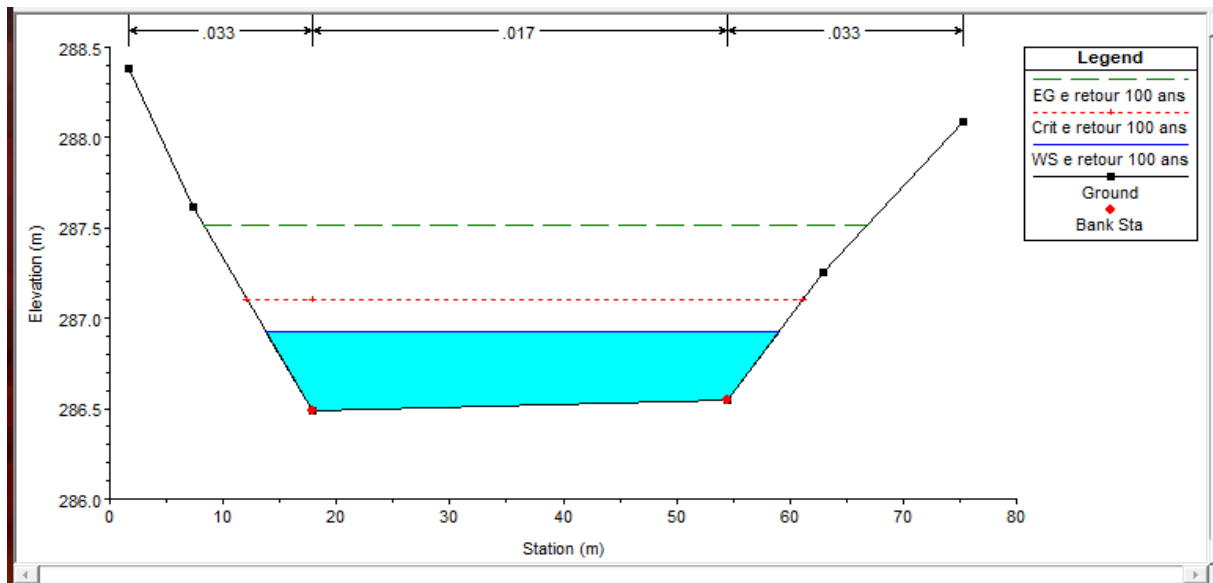


Figure (V.14) : Cross sections, « Section en travers » : 664.

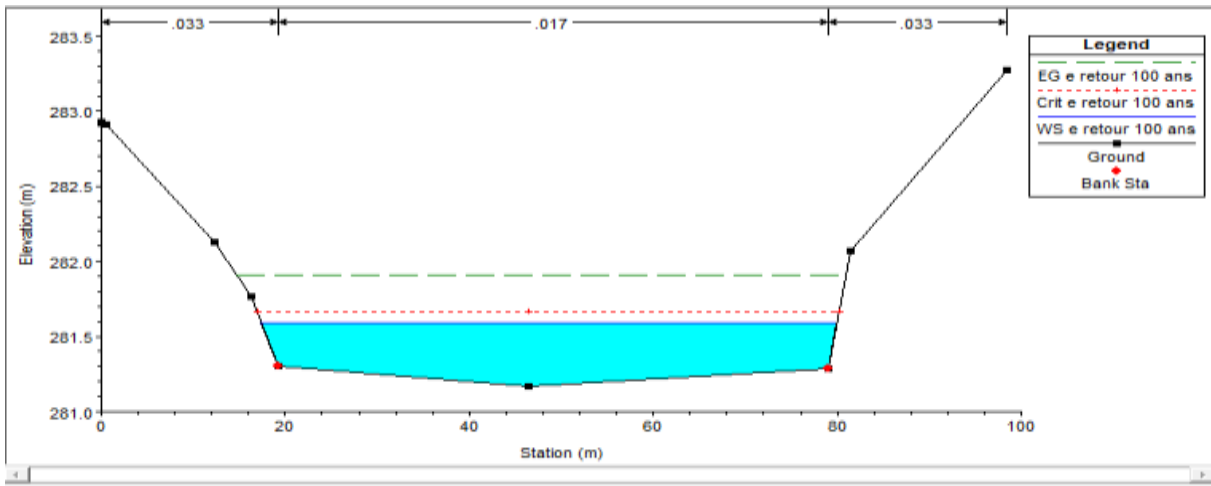


Figure (V.15) : Cross sections, « Section en travers » : 383.

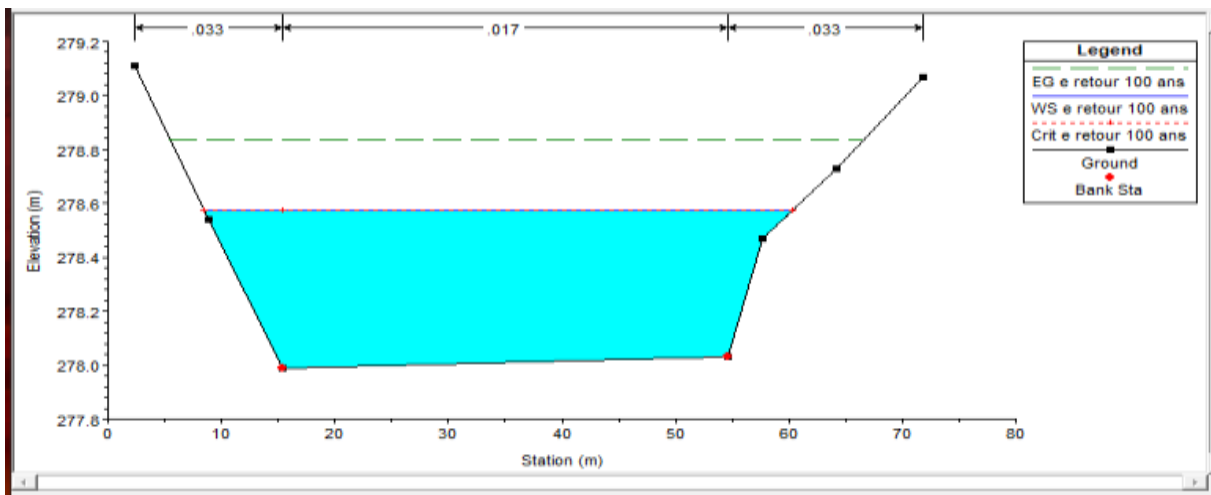


Figure (V.16) : Cross sections, « Section en travers » : 91.

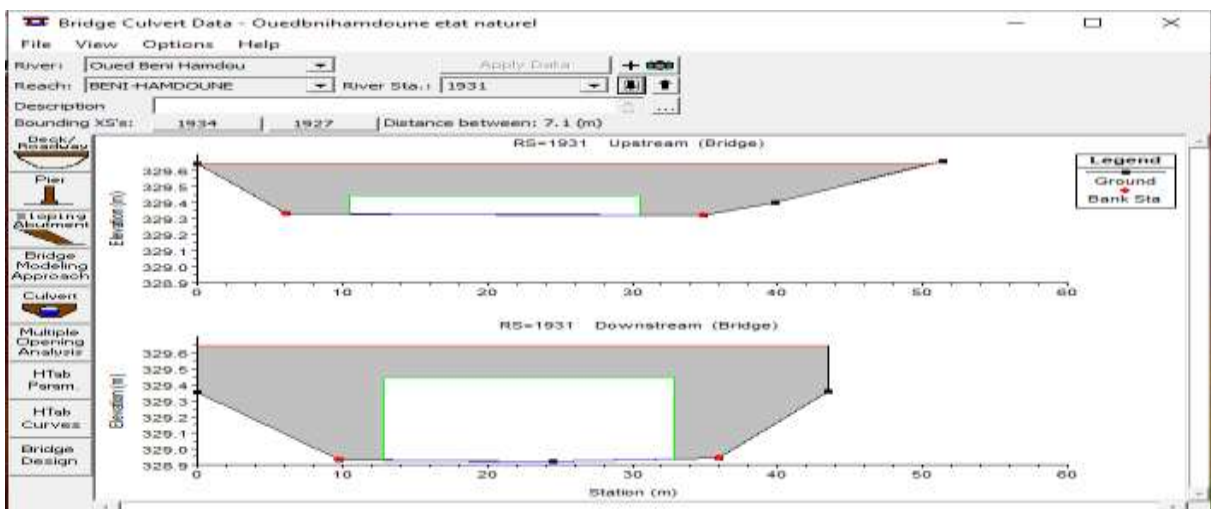


Figure (V.17) : Cross sections, « Section en travers représentant un pont » : 1931.

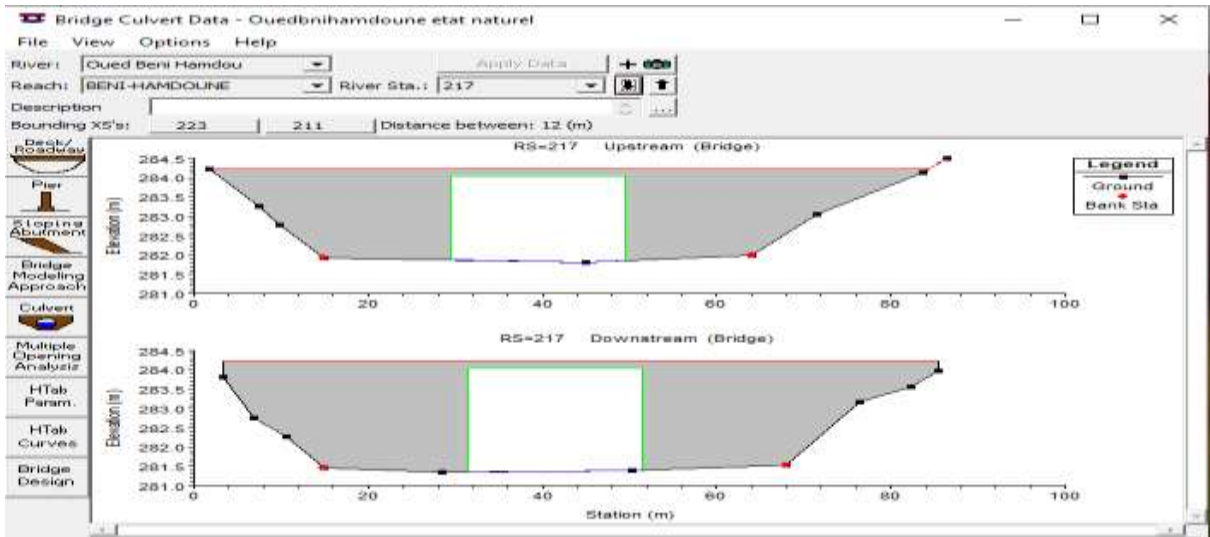


Figure (V.18) : Cross sections, « Section en travers représentant un pont » : 217

4.8.8 Délimitation des zones inondables.

La délimitation de la zone inondable se fait avec l'outil Ras-mapper, avec l'aide de la carte Google-satellite, nous pouvons vérifier la zone inondable sur les bords de l'oued Beni-Hamdoune, avec l'option WSE (Water Surface Elevation), sur une période de retour de 100 ans, comme il est illustré par la figure suivante :

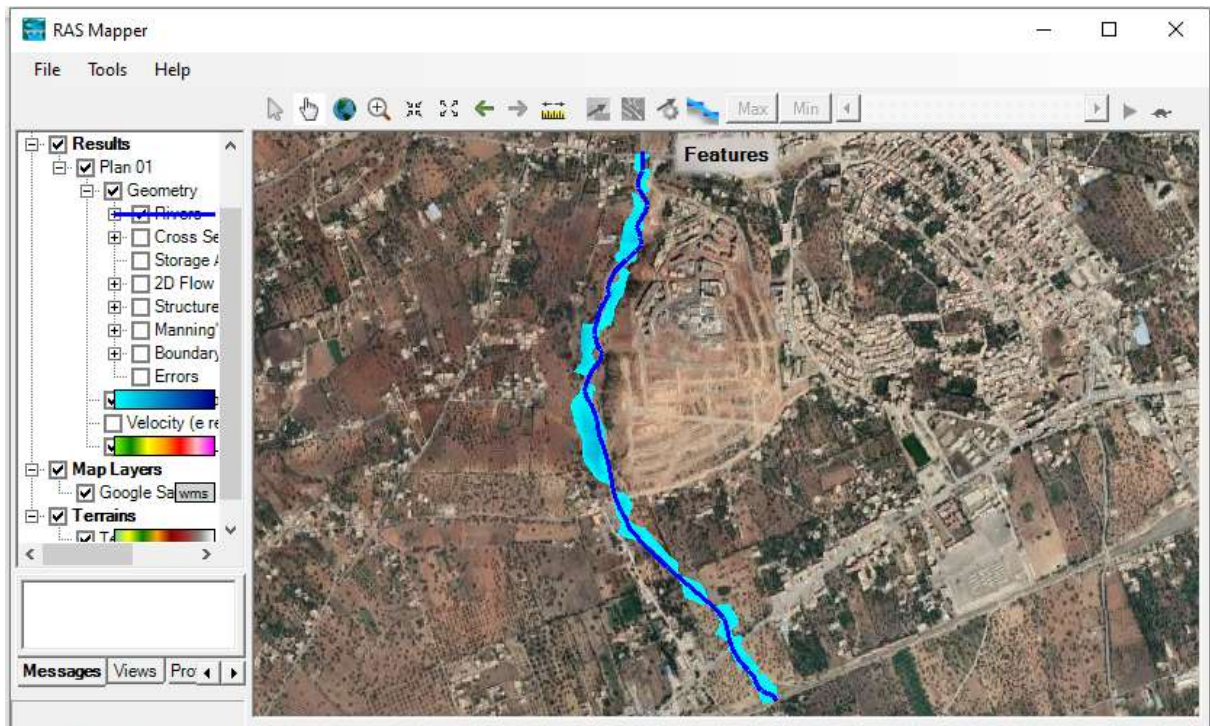


Figure (V.19) : Les zones inondables de l'oued Beni-Hamdoune sur la carte Google satellite avec RAS MAPPER.

4.9 Conclusion.

La modélisation avec HEC-Ras permet de connaître plusieurs paramètres hydrauliques de l'écoulement à l'état naturel, dont les niveaux de la ligne d'eau à différents points de l'Oued.

Avec le module Ras mapper nous avons pu visualiser, en introduisant les différents débits calculés plus haut, la vitesse de l'écoulement pour différentes périodes de retour et pu localiser les zones inondables, susceptibles de présenter un danger de débordement.

Les résultats de la simulation hydraulique avec HEC-Ras sont la matière première et un angle d'attaque pour dimensionner un ouvrage hydraulique susceptible de limiter l'impact de la crue et éviter les inondations.

***CHAPITRE VI : ETUDE
HYDRAULIQUE AVEC
AMENAGEMENT.***

5.1 Introduction.

Le présent chapitre propose une solution technique aux inondations estimées et étudiées précédemment, avec l'utilisation des Logiciels de dessins D.A.O (Dessins assistés par ordinateur), nous allons pouvoir faire la conception de l'ouvrage que nous avons estimé adéquat, sur le plan de la conception ainsi que celui de la réalisation, en tenant compte des exigences du terrain et en respectant les règles de l'art.

5.2 Proposition d'aménagement.

5.3 Avantages d'un canal trapézoïdal.

Le canal trapézoïdal est la solution la plus adéquate aux problèmes d'inondation, avec l'inclinaison de ses parois, il permet à l'eau s'y écouler plus facilement et même si cette dernière rencontre des changements de sections, elle s'y adapte aisément sans présenter de risque ni de débordement ni sur la structure de l'ouvrage. Ce type de canal, avec sa grande largeur en miroir empêche la crue d'avoir une hauteur importante même si le débit était considérablement élevé. Le canal trapézoïdal est facile à concevoir, à réaliser et à entretenir

5.4 Dimensionnement des canaux.

Le dimensionnement du canal nécessite la connaissance du débit de la crue maximale, celle de la période de retour de 100 ans, mais il ne suffit pas de prendre en considération uniquement le débit liquide, car le débit solide aussi est mis en jeu, mais comme son volume est négligeable face à la crue centennale nous allons juste rajouter à notre ouvrage une hauteur h afin d'assurer un éventuel transport solide et ne pas prendre le risque de le négliger.

5.4.1 Équation de Chézy.

$$V = C \times R_h^{1/2} \times \sqrt{I} \dots\dots\dots (48)$$

5.5 Calcul des paramètres géométriques.

5.5.1 Paramètres géométriques d'un canal à section trapézoïdale. [7]

Le profil de meilleure conductivité est le profil qui véhicule le débit maximum, pour un canal de pente I et de coefficient de rugosité n , la section qui véhicule le débit maximum Q_{max} est celle pour laquelle, le rayon hydraulique R_h est maximal et la section S est minimale.

Cette section est intitulée la section la plus avantageuse, car elle répond à toutes les exigences d'un écoulement avec le minimum de risque.

Les paramètres géométriques de la section la plus avantageuse sont rangés dans le tableau suivant :

Tableau (VI.1) : Les caractéristiques géométriques d'une section avantageuse d'un canal trapézoïdal.

b	$2h(\sqrt{1+m^2})$	Largeur inférieure du canal.
B	$b + 2mh$	Largeur au miroir.
Sm	$h(b + mh)$	Surface mouillée.
Pm	$b + 2h\sqrt{1+m^2}$	Périmètre mouillé.
Rh	S_m/P_m	Rayon hydraulique.
m	$1/\tan(\alpha)$	Fruit du talus.

5.5.2 Section de débit maximum.

Nous avons la formule suivante :

$$Q = V \times S = \frac{1}{n} S \times R_h^{2/3} \times \sqrt{I} \dots\dots\dots (49)$$

$$\text{Soit : } \frac{1}{n} \times \sqrt{I} = Cte \dots\dots\dots (50)$$

$$\text{Et } R_h^{2/3} = \frac{S_m^{2/3}}{P_m^{2/3}} \dots\dots\dots (51)$$

$$\text{Donc : } Q = Cte \times R_h^{2/3} \dots\dots\dots (52)$$

$$Q = Cte \cdot S \cdot R_h^{(2/3)} \dots\dots\dots (53)$$

$$\text{D'où : } Q = Cte \cdot \frac{S_m^{5/3}}{P_m^{2/3}} \dots\dots\dots (54)$$

5.5.3 Profondeur normal (hn). [7]

La profondeur hn est la profondeur de l'eau dans un canal de pente Jf donnée, parcourue par un débit Q . Les éléments géométriques de la section qui correspondent à la profondeur normale hn , sont appelés éléments normaux, tels que Rn , Sn , ou Pn .

Le procédé de calcul consiste à introduire les expressions de la surface mouillée (Sm), le rayon hydraulique (Rh), les valeurs du coefficient de STRECKLER (Ks), et de la pente du fond du canal (Jf) dans l'équation suivante :

$$Q = \frac{1}{n} \times S \times R_h^{2/3} \times \sqrt{I} \dots\dots\dots (55)$$

Ensuite, il y a lieu de fixer la valeur de la largeur du fond (b), et finalement faire varier les valeurs de h et obtenir des valeurs de débits (Q), la valeur de hn est obtenue quand le débit trouvé est égal au débit maximal ($Q = Q_{max}$).

5.5.4 Profondeur critique h_c .

La hauteur critique étant définie comme étant $Fr(h_c) = 1$, on tire que

$$h_c = \left(\frac{Q^2}{g \times B^2 \times \cos\theta} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (56)$$

Dans le cas d'un canal rectangulaire, en introduisant le débit par unité de largeur :

$$q = \frac{Q}{B}, \text{ On aura donc :}$$

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g \times \cos\theta} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (57)$$

Dans la plupart des ouvrages, le terme $\cos(\theta)$ est omis car la pente est faible et donc $\cos(\theta) = 1$. Alors :

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (58)$$

5.5.5 La pente critique I_c .

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

La pente critique pour un débit donné est celle pour laquelle l'écoulement est en régime critique et uniforme, elle est donnée par la formule suivante, développée à partir de la formule du débit :

$$I_c = \frac{Q^2}{S^2 \times C^2 \times R_h} \dots\dots\dots (59)$$

5.5.6 Calcul de la ligne d'eau.

5.5.6.1 Equation de la ligne d'eau :

Le calcul des profils de la ligne d'eau est obtenu à l'aide de l'équation de la continuité et de l'équation de la conservation de l'énergie. Supposons connu la géométrie et la rugosité du chenal ainsi que la valeur le débit permanent. Nous cherchons la ligne d'eau, c'est-à-dire la relation entre le tirant d'eau et l'abscisse.

- L'équation de l'énergie : $H = Z + V^2/2g + h$
- L'équation de continuité : $Q = V.S$

5.5.6.2 Calcul de la surface d'eau.

Pour procéder aux calculs et à la construction des formes de la surface de l'eau, on doit passer par l'intégration de l'équation (VI.22). Et pour cela on désigne trois méthodes de calcul :

- Par approximation successive.
- Par intégration directe.
- Par intégration graphique.

5.6 Calcul hydraulique du canal.

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

5.6.1 Le fruit de talus :

La valeur du fruit m a été choisie selon la nature du terrain et pour notre cas on prend : $m = 0.577$

5.6.2 La rugosité.

Pour un canal en béton, la rugosité n égale à 0.014

5.6.3 La largeur du canal.

On prend $b = 22$ m, elle correspond à largeur moyenne

5.7 Calcul des paramètres de l'écoulement.

L'outil (*View summary output tables by profiles*) du logiciel HEC-RAS nous permet de connaître les différents paramètres hydrauliques tels que la hauteur normale, la vitesse d'écoulement, le type du régime et la nouvelle capacité de l'oued après l'aménagement.

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

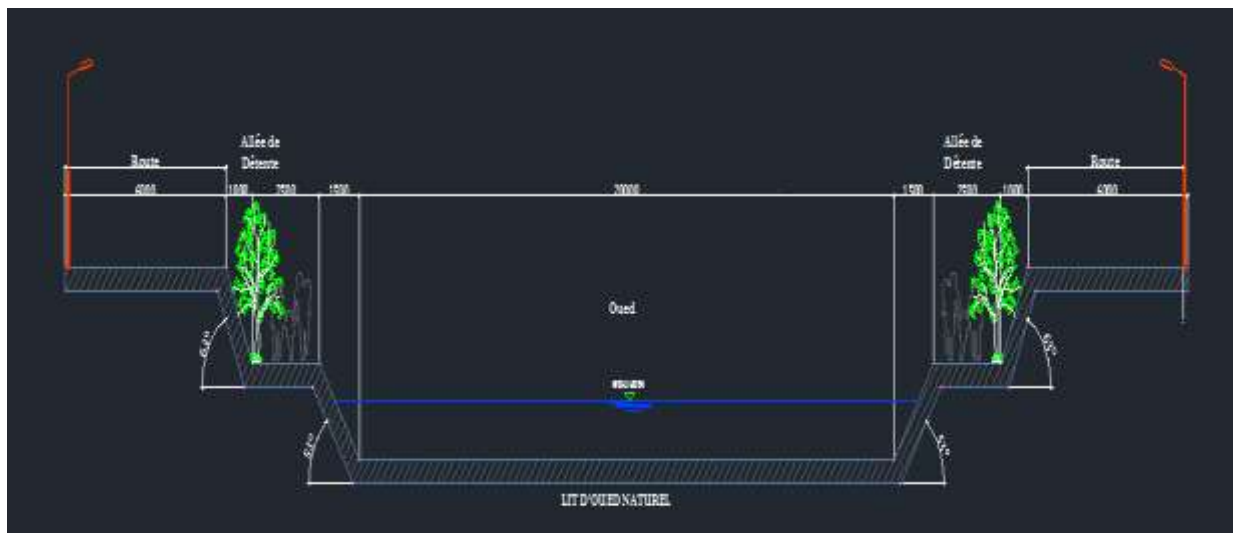


Figure (6.1) : Type d'aménagement proposé.[2]

River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S.(m) ×10 ⁻³	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top width (m)	froude
1850	53.68	275.47	276.3	276.3	276.72	3.23	2.85	18.84	22.98	1
1825	Bridge									
1800	53.68	276.95	277.79	277.79	278.2	3.231	2.85	18.84	22.97	1.01
1750	53.68	278.43	279.27	279.27	279.68	3.232	2.85	18.83	22.97	1.01
1725	Bridge									
1700	53.68	279.91	280.75	280.75	281.17	3.229	2.85	18.84	22.98	1
1650	53.68	281.4	282.24	282.24	282.65	3.232	2.85	18.83	22.97	1.01
1600	53.68	282.89	283.73	283.73	284.14	3.231	2.85	18.84	22.98	1.01
1550	53.68	284.39	285.23	285.23	285.64	3.229	2.85	18.84	22.98	1
1500	53.68	285.89	286.72	286.72	287.14	3.232	2.85	18.83	22.97	1.01
1450	53.68	287.39	288.22	288.22	288.64	3.238	2.85	18.81	22.84	1
1400	53.68	288.88	289.72	289.72	290.14	3.235	2.85	18.83	22.97	1.01
1350	53.68	290.38	291.22	291.22	291.63	3.233	2.85	18.83	22.97	1.01
1300	53.68	291.88	292.72	292.72	293.13	3.231	2.85	18.84	22.98	1.01
1250	53.68	293.38	294.22	294.22	294.63	3.23	2.85	18.83	22.95	1
1200	53.68	294.88	295.72	295.72	296.13	3.23	2.85	18.84	23	1.01
1150	53.68	296.38	297.22	297.22	297.63	3.231	2.85	18.84	22.98	1.01
1125	Bridge									
1100	53.68	297.88	298.71	298.71	299.13	3.232	2.85	18.84	22.97	1.01
1050	53.68	299.37	300.21	300.21	300.63	3.231	2.85	18.84	22.97	1.01
1000	53.68	300.86	301.7	301.7	302.11	3.232	2.85	18.83	22.97	1.01
950	53.68	302.33	303.17	303.17	303.59	3.244	2.86	18.79	22.8	1
900	53.68	303.79	304.62	304.62	305.04	3.239	2.85	18.82	22.95	1.01
850	53.68	305.23	306.06	306.06	306.48	3.229	2.85	18.84	22.98	1
800	53.68	306.66	307.5	307.5	307.91	3.232	2.85	18.83	22.97	1.01
750	53.68	308.09	308.93	308.93	309.35	3.231	2.85	18.84	22.98	1.01
700	53.68	309.53	310.37	310.37	310.78	3.229	2.85	18.84	22.98	1
650	53.68	310.96	311.8	311.8	312.21	3.232	2.85	18.83	22.97	1.01
600	53.68	312.4	313.23	313.23	313.65	3.231	2.85	18.84	22.97	1.01
550	53.68	313.83	314.67	314.67	315.08	3.23	2.85	18.84	22.97	1
500	53.68	315.26	316.1	316.1	316.51	3.228	2.85	18.84	22.97	1
450	53.68	316.7	317.53	317.53	317.95	3.23	2.85	18.84	22.97	1
400	53.68	318.13	318.97	318.97	319.38	3.228	2.85	18.84	22.98	1
350	53.68	319.57	320.4	320.4	320.82	3.236	2.85	18.83	22.97	1.01
300	53.68	321	321.84	321.84	322.25	3.232	2.85	18.83	22.98	1.01
250	53.68	322.43	323.27	323.27	323.68	3.237	2.85	18.83	22.97	1.01
200	53.68	323.87	324.7	324.7	325.12	3.234	2.85	18.83	22.97	1.01
150	53.68	325.3	326.14	326.14	326.55	3.236	2.85	18.83	22.97	1.01
100	53.68	326.73	327.57	327.57	327.99	3.231	2.85	18.84	22.97	1.01
75	Bridge									
50	53.68	328.17	329.01	329.01	329.42	3.231	2.85	18.84	22.97	1.01

Tableau (6.2) : Paramètres de l'écoulement du canal, obtenus après simulation.

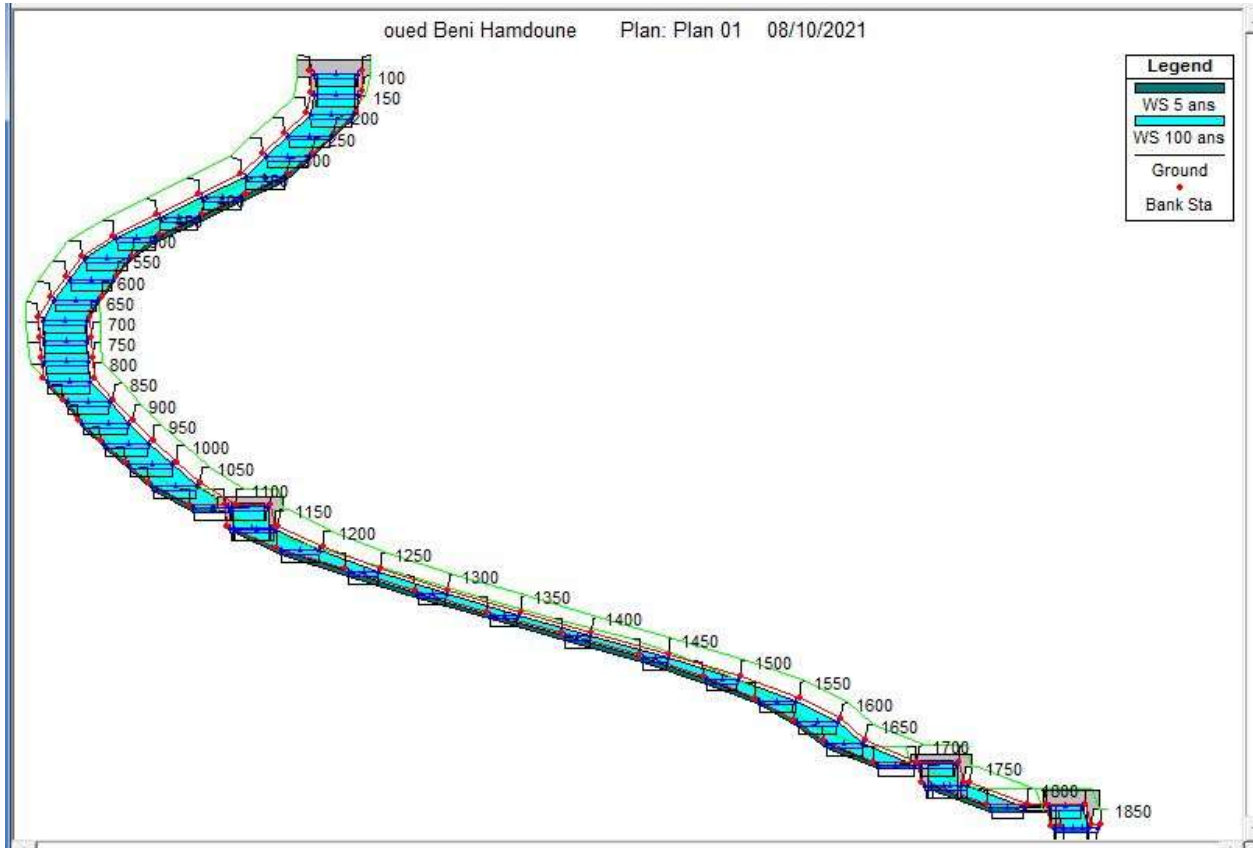


Figure (6.2) : Visualisation en 3D, Oued Bebi-Hamdoune après aménagement. (View 3D multiple cross section plot)

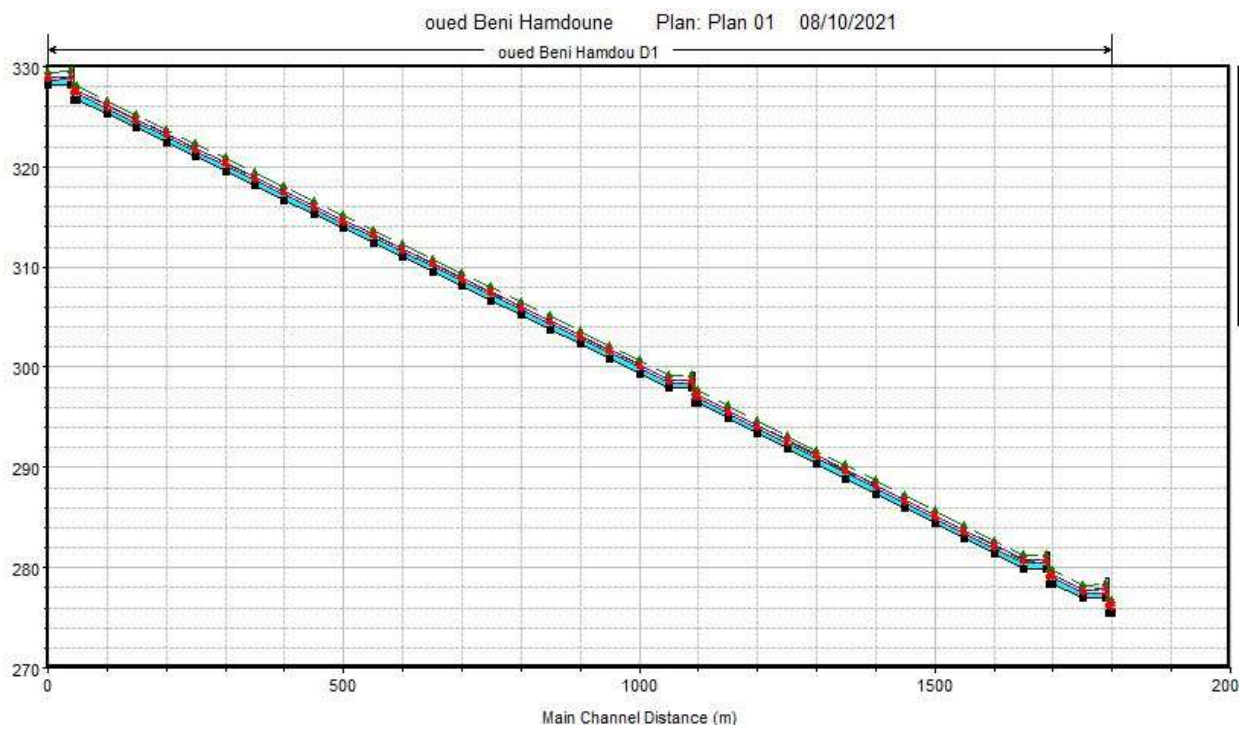


Figure (6.3) : Profile en long du canal. (View profiles)

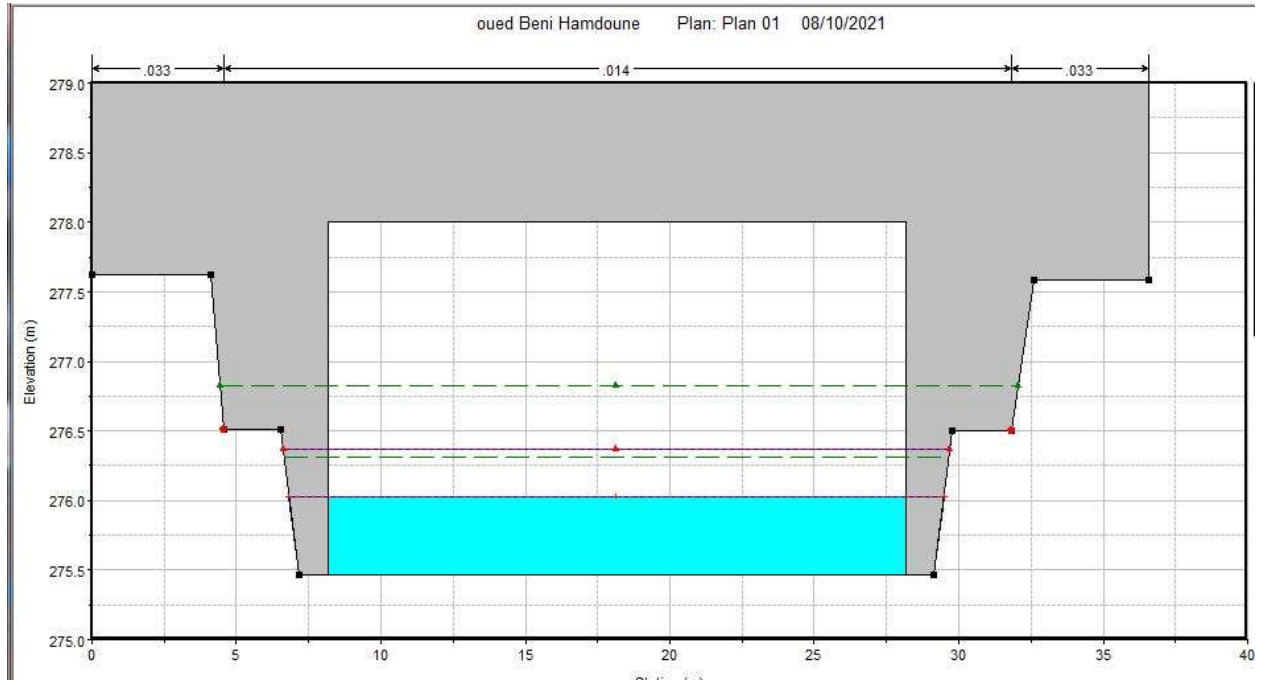


Figure (6.4) : section en travers du cours d'eau représentant le pont 1825.

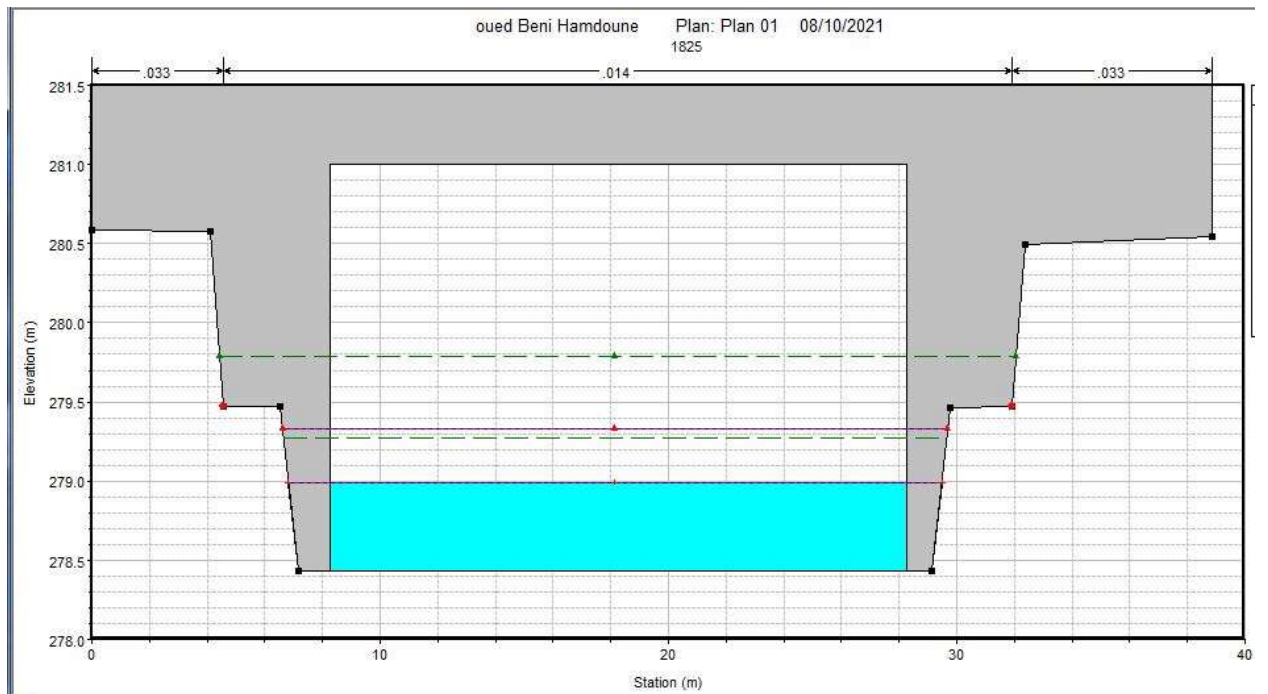


Figure (6.5) : section en travers du cours d'eau représentant le pont 1725

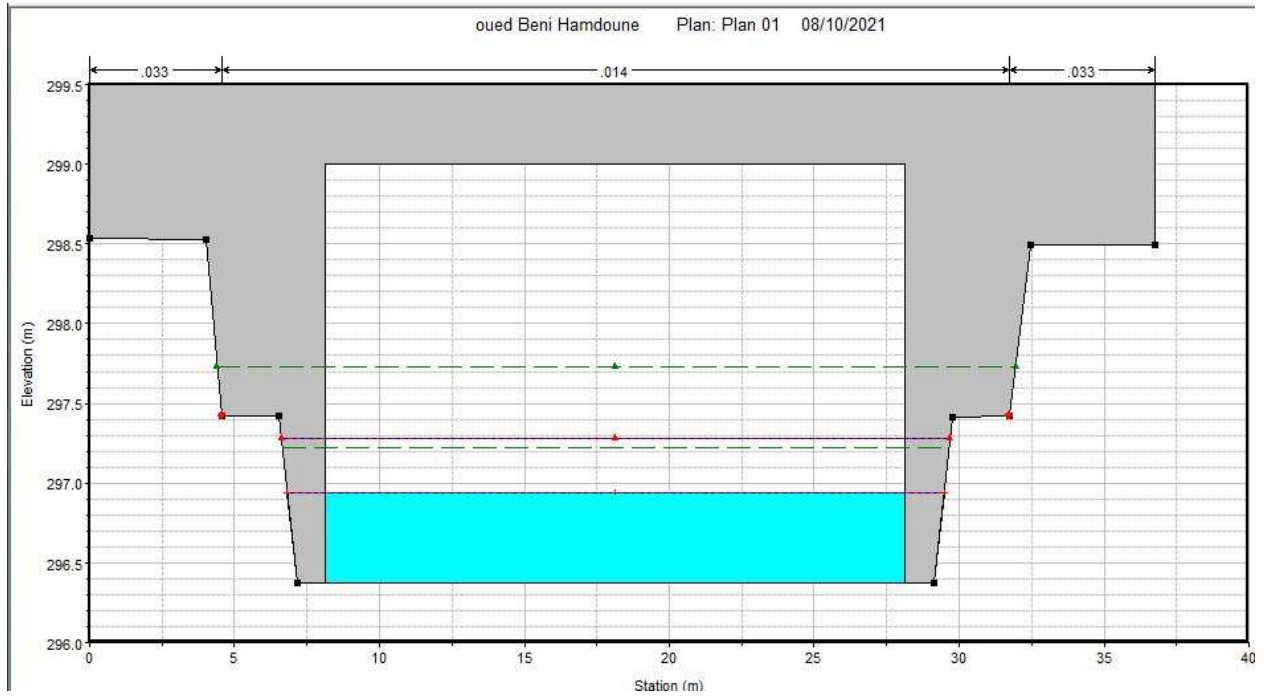


Figure (6.6) : section en travers du cours d'eau représentant le pont 1125

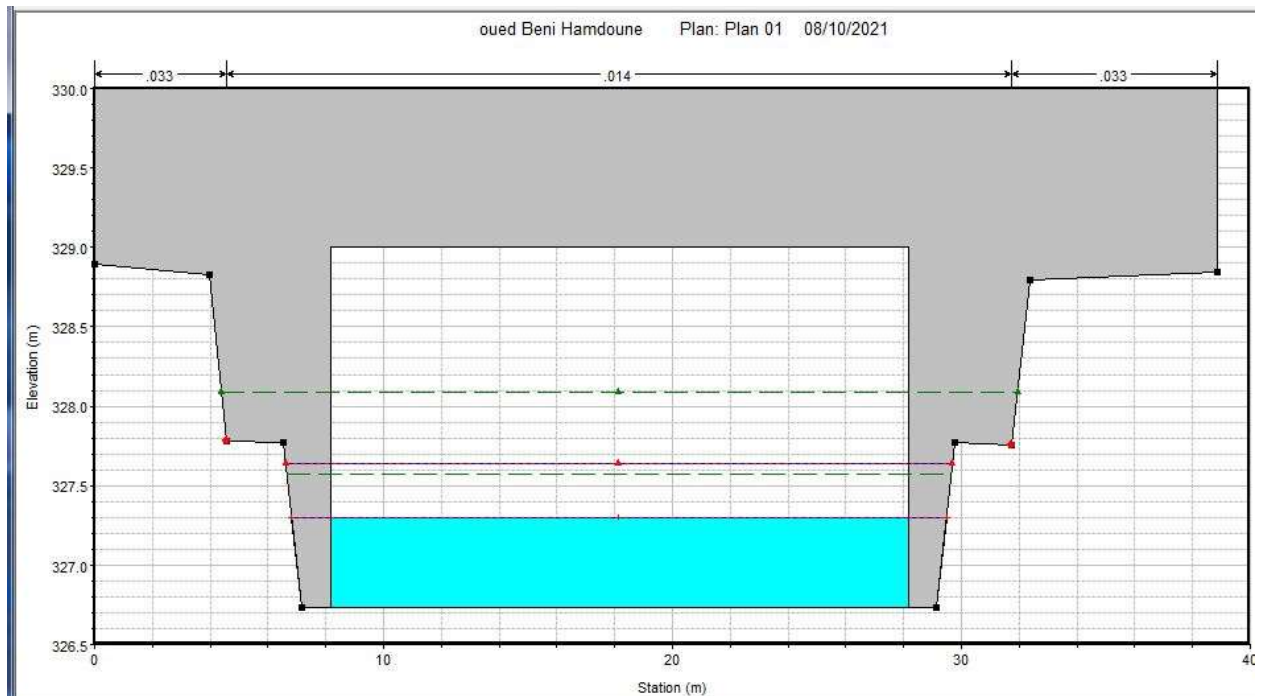


Figure (6.7) : section en travers du cours d'eau représentant le pont 75

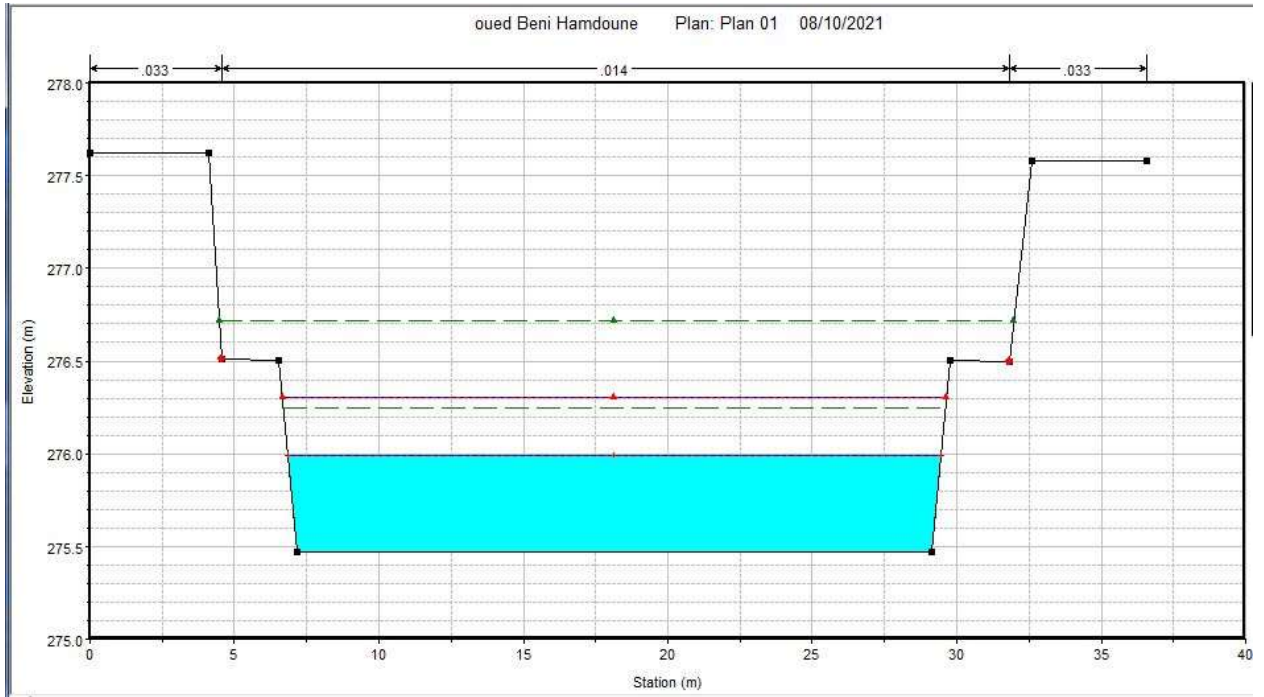


Figure (6.8) : section en travers du cours d'eau (Cross section :1850) .

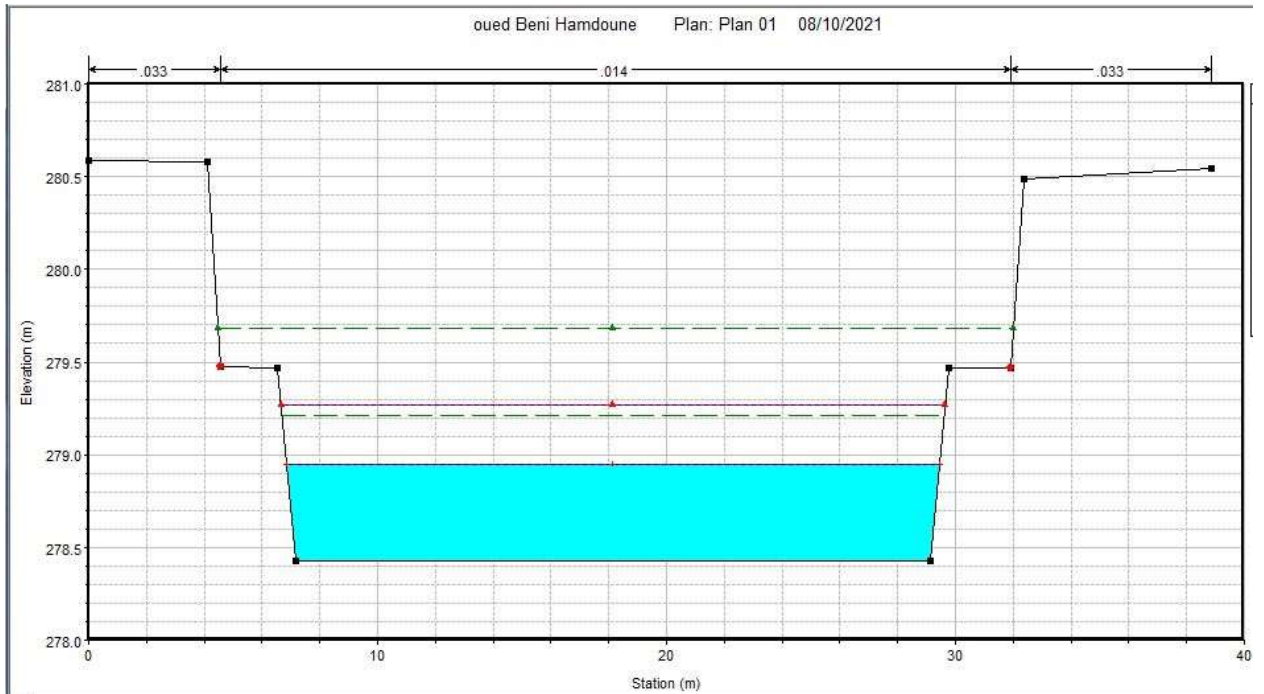


Figure (6.9) : section en travers du cours d'eau (Cross section :1750)

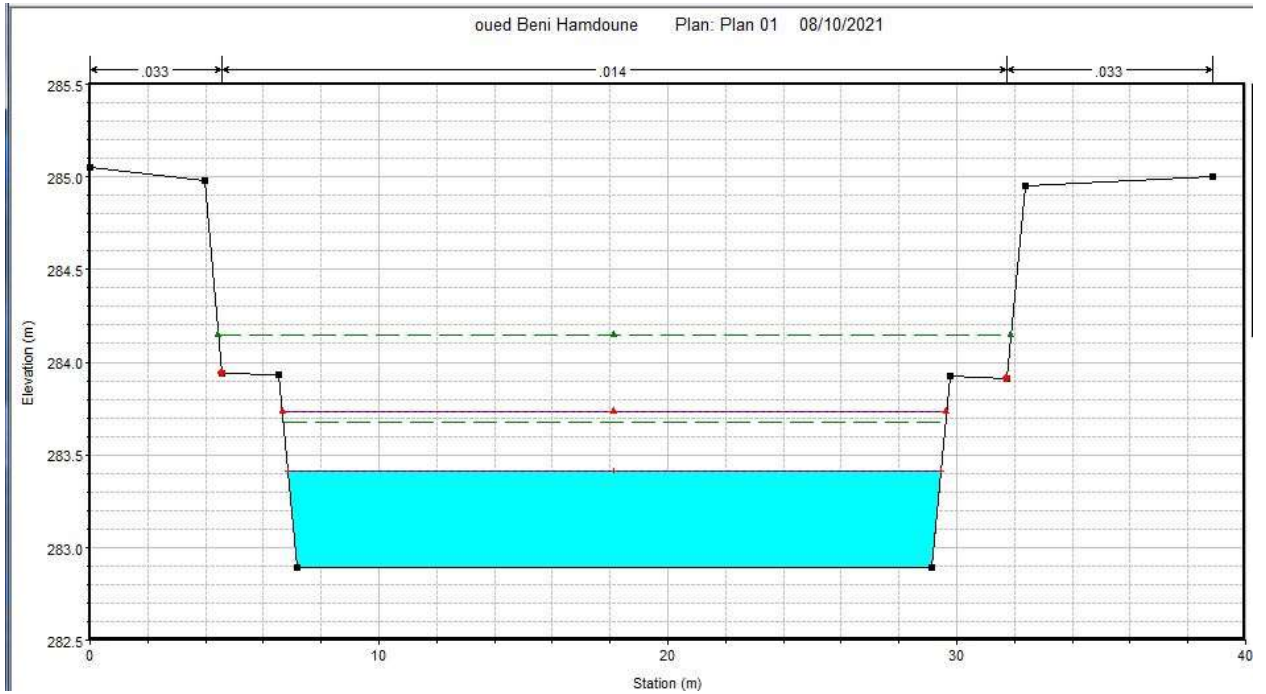


Figure (6.10) : section en travers du cours d'eau (Cross section :1600)

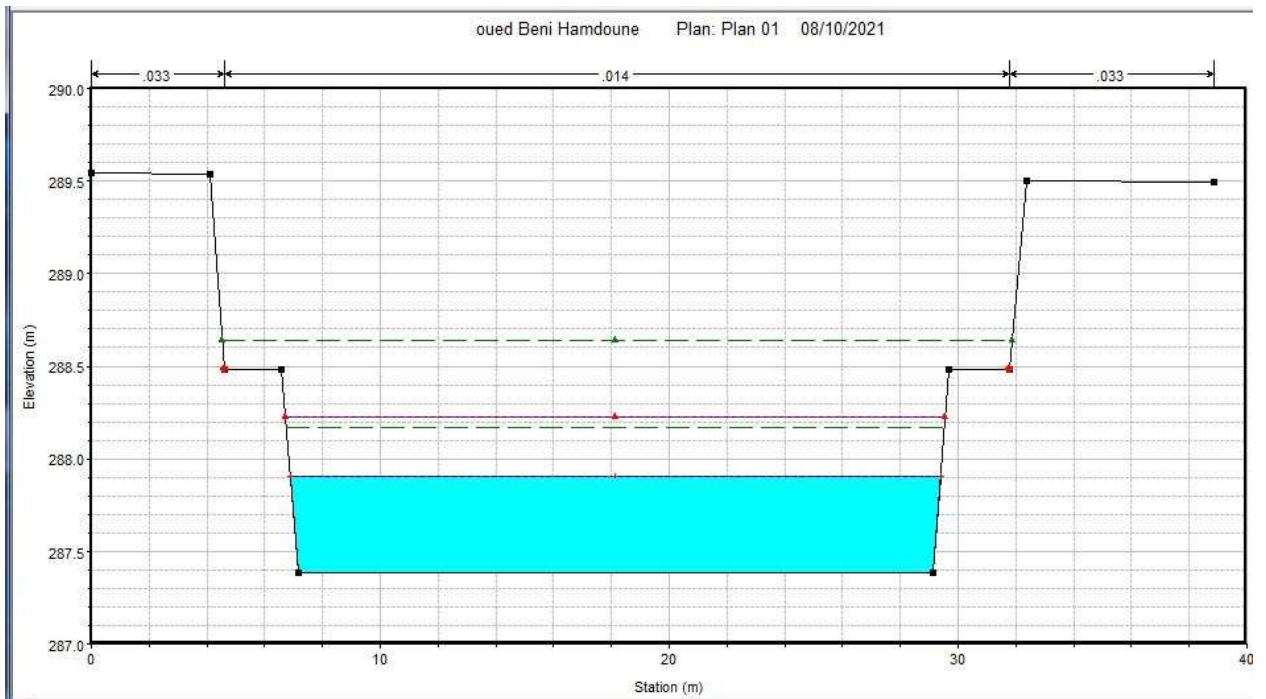


Figure (6.11) : section en travers du cours d'eau (Cross section :1450)

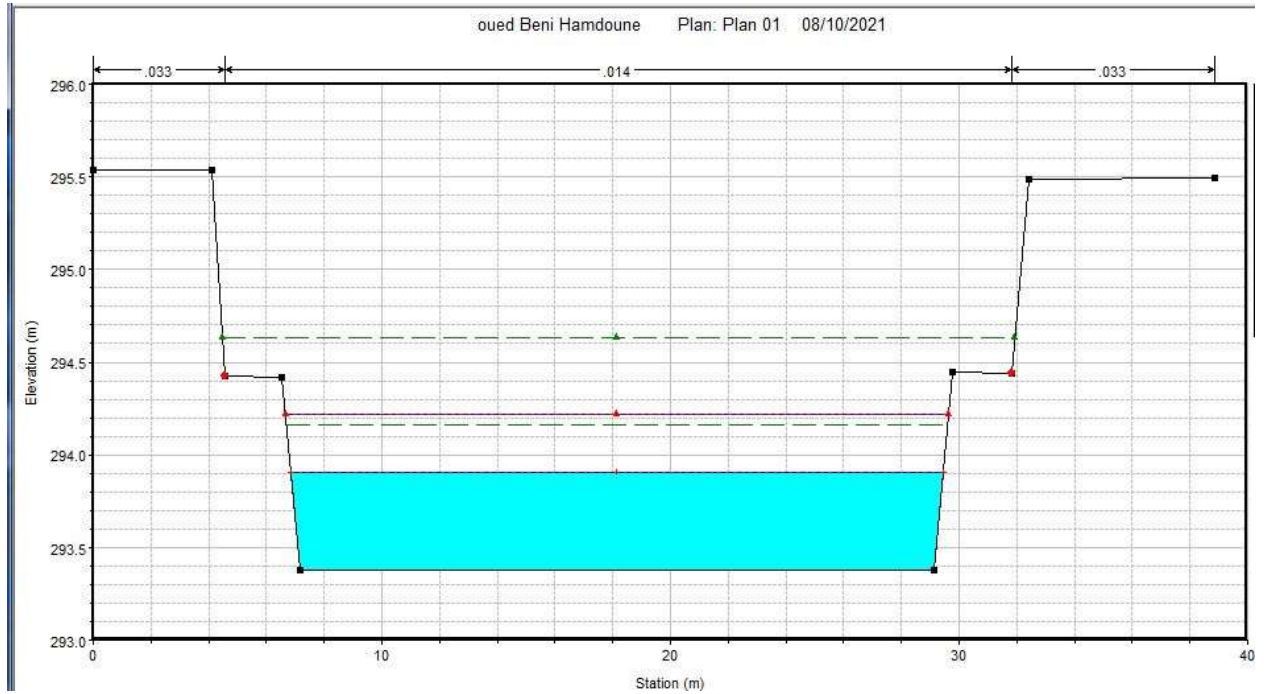


Figure (6.12) : section en travers du cours d'eau (Cross section :1250)

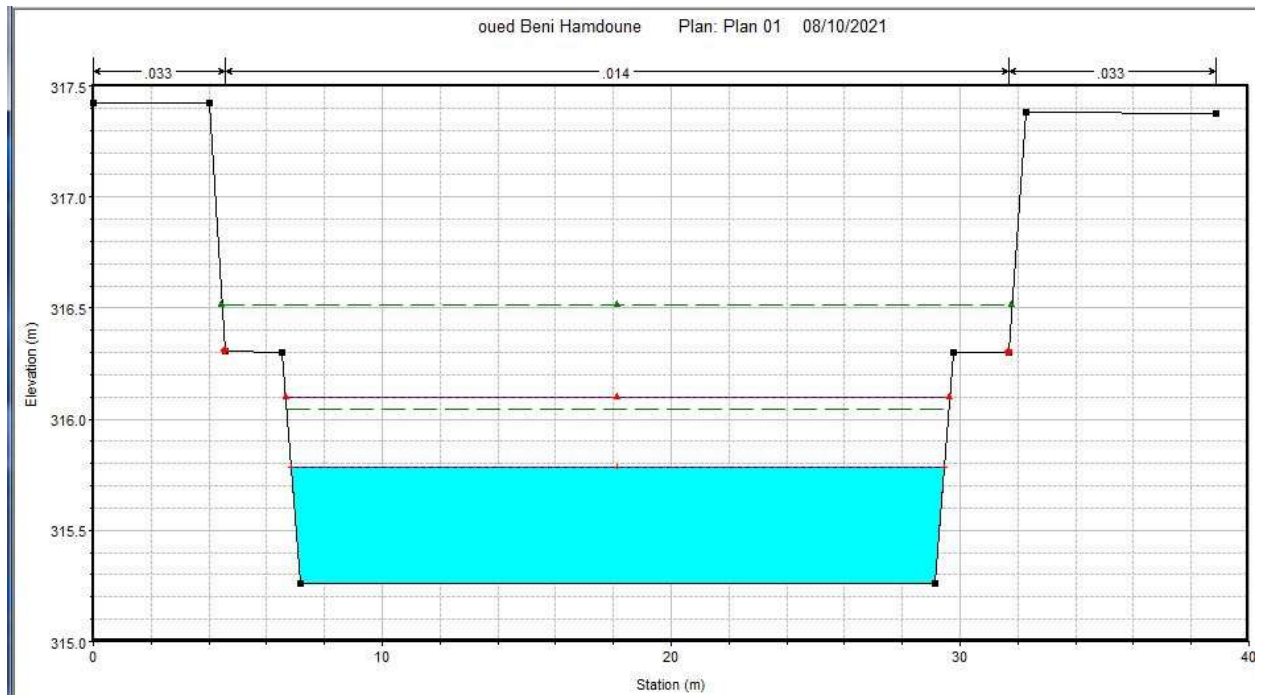


Figure (6.13) : section en travers du cours d'eau (Cross section :500)

5.8 Conclusion.

En observant les résultats de la simulation hydraulique avec aménagement faite par le logiciel HEC-Ras et illustrés par le tableau (6.2) et les figures (6.2) jusqu'à (6.13), et en faisant la comparaison avec les résultats obtenus plus haut, par la simulation hydraulique sans aménagement, nous pouvons constater que le canal aménagé contient toute l'eau du débit de la crue centennale, avec une hauteur presque constante tout au long de l'écoulement, un nombre de Froude qui est inférieur à 1 ; donc l'écoulement est fluvial et sa vitesse n'est pas très importante. D'après les résultats obtenus et les observations qui ont été faites, nous pouvons dire que le risque de débordement sur la ville de Tazmalt est maîtrisé.

CONCLUSION GENERALE.

Plus que d'actualité, la question du changement ou du dérèglement climatique est au cœur des débats qui animent la communauté scientifique. De nombreux experts ont tiré la sonnette d'alarme quant aux risques et conséquences néfastes de ce processus qui menace la terre jusque dans son existence.

Parmi les risques énumérés. Celui des inondations est cité à plusieurs reprises. L'avenir ne leur avait pas donné tort, pas plus tard qu'il y a quelques semaines, nous avons assisté à la destruction, par inondation, de quelques villes en Europe et en Asie.

Afin de lutter de façon efficace contre ce danger, les techniques de l'ingénierie, telle que la modélisation hydraulique sont fortement sollicitées, elle s'impose de façon incontournable dès que l'on projette d'effectuer un travail sur la gestion des ressources en eau, ou de l'aménagement du territoire. La modélisation décrit avec exactitude le comportement naturel de l'hydrologie, qui constitue un socle pour la suite des travaux, notamment le calcul hydraulique et la conception des ouvrages de protection tel qu'un canal en béton de forme trapézoïdale dans le cas de notre étude sur l'Oued de Beni-Hamdoune, que nous avons effectué en exploitant les résultats de l'étude hydrologique et en nous basant sur les calculs hydrauliques.

Nous avons pu enregistrer ces différents résultats qui définissent les principales caractéristiques de ce Oued tels que : un coefficient de compacité $K_c=1.32$ qui nous renseigne sur sa forme allongée, une chevelure hydrographique assez dense, un relief très fort, une pluie moyenne annuelle estimée $P_{moy/an}=357.74$ mm, un débit maximal de la crue centennale calculé avec la formule de MALLET-GAUTHIER qui est $Q_{max}=53.68$ m³/s ainsi qu'un nombre de Froude moyen $Fr = 2.25$.

L'exploitation de ces résultats nous permet d'estimer l'étendue du risque de l'inondation et nous sert à donner les bonnes dimensions pour l'ouvrage à concevoir, un ouvrage qui, en joignant l'utile à l'agréable peut constituer, non seulement un canal évacuant les crues, mais aussi un accès aux terrains agricoles et vergers le jouxtant, une voie toute préparée pour installer des réseaux d'assainissement, des conduites d'alimentation en eau potable ou même un réseau électrique ou téléphonique.

La solution d'aménagement proposée est efficace à bien des égards, néanmoins elle reste quelque peu déficitaire, son exploitation dépend grandement de son entretien de manière permanente, sa protection et la sensibilisation des citoyens.

Et pour tous les projets futurs, la création de nouvelles stations pluviométriques et l'optimisation de leur exploitation, l'utilisation des nouvelles technologies, l'observation et l'enregistrement de toute évolution climatique ou hydrologique, constituent les défis majeurs dont nous devons nous affranchir afin d'être plus précis dans nos démarches et d'économiser plus d'argent et plus d'effort.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET SITES INTERNET :

- [1] : Aissa MOALI, *Fiche Descriptive Ramsar de la Vallée de l'oued Soummam*, Université A.Mira de Béjaia, 2006-2008.
- [2] : AZIZI Oussama & AYACHI Yahia. Mémoire fin d'étude : *Étude aménagement oued Beni-Melikech, Béjaia*. Université : A. MIRA- Béjaia. 2020.
- [3] : BOUCHELLAH Zahra & MAZOU A. Hakim, *Hydrodynamique des eaux souterraines de la basse Soummam*, Université A. MIRA de Béjaia, 2020.
- [4] : BETTAHAR Yamina. *La revue pour l'histoire du CNRS : La géologie en Algérie (1880-1940) Enjeux coloniaux, démarche scientifique et dispositif académique*. C.N.R.S- Université de Nancy. 2007.
- [5] : CHABANE Rabah & LABBAOUI Thanina. *Etude de protection contre les inondations de la ville d'El-Bayadh, oued Deffa*, Université A. MIRA de Béjaia. 2016.
- [6] : CHABOU Moulley Charaf. *1ère année licence Géosciences – Semestre 2 - Module : Géologie 2*. Université Ferhat Abbas, Sétif 1. Année universitaire : 2017-2018.
- [7] : DROUCHE Abdelmadjid, DJEMA Manal Et NEZZAL Fatiha. *Revue des sciences de l'eau : Variabilité interannuelle des précipitations dans la plaine de la Mitidja en Algérie du Nord*. Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE). 2019.
- [8] : IRATNI Nawal, Modélisation hydrologique de quelques sous bassins versant de la Tafna, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, Mohamed BOUDIAF. Mars 2014
- [9] : KERKAR. M.E ; *Protection de la ville de MEFTAHA (Blida) contre les inondations par aménagement de l'Oued KHADRA*, Projet de fin d'étude, Ingéniorat, ENSH, Blida, Algérie 2011.
- [10] : MEDJEK Said & TIZI Nourddine. Mémoire de fin d'étude : *Étude d'aménagement d'oued El kseur*. W.BEJAIA. Université de Béjaia. 2016.
- [11] : MAURICE Benchetrit, *Revue de géographie alpine, tome 44, n°4*, Université de Grenoble, 1956.
- [12] : OULD FAH Mohamed Mahmoud. *Etude hydrologique du bassin versant de la Soummam*. Université : Mohamed Boudiaf – M'sila. 2016
- [13] : TOUAIBIA, B. *Manuel pratique d'hydrologie*. Edition Madani. Blida. Algérie. (2004).
- [14] : ROBERT Beaulieu (MAPAQ), Isabelle Breune (AAC), Mikael Guillou (MAPAQ). *Fiche technique : Évaluation des débits de pointe pour les petits bassins versants agricoles du Québec*. Québec, avril 2017.
- [15] : YANN l'hote, *Mesure et étude des précipitations en hydrologie*. UNIVERSITE DE MONTPELLIER, Janvier 1993.
- [16] : José VAZQUEZ. Formation initiale : *Hydraulique à surface libre*. Ecole nationale du génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg. 2006.
- [17] : Sites internet.
- <https://kidiscience.cafe-sciences.org/articles/lhydrologie-cest-quoi/>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Gumbel
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_log-normale
- [http://wikhydro.developpementdurable.gouv.fr/index.php/Coefficient_d%27allongement_\(HU\)](http://wikhydro.developpementdurable.gouv.fr/index.php/Coefficient_d%27allongement_(HU))

- الملخص:

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو اقتراح تطوير هيدروليكي لوادي بني حمدون في مدينة تازملت من أجل حمايتها من الفيضانات. تبدأ الدراسة بترسيم حدود مستجمعات المياه باستخدام Google-Earth، وتحديد الخصائص المناخية والطبوغرافية، ثم تبحث الدراسة الهيدرولوجية في التدفقات المئوية، والتي سيتم استخدامها في المحاكاة الهيدروليكية باستخدام وحدة RAS-mapper من برنامج HEC-Ras، هذه النتائج سيتم استخدامها لتحديد ابعاد الهيكل المراد إنشائه.

- Résumé :

Le principal objectif de cette étude est de proposer un aménagement hydraulique pour l'oued de Beni-Hamdoune à Tazmalt afin de protéger cette dernière des inondations.

L'étude commence par la délimitation du bassin versant avec Google-Earth, et la détermination des caractéristiques climatiques et topographiques, en suite l'étude hydrologique se penche sur les débits centennaux qui vont être utilisés dans la simulation hydraulique faite avec le module RAS-mapper du logiciel HEC-Ras, ces résultats seront exploités pour dimensionner l'ouvrage de protection à implanter.

- Abstract:

The main objective of this study is to propose a hydraulic development for the wadi from Beni-Hamdoune to Tazmalt in order to protect the latter from flooding.

The study begins with the delimitation of the watershed with Google-Earth, and the determination of the climatic and topographic characteristics, then the hydrological study looks at the hundred-year flows that will be used in the hydraulic simulation made with the RAS-module. to map the HEC-Ras software, these results will be used to size the protection structure to be installed.

- Agzul :

Amesyaru agejdan n tezrawt-a, d asumer n usemsawi imeswi i wasif n At Hamdun n Tezmalt iwakken ad t-nħader deg iħemmalen.

Tasrawt ad tebdu s usersi n tlišiwin n wumda s Google-Earth, d ugguceł ansezwi d uṭupugrafi. Syen akkin, tazrawt tidṛulujit ara yeṣran iktumen imiḍan ara yettwaxxedmen deg ustaemel tansezwit yettwaxxedmen s umudul Ras mapper n ulujisiel HEC-Ras.

Igmaḍ-a ad ttwasxedmen iwakken ad nqis tisektiwin n lebni n useħbiber.