



Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

Mr AZIZI Oussama

Mr AYACHI Yahia

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

Option : **OUVRAGES ET AMENAGEMENT HYDRAULIQUE**

INTITULE :

ÉTUDE AMENAGEMENT DE L'OUED BENI MELIKECH W. BEJAIA

Soutenu le **10 /10 /2020**

Devant le jury composé de :

- Président : **Mr. SAOU.H**
- Promoteur (s) : **Mr. BRAKENI.Abderrezek**

Mr. OULEBSIR.Rafik

- Examineur (s) : **Mr. HAMCHAOUIS**

- Invité : **Mr. AMARA.L**

REMERCIEMENTS

Je saisi l'occasion à travers ce modeste travail pour présenter mes remerciements

D'abord au bon dieu tout puissant qui m'a donné le courage, la santé, la volonté et la patience pour accompli ce travail qui a été pour moi l'occasion de découvrir le monde de la recherche. En suite à mes encadreurs **MRS** : OULEBSIR Rafik et BRAKENI Abderrezek qui ont été présent par ces conseils et son savoir.

C'est ainsi que je remercie beaucoup tous membres de jury, Mr HAMCHAOUI Samir, Mr SAOU Hamid.

Je ne saurais oublier mes enseignants de Département d'Hydraulique pour leurs informations et les encouragements qu'ils m'ont apportés pendant le déroulement de ce travail.

Je suis enfin reconnaissant envers tous les membres de ma famille qui m'ont soutenu tout au long de mes études. Enfin j'adresse mes meilleurs et chaleureux remerciements à toutes personnes qui m'ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail, sans oublier bien sûr mes collègues de master.

DEDICACE

C'est avec l'aide de tout puissant que j'arrive à terme de ce modeste travail que je dédie à toutes les personnes que j'aime et en particulier :

A toi ma chère mère, qui a guidée mes pas d'enfances et veille sur moi, et qui m'a toujours apporté amour et affection.

A mon chère père le guide affectueux et attentif en reconnaissance pour soutien moral et pour toutes les charges assurées au cours de ces longues années.

A tous mes frères et ma chère sœur.

A toute ma famille

A tous mes amis(es) et mes connaissances.

AZIZI OUSSAMA

AYACHI YAHIA

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale	2

CHAPITRE I : ETUDE CLIMATIQUE ET HYDROLOGIQUE

I.1. Introduction.....	2
I.2. Présentation de la zone d'étude	2
I.2.1. Bassin versant de la Soummam	2
I.2.2. Sous Bassin versant de l'oued Beni Melikech.....	6
I.3. Etude du climat	7
I.3.1. Conditions climatiques	7
I.3.2. Pluviométrie.....	8
I.3.3. Temperature	10
I.3.4. Détermination de type de climat	12
I.4. Etude du bassin versant de Beni Mlikech	13
I.4.1. Les caractéristiques géométriques	13
I.4.2. Caractéristiques de forme	14
I.4.2.1. Indice de compacité de Gravelieus Kc (1914).....	15
I.4.2.2. Rectangle équivalent ou Rectangle de Gravelieus.....	15
I.4.3 Caractéristiques de relief.....	16
I.4.3.1. Courbe hypsométrique.....	17
I.4.3.2. Hauteurs caractéristiques.....	20
I.4.3.3. Les indice de pente.....	21
I.4.3.4. La dénivelée.....	22
I.4.3.5. La dénivelée Spécifique « Ds ».....	22
I.5. Caractéristiques hydrographiques du bassin versant	23
I.5.1. La chevelure hydrographique	23
I.5.2. Densité de drainage Dd	24
I.5.3. La fréquence des thalwegs d'ordre 1	25
I.5.4. Coefficient de torrentialité.....	26
I.5.5. Temps de concentration du bassin versant	26
I.5.6. Vitesse de ruissellement	27
I.6. Conclusion.....	29

CHAPITRE II : ETUDE GEOLOGIQUE

II.1. Introduction.....	29
II.2 Aperçu géologique de l'Algérie.....	29
II.3. Situation géographique	30
II.3. Cadre géologique du bassin.....	32
II.3.1. Zones internes.....	32
II.3.2. Les flyschs crétacés et paléogènes kabyles.....	33
II.3.2. Zones externes	34

CHAPITRE III : ETUDE PLUVIOMETRIQUE

III.1. Introduction.....	36
III.2. Etude des précipitations	36
III.3. Variation interannuelle de la pluviométrie	38
III.4. Variations spatio-temporelles des précipitations annuelles.....	40
III.5. Ajustement des précipitations annuelles à une loi de probabilité (LIAMAS José, 1993).....	42
III.6. Précipitations mensuelles et les régimes saisonniers	43
III.6. Les précipitations extrêmes et les averses facteur générateur des crues	45
III.7. Les pluies de courte durée.....	49

CHAPITRE IV : ETUDE DES APPORTS ET DES CRUES

IV.1. Introduction.....	53
IV.2 Etudes des apports.....	53
IV.2.1 Estimation de l'apport moyen annuel (A0).....	53
IV.2.1.1 Formule de DERI I.....	53
IV.2.1.2 Formule de TURC	54
IV.2.1.3 Formule de SAMIE.....	54
IV.2.1.4 Formule de CHAUMONT	54
IV.2.1.5 Formule d'ANRH.....	55
IV.2.2 Module de l'écoulement.....	55
IV.2.3 Module de l'écoulement relatif	55
IV.2.4 Coefficient de l'écoulement.....	56
IV.2.5 Coefficient de variation.....	56
IV.2.5.1 Formule de SOKOLOVSKY.....	56
IV.2.5.2 Formule d'OURKGUIPROVODKHOZ	56

IV.2.5.3 Formule de L'ANTONOV.....	56
IV.2.5.4 Formule de KRISTEKLY MENKEL.....	56
IV.3 Etude des crues	57
V.3.1 Formules empiriques pour la détermination de la	58
IV.3.1.1 Formule de MALLET-GAUTHIER.....	58
IV.3.1.2 Formule de SOKOLOVSKY.....	59
IV.3.1.3 Formule de POSSENTI	60
IV.3.1. 4. Formule Rationnelle (TURRAZA)	61
IV.3.1.5 Formule de GIANDOTTI.....	61
IV.3.2. Hydrogramme de crue	63
IV.3.2.1 Construction des hydro grammes des crues (SOKOLOVSKY)	63
IV.4. Conclusion	67

CHAPITRE V : ETUDE HYDRAULIQUE SANS AMENAGEMENT

Introduction.....	69
V.1.Objectif et calcul hydraulique d'aménagement.....	69
V.2. Généralités sur les écoulements à surface libre	69
V.2.1. Les canaux.....	69
V.2.2. Types de canaux.....	69
V.2.2.1. Les canaux naturels.....	69
V.2.2.2. Les canaux artificiels	70
V.2.3. Les paramètres géométriques	70
V.2.4. Type D'écoulement dans les canaux.....	71
V.2.4.1. Variabilité dans le temps.....	71
V.2.4. 2. Variabilité dans l'espace	71
V.2.4.2.1. Régime D'écoulement.....	71
V.3. Dimensionnement des canaux	72
V.3.1. Formule de MANNING-STRICKLER.....	72
V.4. Calcul des paramètres géométriques.....	73
V.4.1. DIAMÈTRE HYDRAULIQUE.....	73
V.4.2. RAYON HYDRAULIQUE	73
V.4.3. HAUTEUR CRITIQUE	74
V.4.4. GÉOMÉTRIE DES CANAUX	74
V.5.VERIFICATION DE L'ÉCOULEMENT SOUS PONTS.....	75
V.6.Modélisation :.....	76
V.6.1. Introduction :.....	76

V.6.2. Choix du type de modèle hydraulique :.....	76
V.6.3. Présentation du logiciel HEC RAS.....	77
V.6.4. Théorie de base de calcul du modèle HEC-RAS pour l'écoulement permanent:.....	77
V.6.5. Équations de base entre deux sections	78
V.6.6. Subdivision d'une section en travers pour le calcul du débit :.....	79
V.6.7. Banque de données nécessaires à l'application du modèle HEC-RAS :.....	80
V.7. Application du modèle HEC-RAS :	80
V.7.1. A l'état Naturel :	80
V.7.2. Modélisation de la géométrie :.....	81
V.7.3. Le choix des valeurs de rugosité de Manning :.....	82
V.7.4. Modélisation de l'écoulement :.....	83
V.7.5. Simulation hydraulique :.....	84
V.7.6. Résultats de la simulation :	84
V.7.7. Analyse :	87
V.7.8. Délimitation des zones inondables :.....	92
Conclusion.....	93

CHAPITRE VI : ETUDE HYDRAULIQUE AVEC AMENAGEMENT

VI.1. Introduction :.....	96
VI.2. Proposition d'aménagement.....	96
VI.3. Avantages d'un canal trapézoïdal	96
VI.4. Dimensionnement des canaux	96
VI.4.1. Équation de Chézy.....	96
VI.5. Calcul des paramètres géométriques.....	97
VI.5.1. Paramètres géométrique d'un canal à section trapézoïdale.....	97
VI.5.2. Section de débit maximum	97
VI.5.3. Profondeur normal (hn)	98
VI.5.4. Profondeur critique hc	98
VI.5.5. La pente critique lc.....	98
VI.5.6. Calcul de la ligne d'eau.....	99
VI.5.6.1. Equation de la ligne d'eau	99
VI.5.6.2. Calcul de la surface d'eau	99
VI.6. Calcul hydraulique du canal	99
VI.6.1. Le fruit de talus	100
VI.6.2. La rugosité.....	100
VI.6.3. La largeur du canal	100

VI.7. Calcul des paramètres de l'écoulement	100
Conclusion.....	106
Conclusion général	108
Bibliographie	109

ملخص :

تهدف هذه الدراسة إلى حماية مدينة تازمالت من الفيضانات الناجمة عن فيضان وادي بني مليكش. بدأت الدراسة بتحديد الخصائص المناخية والطبوغرافية لمستجمعات المياه ، بينما خصص الجزء الثاني للدراسة الهيدرولوجية من أجل تحديد التدفقات المئوية ، وتشخيص الأرض ومحاكاة العملية الهيدروليكية (HEC-RAS). مكننا التدفق الطبيعي من تحديد الحالات الشاذة ، وكذلك تحديد المعلمات الهيدروليكية المختلفة للتدفق. بناءً على هذا التشخيص ، اقترحنا حلاً كانت موضوع دراسة فنية.

كلمات مفتاحية:

فيضان ، نهر ، تدفق ، تازمالت ، بني مليكش ، HEC-RAS .

Summary:

The purpose of this study is to protect the town of Tazmalt from flooding caused by the overflow of the river of Beni Melikech.

The study was started by determining the climatic and topographic characteristics of the watershed, the second part is devoted to the hydrological study in order to determine the centennial flows, the diagnosis of the ground and the simulation of the hydraulic operation in the state. natural streams (HEC-RAS) allowed us to identify anomalies, as well as to determine the various hydraulic parameters of the flow. Based on this diagnosis, we proposed solutions which were the subject of a technical study.

Keywords:

flood, river, flow, flow, Tazmalt, Beni Melikech, HEC-RAS.

Résumé :

L'objet de cette étude est de protéger la ville de Tazmalt des inondations causées par le débordement de l'oued Beni Melikech.

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

Mots clés :

Inondation, rivière, écoulement, débit, Tazmalt, Beni Melikech, HEC-RAS.

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : La situation de la zone d'étude par rapport au bassin hydrographique de l'Algérie du nord(ANRH)

Figure I.2 : Distinction entre bassin versant réel et bassin versant topographique

Figure I.3 : les sous bassins de la Soummam (ANRH)

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

Figure I.5 : Répartition mensuelle de Température au niveau de Bejaia

Figure I.6 : Etages bioclimatiques du bassin de la Soummam

Figure I.7: Abaque d'indice annuel d'aridité de De Martonne (1926)

Figure I.8 : Carte du relief du bassin versant Beni Mlikech

Figure I.9 : Courbe hypsométrique du bassin du bassin versant Beni Mlikech

Figure I-10: Réseau hydrographique du bassin versant Beni Melikech

Figure II-1 : Carte des sols du bassin de la Soummam

Figure III-1 : Précipitations moyennes annuelles au station pluviométrique du bassin de l'oued Beni Mlikech

Figure III-2 : Variation interannuelle des précipitations annuelles de la station de Tizi Nslib

Figure III-3 Ajustement de pluviométrie annuelle à la station de Tizi Nslib (1977-2009)

Figure III-4 : Variations mensuelles de la pluviométrie dans le bassin de l'oued Beni Mlikech

Figure III-5 : Variation saisonnière des précipitations dans le bassin de l'oued Beni Mlikech

Figure III-6 : Observation sur papier de probabilité

Figure III-7 : Ajustement comparatif des trois lois de la station de Tizi Nslib

Figure III-8 : Ajustement à la loi de Gumbel de la station de Tizi Nslib

Figure III-9 : Courbe des pluies à courte durée à Tizi Nslib

Figure III-10 : Courbe Intensité-Durée-Fréquence à Tizi Nslib

Figure IV-1 Hydrogramme fréquentiels des différentes périodes de retour

Figure IV-2 : Hydrogramme fréquentiels des différentes périodes de retour d'oued Beni Mlikech

Figure V.1 : Les paramètres géométriques d'un canal

Figure V.2: éléments géométriques pour cinq différents types de section

Figure V.3 : Conservation de la charge entre deux sections

Figure V.4 : Méthode de subdivision du débit par le modèle HEC-RAS

Figure V.5 : Modèle géométrique du cours d'eau Beni Melikech

Figure V.6: Illustration d'un profil en travers

Figure V.7 : Présentation des conditions aux limites

Figure V.8 : Fenêtres de simulation pour le régime permanent

Figure V.9 : Profil en long du cours d'eau à l'état naturel

Figure V.10: Visualisation en 3D de l'oued Beni Mlikech-tronçon (6095-128)

Figure V.11 : Visualisation des zones inondables sur RAS MAPPER (PF 5 : crue centennal)

Figure V.12 : Illustration des zones inondables sur une carte Google satellite avec RAS MAPPER (PF1)

Figure VI.1 : Proposition du canal

Figure VI.2 : Profil en long du canal

Figure VI.3 : Visualisation en 3D de l'oued Beni Mlikech tronçon (1750-50)

Figure VI.4 : Sections en travers du canal

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale	2

CHAPITRE I : ETUDE CLIMATIQUE ET HYDROLOGIQUE

I.1. Introduction.....	2
I.2. Présentation de la zone d'étude	2
I.2.1. Bassin versant de la Soummam	2
I.2.2. Sous Bassin versant de l'oued Beni Melikech.....	6
I.3. Etude du climat	7
I.3.1. Conditions climatiques	7
I.3.2. Pluviométrie.....	8
I.3.3. Temperature	10
I.3.4. Détermination de type de climat	12
I.4. Etude du bassin versant de Beni Mlikech	13
I.4.1. Les caractéristiques géométriques	13
I.4.2. Caractéristiques de forme	14
I.4.2.1. Indice de compacité de Gravelieus Kc (1914).....	15
I.4.2.2. Rectangle équivalent ou Rectangle de Gravelieus.....	15
I.4.3 Caractéristiques de relief.....	16
I.4.3.1. Courbe hypsométrique.....	17
I.4.3.2. Hauteurs caractéristiques.....	20
I.4.3.3. Les indice de pente.....	21
I.4.3.4. La dénivelée.....	22
I.4.3.5. La dénivelée Spécifique « Ds ».....	22
I.5. Caractéristiques hydrographiques du bassin versant	23
I.5.1. La chevelure hydrographique	23
I.5.2. Densité de drainage Dd	24
I.5.3. La fréquence des thalwegs d'ordre 1	25
I.5.4. Coefficient de torrentialité.....	26
I.5.5. Temps de concentration du bassin versant	26
I.5.6. Vitesse de ruissellement	27
I.6. Conclusion.....	29

CHAPITRE II : ETUDE GEOLOGIQUE

II.1. Introduction.....	29
II.2 Aperçu géologique de l'Algérie.....	29
II.3. Situation géographique	30
II.3. Cadre géologique du bassin.....	32
II.3.1. Zones internes.....	32
II.3.2. Les flyschs crétacés et paléogènes kabyles.....	33
II.3.2. Zones externes	34

CHAPITRE III : ETUDE PLUVIOMETRIQUE

III.1. Introduction.....	36
III.2. Etude des précipitations	36
III.3. Variation interannuelle de la pluviométrie	38
III.4. Variations spatio-temporelles des précipitations annuelles.....	40
III.5. Ajustement des précipitations annuelles à une loi de probabilité (LIAMAS José, 1993).....	42
III.6. Précipitations mensuelles et les régimes saisonniers	43
III.6. Les précipitations extrêmes et les averses facteur générateur des crues	45
III.7. Les pluies de courte durée.....	49

CHAPITRE IV : ETUDE DES APPORTS ET DES CRUES

IV.1. Introduction.....	53
IV.2 Etudes des apports.....	53
IV.2.1 Estimation de l'apport moyen annuel (A0).....	53
IV.2.1.1 Formule de DERI I.....	53
IV.2.1.2 Formule de TURC	54
IV.2.1.3 Formule de SAMIE.....	54
IV.2.1.4 Formule de CHAUMONT	54
IV.2.1.5 Formule d'ANRH.....	55
IV.2.2 Module de l'écoulement.....	55
IV.2.3 Module de l'écoulement relatif	55
IV.2.4 Coefficient de l'écoulement.....	56
IV.2.5 Coefficient de variation.....	56
IV.2.5.1 Formule de SOKOLOVSKY.....	56
IV.2.5.2 Formule d'OURKGUIPROVODKHOZ	56

IV.2.5.3 Formule de L'ANTONOV.....	56
IV.2.5.4 Formule de KRISTEKLY MENKEL.....	56
IV.3 Etude des crues	57
V.3.1 Formules empiriques pour la détermination de la	58
IV.3.1.1 Formule de MALLET-GAUTHIER.....	58
IV.3.1.2 Formule de SOKOLOVSKY.....	59
IV.3.1.3 Formule de POSSENTI	60
IV.3.1. 4. Formule Rationnelle (TURRAZA)	61
IV.3.1.5 Formule de GIANDOTTI.....	61
IV.3.2. Hydrogramme de crue	63
IV.3.2.1 Construction des hydro grammes des crues (SOKOLOVSKY)	63
IV.4. Conclusion	67

CHAPITRE V : ETUDE HYDRAULIQUE SANS AMENAGEMENT

Introduction.....	69
V.1.Objectif et calcul hydraulique d'aménagement.....	69
V.2. Généralités sur les écoulements à surface libre	69
V.2.1. Les canaux.....	69
V.2.2. Types de canaux.....	69
V.2.2.1. Les canaux naturels.....	69
V.2.2.2. Les canaux artificiels	70
V.2.3. Les paramètres géométriques	70
V.2.4. Type D'écoulement dans les canaux.....	71
V.2.4.1. Variabilité dans le temps.....	71
V.2.4. 2. Variabilité dans l'espace	71
V.2.4.2.1. Régime D'écoulement.....	71
V.3. Dimensionnement des canaux	72
V.3.1. Formule de MANNING-STRICKLER.....	72
V.4. Calcul des paramètres géométriques.....	73
V.4.1. DIAMÈTRE HYDRAULIQUE.....	73
V.4.2. RAYON HYDRAULIQUE	73
V.4.3. HAUTEUR CRITIQUE	74
V.4.4. GÉOMÉTRIE DES CANAUX	74
V.5.VERIFICATION DE L'ÉCOULEMENT SOUS PONTS.....	75
V.6.Modélisation :.....	76
V.6.1. Introduction :.....	76

V.6.2. Choix du type de modèle hydraulique :.....	76
V.6.3. Présentation du logiciel HEC RAS.....	77
V.6.4. Théorie de base de calcul du modèle HEC-RAS pour l'écoulement permanent:.....	77
V.6.5. Équations de base entre deux sections	78
V.6.6. Subdivision d'une section en travers pour le calcul du débit :.....	79
V.6.7. Banque de données nécessaires à l'application du modèle HEC-RAS :.....	80
V.7. Application du modèle HEC-RAS :	80
V.7.1. A l'état Naturel :	80
V.7.2. Modélisation de la géométrie :.....	81
V.7.3. Le choix des valeurs de rugosité de Manning :.....	82
V.7.4. Modélisation de l'écoulement :.....	83
V.7.5. Simulation hydraulique :.....	84
V.7.6. Résultats de la simulation :	84
V.7.7. Analyse :	87
V.7.8. Délimitation des zones inondables :.....	92
Conclusion.....	93

CHAPITRE VI : ETUDE HYDRAULIQUE AVEC AMENAGEMENT

VI.1. Introduction :.....	96
VI.2. Proposition d'aménagement.....	96
VI.3. Avantages d'un canal trapézoïdal	96
VI.4. Dimensionnement des canaux	96
VI.4.1. Équation de Chézy.....	96
VI.5. Calcul des paramètres géométriques.....	97
VI.5.1. Paramètres géométrique d'un canal à section trapézoïdale.....	97
VI.5.2. Section de débit maximum	97
VI.5.3. Profondeur normal (hn)	98
VI.5.4. Profondeur critique hc	98
VI.5.5. La pente critique lc.....	98
VI.5.6. Calcul de la ligne d'eau.....	99
VI.5.6.1. Equation de la ligne d'eau	99
VI.5.6.2. Calcul de la surface d'eau	99
VI.6. Calcul hydraulique du canal	99
VI.6.1. Le fruit de talus	100
VI.6.2. La rugosité.....	100
VI.6.3. La largeur du canal	100

VI.7. Calcul des paramètres de l'écoulement	100
Conclusion.....	106
Conclusion général	108
Bibliographie	109

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau I.1 : Superficie des sous bassins versants de la Soummam(ANRH)
Tableau I.2 : Caractéristiques des stations pluviométriques(ANRH)
Tableau I.3 : Précipitations annuelles des cinq stations pluviométriques du bassin versant de La Soummam (1971-1985)
Tableau I.4 : Températures minimales et maximales et leurs moyennes mensuelles de la région de Bejaia (DATA1982 à 2012) (Climate-Data.org > Algérie > Bejaïa.)
Tableau I.5: tableau définissant l'hypsométrie du bassin versant de Beni Mlikech
Tableau I.6 : La classification d'O.R.S.T.O.M ⁽¹⁾
Tableau I.7: La dénivelée et la dénivelée spécifique et leur classe
Tableau I.8: la longueur des cours d'eau du bassin versant Beni Mlikech
Tableau I.9 : Nombre des différents ordres du cours d'eau du bassin versant Beni Melikech
Tableau I.10 : Temps de concentration pour les formules
Tableau I.11 : Tableau récapitulatif des caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant de Beni Melikech
- Tableau III-1 : Caractéristique de station pluviométrique Tizi Nslib
Tableau III-2 : Série pluviométrique station Tizi Nslib
Tableau III-3 : Caractéristiques de la précipitation annuelle de la station pluviométrique du Bassin de l'oued Beni Mlikech
Tableau III-4 : Pluie Annuelles de sous bassins de l'oued Beni Mlikech
Tableau III-5 : Paramètres statistique des pluies du bassin de Beni Mlikech
Tableau III-6 : Précipitations pour des périodes de récurrences dans quelques stations du bassin Beni Mlikech
Tableau III-7 : Les pluies moyennes mensuelles (2002) et leurs paramètres statistiques du bassin de l'oued Beni Mlikech
Tableau III-8 : Caractéristiques de station pluviométrique
Tableau III-9 : Les paramètres statistiques des pluies maximales journalières
Tableau III-10 : Caractéristiques de la pluie journalière maximale à la station de Tizi Nslib
Tableau III-11 : Pluies et intensités maximales de durée t (h) et de périodes retour T (ans)
- Tableau IV.1 : Les apports fréquentiels du bassin Beni Mlikech
Tableau IV.2 Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de MALLET-GAUTHIER) station Tizi Nslib
Tableau IV.3: valeur de γ en fonction de bassin versant
Tableau IV.4 : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de SOKOLOVSKY) Station Tizi NSLIB
Tableau IV-5 : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de POSSENT) Station Tizi Nslib
Tableau IV.6: Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de TURRAZA) Station Tizi Nslib)

Tableau IV.7: Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de GIANDOTTI)

Tableau IV.8: Récapitulatif des résultats de débit de crue

Tableau IV-9 : Coefficient de forme de l'Hydrogramme de crue γ

Tableau IV-10 : Tableau récapitulatif des temps de concentration, de montée et de décrue

Tableau IV-11 : Débit de crues pour différentes périodes de retour d'oued Beni Melikech

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

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

Tableau V.3 : Les valeurs de la rugosité du cours d'eau

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

Tableau VI.1 : Les caractéristiques géométrique d'un canal à section trapézoïdale

Tableau VI.2 : Les paramètres de l'écoulement du canal

INTRODUCTION GENERALE

L'hydrologie joue un rôle capital dans le domaine des sciences environnementales. Elle est liée à des sciences telles que : l'hydraulique, la statistique mathématique, la mécanique de sols etc.... Elle concerne aussi bien les mécanismes d'écoulement des eaux dans les systèmes naturels (bassin versant) ou anthropisés que le dimensionnement des ouvrages hydrauliques utiles à l'exploitation et à la gestion des eaux. Elle permet également de mieux comprendre et simuler le comportement dynamique des eaux dans les zones où elles se répandent et de mieux saisir les impacts des aménagements hydrauliques sur l'environnement.

L'étude hydrologique est indispensable pour les projets d'irrigations, de distribution d'eau, de drainage et de protection contre les crues et autres car elles offrent une évaluation des débits moyens et extrêmes (Crues et étiage) pour le dimensionnement, la sécurité et la bonne exploitation des ouvrages hydrauliques. Les apports sont directement liés aux aléas climatiques et au régime hydrologique du bassin versant.

Evaluer les ressources en eau superficielle d'un bassin versant, aussi bien dans son aspect quantitatif que qualitatif, exige qu'une certaine méthodologie soit appliquée. Cette méthodologie doit déterminer la disponibilité spatiale et temporelle de la ressource en eau, et tenir compte des caractéristiques aléatoires des paramètres hydrologiques. C'est ainsi, qu'en plus de la méthodologie classique de régionalisation, la modélisation hydrologique joue un rôle important dans l'évaluation des ressources en eau.

La modélisation hydrologique des bassins versants a pour objectif de représenter mathématiquement les processus hydrologiques et touche plusieurs domaines d'application (gestion des ressources en eau, aménagement du territoire ...). Dans un contexte opérationnel, les modèles hydrologiques sont utilisés pour répondre à deux problématiques principales :

L'évaluation des risques hydrologiques liés aux phénomènes de crues et la gestion, de la ressource en eau liée à l'apparition des étiages.

La modélisation du comportement hydrologique des bassins versants doit pouvoir décrire les différentes étapes de la transformation pluie-débit. Un grand nombre de modèles de structures différentes, combinant généralement des fonctions linéaires et non-linéaires ont été développés depuis le début des années 1960.

Les réponses résultant de ces modèles (hydrogrammes de débits) reposent essentiellement sur les caractéristiques physiques du bassin versant et de type d'information disponibles.

Le modèle "HEC-RAS" (Système de modélisation hydrologique), il est un outil de simulation Pluie-Débit. Il a été développé par le corps d'Ingénieurs de l'Armée américaine (USA). Ce programme est utilisé dans la formation des ingénieurs pour la détermination des caractéristiques de l'écoulement dans les bassins urbains et ruraux.

Ce travail est structuré en six chapitres :

Dans le premier chapitre, la zone d'étude est définie, et décrit une présentation détaillée du bassin versant de l'Oued Beni M'likech qui fait partie du bassin hydrographique de La Soummam (Nord central Algérien),

Le deuxième chapitre, englobe les caractères généraux sur la géologie du bassin versant de l'Oued Beni M'likech, en se basant sur la bibliographie existante ainsi que les cartes.

Le troisième chapitre, est consacré à l'étude hydro climatique telle que la pluviométrie, la température, etc....

Dans le quatrième chapitre, l'étude des crues est présentée.

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

Dans le sixième chapitre, Il est décrit l'utilisation du modèle de simulation hydrologique HEC-RAS avec aménagement ainsi que son application aux sous-bassins de l'oued Beni Melikech, et on continue notre travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I



Etude climatique et hydrologique

I.1. Introduction : [1]

L'hydrologie est une science pluridisciplinaire. En dehors de l'hydraulique, elle fait appel aux sciences physiques (météorologie, physique du globe.), aux sciences naturelles (géologie, géomorphologie.), aux mathématiques (statistique, calcul opérationnel, informatique.) et à la technologie (appareil de mesure, télédétection...)

Actuellement, l'hydrologie est devenue une science importante de l'art de l'ingénieur intéressé à l'exploitation et au contrôle des eaux naturelles. Des études hydrologiques plus ou moins poussées sont indispensables pour toute mise en œuvre de tout t aménagement ou projets hydrauliques. (**Séminaire-retenu Collinaire, 2009**)

L'étude hydrologique dans ce chapitre a pour but de définir les paramètres hydrologiques et morphologiques des sous bassins de l'oued Beni Melikech afin d'évaluer l'importance de la crue exceptionnelle qui conditionnera les dimensions des ouvrages hydrauliques existant ou projeté.

I.2. Présentation de la zone d'étude : [2]

I.2.1. Bassin versant de la Soummam :

Le bassin versant de la Soummam est situé dans la partie centrale au Nord-est de l'Algérie et il s'étend sur 9125 Km². Cette étendue est de forme irrégulièrement allongée suivant la direction de parallèle (35° 45' et 36° 45'). Figure I-1.

Au Nord, ce bassin est délimité principalement par la chaîne montagneuse du Djurdjura, dont le sommet le plus élevé est de 2 308 m d'altitude (Lalla khedidja), tandis que sa limite au sud située aux monts du Hodna. Moins élevée que le Djurdjura (l'altitude maximale est de 1862 m). Vers l'Est et l'Ouest le bassin de la Soummam est ouvert, c'est dans cette partie du bassin que se situent les hauts plateaux de Sétif et de Bouira.

Le bassin versant de la Soummam porte selon la codification de l'ANRH le N°15. Il est limitrophe de plusieurs bassins versants (Fig. I.1). Limité au Nord, par le bassin de l'Oued Sebaou (code 02b) et par celui du côtier Algérois (code 02a), au Nord-est par le bassin versant de l'Oued Kébir Rhumel (code 10) et par le bassin versant du côtier Constantinois (code 03), à

l'Est par les basses hauts plateaux Constantinois (code 07) ; au Sud par le bassin de Chott El Hodna (code 05), et à l'Ouest par le bassin de l'Oued Isser (code 09).

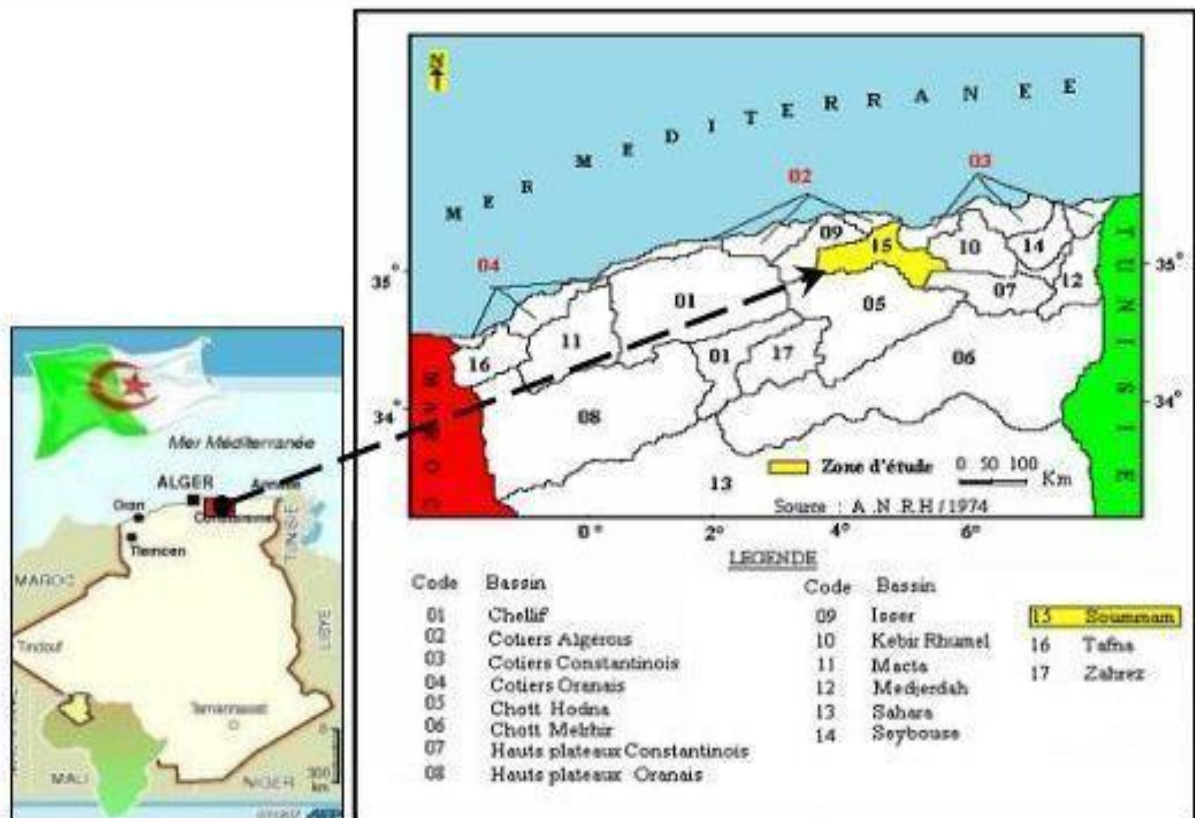


Figure I-1 : La situation de la zone d'étude de l'Algérie du nord(ANRH).

Le bassin versant de l'Oued Soummam est dans ses grandes lignes constitué, sur la rive gauche, par de l'oligocène traversé par des formations du crétacé inférieur ; du miocène inférieur apparaît dans la partie aval, en bordure de l'Oued de terrasses alluviales importantes tapissent en généra le pied des pentes sauf dans la région de Sidi-Aich où le crétacé apparaît jusque dans le lit. Le versant rive droite est en majeure partie formé de crétacé inférieur moyen et supérieur ; les terrasses alluviales sont beaucoup plus restreintes. Les terrains rencontrés sont généralement imperméables : argilo grès de l'oligocène, schistes de l'alboaptien, marno calcaires du crétacé.

Globalement, le bassin versant peut-être subdivisé en trois grandes parties :

- Le bassin fonctionnel : portion de l'espace géographique dont les eaux se drainent vers un même cours d'eau.
- Le bassin topographique : portion de l'espace géographique dont les pentes convergent vers un même cours d'eau. Il peut être identique au bassin fonctionnel ou différent selon la géologie ou la perméabilité du terrain.

Toutefois, la délimitation topographique nécessaire à la détermination en surface du bassin versant naturel n'est pas suffisante. Lorsqu'un sol perméable recouvre un substratum imperméable, la division des eaux selon la topographie ne correspond pas toujours à la ligne de partage effective des eaux souterraines (voir Figure I-2). Le bassin versant est alors différent du bassin versant délimité strictement par la topographie. Il est appelé dans ce cas bassin versant réel. [1]

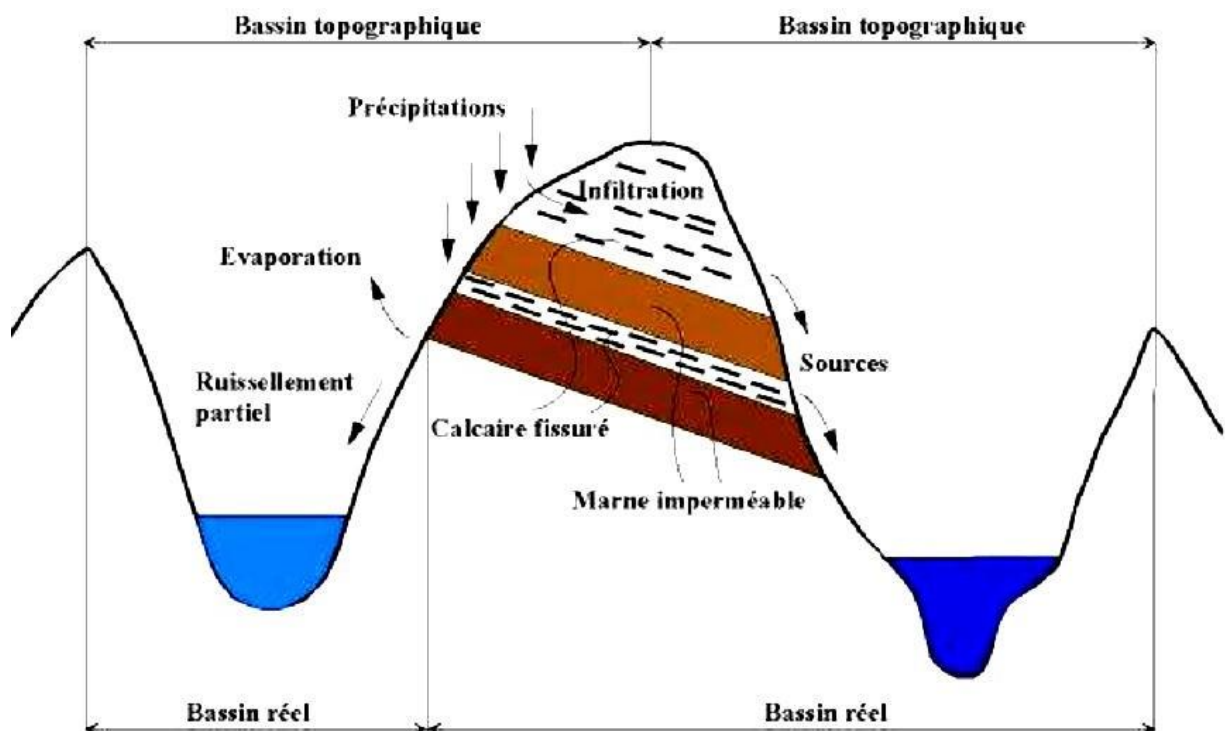


Figure I-2 : Distinction entre bassin versant réel et bassin versant topographique

Le bassin de la Soummam est constitué d'un riche réseau hydrographique dont l'exutoire est le golfe de Bejaia. Le linéaire du principal oued, en l'occurrence la Soummam, est de 226 km. Il est considéré comme étant son système de drainage principal.

Le Sahel, qui prend sa source dans les régions de Ain Bessam et de Sour El Ghozlane grâce aux deux affluents : oued Eddous long de 85 km et oued Ziane long de 54 km, devient la Soummam au niveau d'Akbou à la confluence de l'oued Boussalam d'une longueur de l'ordre de 144 km, qui prend quant à lui sa source dans le plateau sétifien.

Parmi ses affluents, d'El Adjiba jusqu'à l'embouchure :

Oued Bousselam, oued Seddouk, oued Boutouab, oued Amassine et oued Amizour en rive droite.

Oued Ighzer Amokrane, oued Béni Melikech, oued Tikséridène, oued Roumila, oued El Kseur et oued Ghir en rive gauche.

Les torrents situés du côté gauche et venant des massifs montagneux apportent de grandes quantités de matériaux graveleux et pierreux et forment des stériles assez élevés.[3]

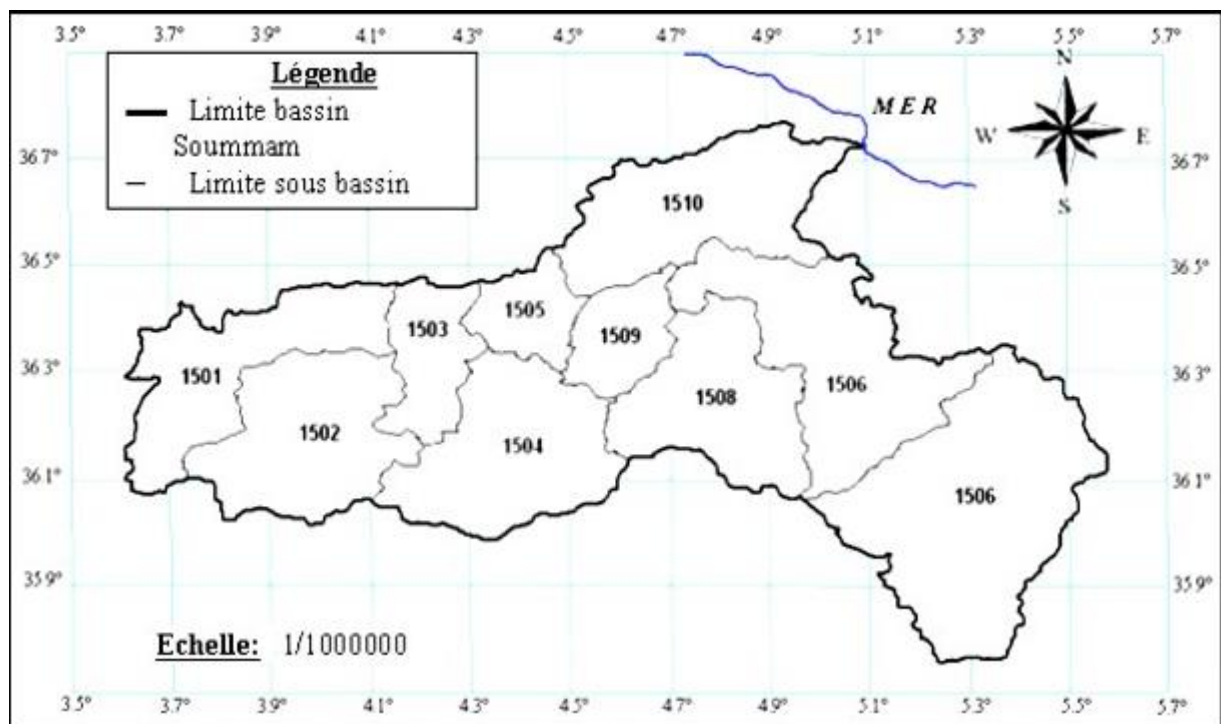


Figure I-3 : les sous bassins de la Soummam (ANRH)

Tableau I-1 : Superficie des sous bassins versants de la Soummam(ANRH) :

Sous bassin versant	Code	Superficie (km²)
Oued Eddous	150106	842
Oued Zaiane	150204	800
Oued Azerou	150401	605
Oued Bousselam	150901	4050
Oued Soummam	151001	8420

I.2.2. Sous Bassin versant de l’oued Beni Melikech :

Le bassin versant de l’Oued Beni Melikech fait partie du grand bassin versant de la Soummam. Il est de forme allongé. L’oued Beni Melikech est un affluent de rive gauche de l’oued Eddous qui est un tributaire de l’oued Sahel.

Oued Beni Melikech est un cours d'eau assez important, descendu du massif de la Soummam.

I.3. Etude du climat :[1]

Les conditions climatiques du bassin jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d’eau. Les facteurs qui déterminent le climat sont :

La précipitation avec sa distribution dans le temps et dans l’espace, l’humidité, la température, le vent qui a une influence sur l’évaporation et la transpiration.

Le climat de l’Atlas tellien présentera donc tous les degrés intermédiaires entre un climat de montagne pluvieux, froid à amplitude thermique relativement faible avec chutes de neige et un climat de plaines plus sec relativement chaud et à forts écarts thermiques.

I.3.1. Conditions climatiques :

Les conditions climatiques dans le bassin versant de la Soummam ne sont pas uniformes, à Bejaia et dans la basse vallée de la Soummam, le climat est essentiellement méditerranéen généralement humide avec de légers changements de température.

Sur les plateaux de Sétif et de Bouira le climat est continental avec des hivers humides et des étés chauds.

Les précipitations annuelles de la Soummam varient énormément entre environ 300 mm sur les plateaux de Sétif et 1000 mm près de la cote de Bejaia, elles atteignent

approximativement 1500 mm sur les flancs Sud du massif du Djurdjura.

Les étés sont secs, avec seulement 30% des précipitations annuelles pendant la période allant d'Avril à Septembre.

I.3.2. Pluviométrie : [1]

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

Cette méthode a pour avantage d'utiliser l'ensemble de l'information disponible dans la région, pour cela, nous avons utilisé cinq (05) stations pluviométriques dont les caractéristiques sont reportées dans le (tableau I.2).

Tableau I.2 : Caractéristiques des stations pluviométriques(ANRH)

N°	Code	Nom de la station	Period d'observation	Longitude (km)	Latitude (km)	Pluie moyenne annuelle (mm)
01	150106	Tilesdit	1964-1986	340.58	626.38	116.08
02	150204	El Asnam	1967-1993	335.50	620.40	405.41
03	150401	Porte de Fer	1968-1978/ 1985-1993	342	650.70	310.72
04	150901	Sidi Yahia	1971-1995	347.10	670.40	204.29
05	151001	Sidi Aich	1953-1990	369.65	678.20	486.57

La variabilité de la pluviométrie est illustrée dans la (Figure I .5) et le (Tableau I.3) qui représente des relevés pluviométriques annuelles des cinq stations couvrent la longueur du bassin

Tableau I.3 : Précipitations annuelles des cinq stations pluviométriques du bassin versant de La Soummam (1971-1985).

Année	Tilesdit	El Asnam	Porte de Fer	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

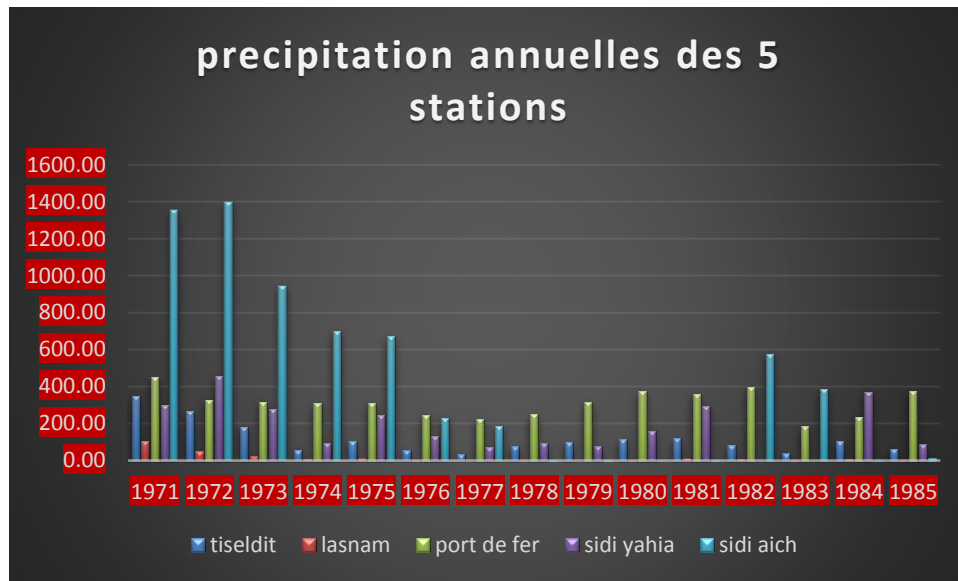


Figure I.4 : Précipitations annuelles des cinq stations pluviométriques du bassin versant de l'oued Beni Melikeche (1971-1985)

I.3.3. Temperature: [5]

La température est un élément majeur dans les phénomènes de condensation et d'évaporation de l'eau, et constitue un terme essentiel dans la définition du déficit d'écoulement. Au niveau des cours d'eau, les variations de températures suivent celle de l'air même si elles sont de plus faibles amplitudes. Les êtres vivants ne peuvent subsister que dans un intervalle de température compris entre 0 et 50 °C en moyenne, ces températures étant compatibles avec une activité métabolique normale.

Tableau I.4 : Températures minimales et maximales et leurs moyennes mensuelles de la région de Bejaia (DATA1982 à 2012) (Climate-Data.org > Algérie > Bejaïa.)

Period	Mois	J	F	M	A	M	J	JU	AU	S	O	N	D
Temperature d'air	M	14,2	14,6	16,8	19,2	22,3	25,3	28	29,3	27,6	22,9	18,5	15,5
	m	8,8	8,9	10	11,4	14,2	17,9	20,7	21,5	19,6	16,2	12,6	9,5
	$\frac{M+m}{2}$	11,5	11,7	13,4	15,3	18,2	21,6	24,3	25,4	23,6	19,5	15,5	12,5

M : Température maximale moyenne (°C)

m : Température minimale moyenne (°C)

$\frac{M+m}{2}$: Températures moyennes mensuelles (°C)

Comme le montre le (Tableau I.2), la température moyenne annuelle pour notre région d'étude est de 17.7 °C. Le climat de cette région appartient au climat méditerranéen, il se caractérise par un été modéré à chaud et un hiver pluvieux avec des chutes de neige fortes et froides, en particulier dans les montagnes. Le mois le plus chaud est Aout, par contre le mois le plus froid est Janvier.

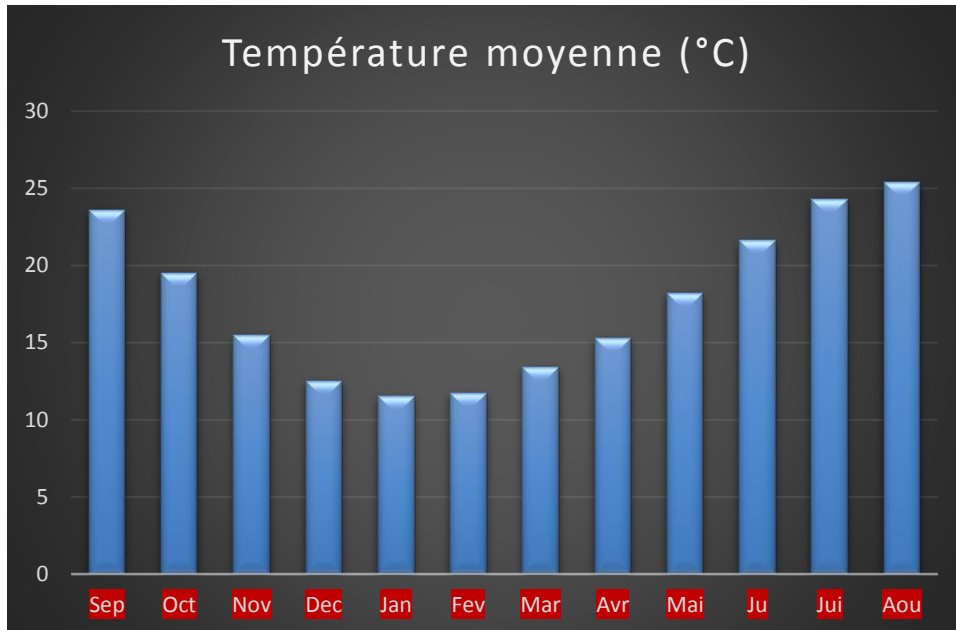


Figure I.5: Répartition mensuelle de Température au niveau de Bejaia

La région de la Soummam est sous la dépendance de trois types de climat : climat littoral tempéré sur le cours inférieur de l'Oued Soummam, climat de l'Atlas Tellien sur la moyenne Soummam et sur une partie du haut bassin de la Soummam (Oueds Sahel - cours inférieur de l'Oued Boussellam) et climat des hautes plaines sur le haut bassin de l'Oued Boussellam. Une carte des étages bioclimatiques est représentée dans la figure (I.7).

Les vents dominants sont marins à dominance Nord-Ouest et s'engouffrent facilement dans la vallée de la Soummam durant toute l'année.

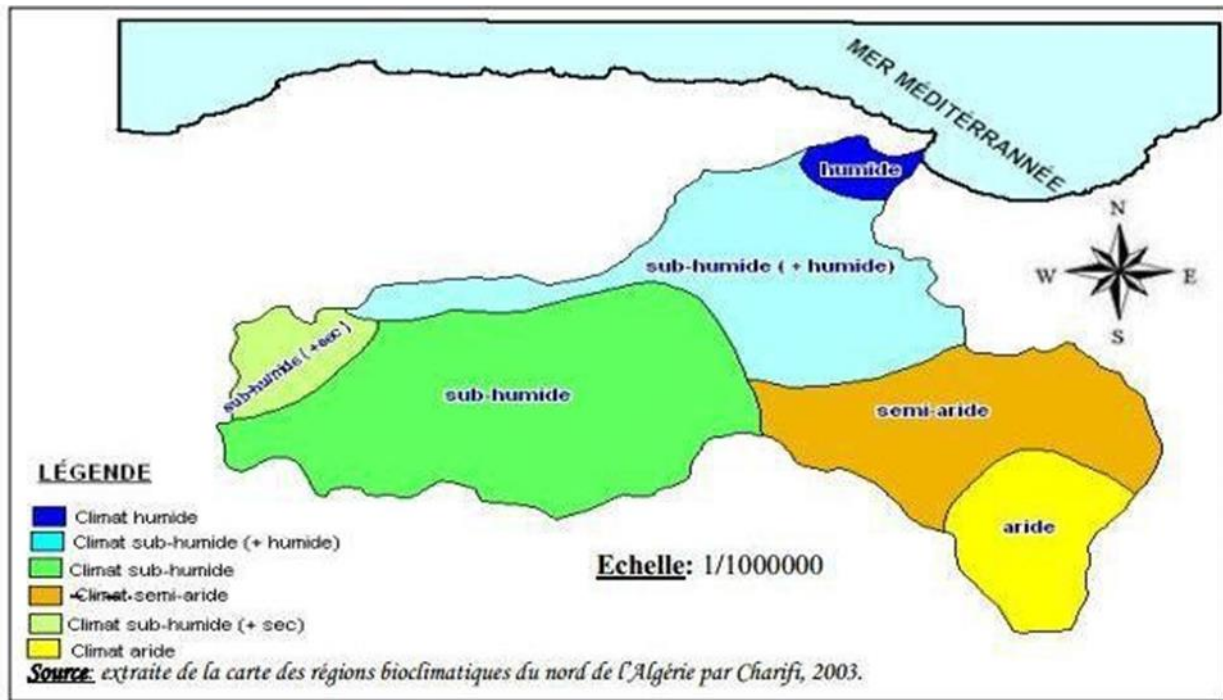


Figure I.6 : Etages bioclimatiques du bassin de la Soummam

I.3.4. Détermination de type de climat : [1]

L'indice annuel d'aridité de De Martonne 1926 noté **Ia** exprime le rapport entre les précipitations et les températures et permet de trouver le type de climat qui règne dans la région.

Il se calcule par la formule suivante :

$$Ia = \frac{P}{T+10} \dots\dots\dots(I-1)$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle 830mm

T : Température moyenne annuelle 17.7 °C

Ia= 29.9

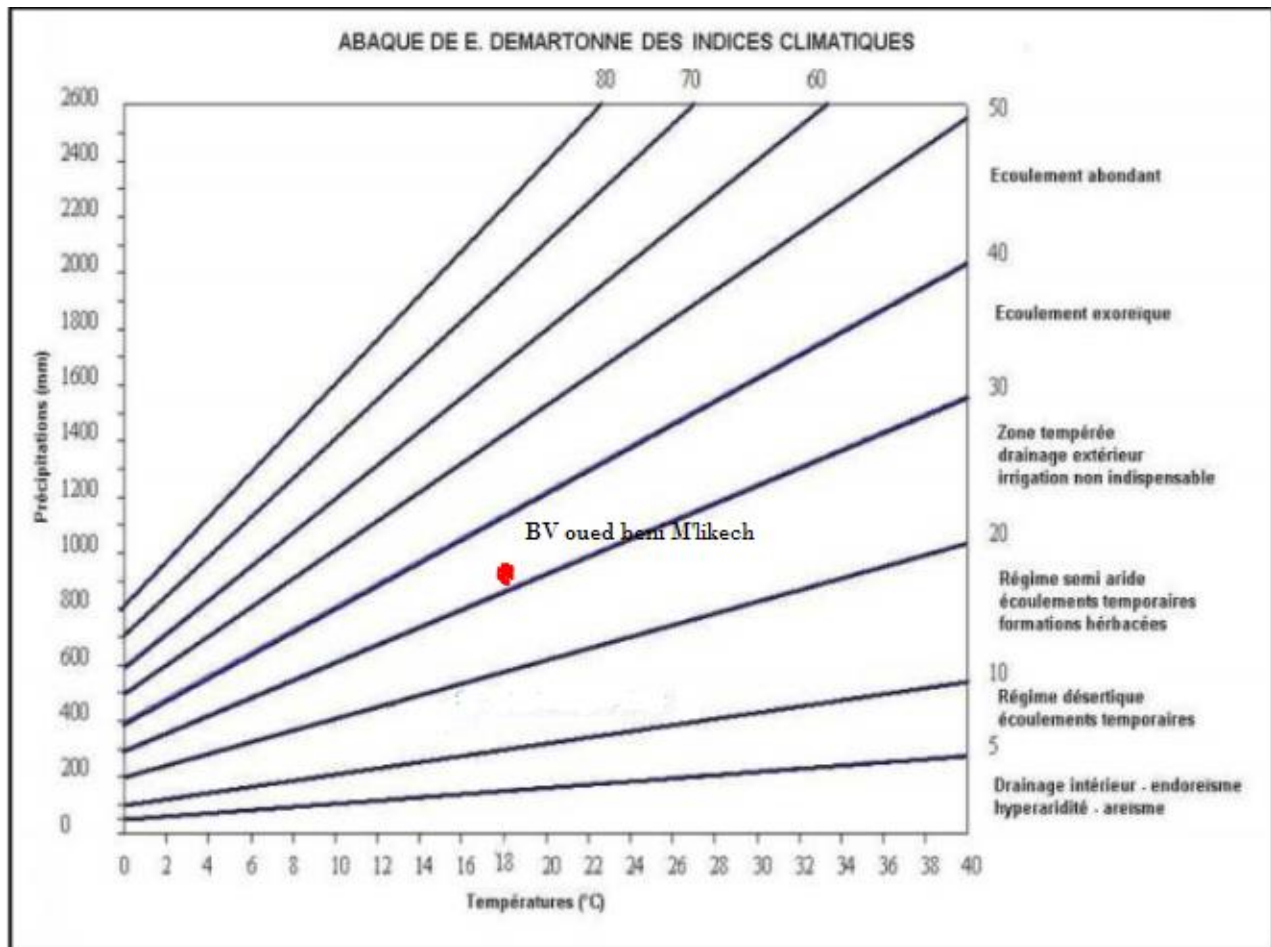


Figure I.7 : Abaque d'indice annuel d'aridité de De Martonne (1926)

Selon la classification de climat adoptée par De Martonne le bassin de l'oued Beni M'likech est classé écoulement exoréique (figure I.8)

I.4. Etude du bassin versant de Beni Mlikech :

I.4.1. Les caractéristiques géométriques :

Les bassins ont des propriétés géométriques variées qui dépendent du contexte géologique, géomorphologique et climatique de la région étudiée. Ceci inclut les héritages paléo-climatiques et tectoniques.

a) Le périmètre :

Son calcul dépend de l'échelle de la carte et de la densité du réseau hydrométrique, il est mesuré à l'aide du curvimètre et n'est généralement pas utilisé directement, mais à travers des valeurs qui en dérive. Comme la longueur du rectangle équivalent « L ». Il est donné par la forme :

$$P=2 (L+l) \quad \dots\dots\dots (I-2)$$

Avec :

L : longueur du rectangle équivalent.

l : largeur du rectangle équivalent.

Le périmètre du bassin versant de la Soummam est de : **P = 32 km**

b) La surface :

Elle est mesurée à l'aide du planimètre à partir du tracé du bassin versant. Pour le bassin versant considéré on a : **S = 32.47 km²**

c) Le thalweg principal :

La longueur du thalweg principal est estimée : **Lp = 13,28 km**

I.4.2. Caractéristiques de forme : [1]

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

I.4.2.1. Indice de compacité de Gravelius Kc (1914) : (BENINA Touabia, 2005)

Il caractérise la forme du bassin versant, et renseigne sur la vitesse de concentration des débits

Et la puissance des crues ainsi que sur l'érosion, Appelé aussi indice de forme.

Cet indice est le rapport entre le périmètre du bassin P et la circonférence du cercle Pc de rayon R

Ayant la même superficie S que bassin, soit :

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \quad \dots\dots\dots (I-3)$$

P : périmètre du bassin versant (Km) ;

S : surface du bassin versant (Km²).

Si : KC = 1 => bassin circulaire

Si : KC > 1,12 => bassin allongé

Si : KC = 1,12 => bassin carré

Pour le bassin de la Soummam : **Kc = 1.57**

Selon la valeur de **Kc** on peut dire que notre bassin est de forme allongée.

I.4.2.2. Rectangle équivalent ou Rectangle de Gravelius : (BENINA Touabia, 2005)

C'est une transformation purement géométrique en un rectangle de dimensions (L et l) ayant la même surface que le bassin versant. Il permet de comparer les bassins versants entre eux de points de vue de l'écoulement. Les courbes de niveau sont des droites parallèles aux petits cotés du rectangle et l'exutoire est l'un de ces petits cotés.

Le rectangle équivalent de dimensions (L et l) définit respectivement par les formules suivantes :

$$L = \frac{Kc\sqrt{S}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2} \right] \quad \dots\dots\dots (I-4)$$

$$l = \frac{Kc\sqrt{S}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2} \right] \quad \dots\dots\dots (I-5)$$

Avec :

L : longueur du rectangle équivalent en (Km) ;

l : largeur du rectangle équivalent en (Km) ;

S : La superficie du bassin versant (Km^2) ;

K_c : Le coefficient de compacité ou de Gravelieus.

On a: $L = 13.58 \text{ Km}$
 $l = 2.39 \text{ Km}$

I.4.2.3. Coefficient d'allongement :

Il est donné par la formule suivante : $K_p = \frac{Lp^2}{S}$ (I-6)

Pour le bassin de la Soummam : $K_p = 5.43$

I.4.3 Caractéristiques de relief :

La caractéristique fondamentale du relief de ce bassin versant se reflète dans sa plasticité bien accentuée. De nombreux cours d'eau et leurs affluents, le plus fréquemment aux pentes raides, ont creusé leurs lits profondément dans la couche géologique peu solide.

Le relief du bassin versant de Beni Mlikech présente une forme assez irrégulière ; au Nord, le bassin est limité par les chaînes de Djurdjura, au Sud par les montagnes de Ighil Ali et des Djebels At Wihdan, à l'Est par les montagnes de la petite Kabylie. En allant de Bouira vers Akbou, l'orographie du bassin est très prononcée.

C'est dans cette région, près de Maillot qu'est situé le point culminant (Lalla Khedidja) de la Soummam (2308 m). L'altitude diminue graduellement en avançant d'Akbou vers la mer. Les montagnes de la petite Kabylie sont également prononcées de point de vue altitude, leur plus haut sommet atteint 2004 m au Djebel Babor. De même les chaînes montagneuses du sud ne restent pas orthographiquement en arrière par rapport aux massifs cités précédemment, les pics sont atteints aux Bibans 1832 m et Djebel Mansourah 1836 m voire Figure I-9.

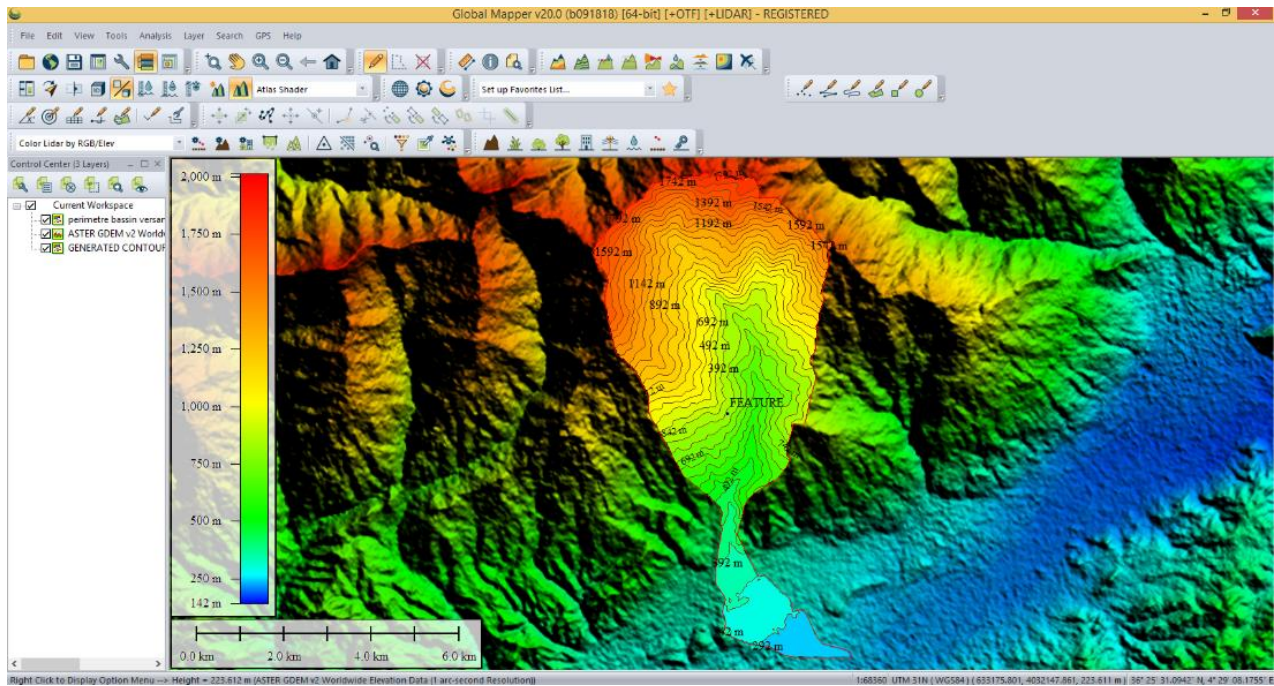


Figure I-8 : Carte du relief du bassin versant Beni Mlikech.

Le relief est caractérisé par :

I.4.3.1. Courbe hypsométrique : [1]

Le processus météorologique et le phénomène de ruissellement étant affectés par le relief, il est important de tracer la courbe hypsométrique.

Cette courbe met en relation les altitudes et les surfaces dans un bassin, sous forme de fréquences de superficies inférieures à un seuil donné. Dans un contexte d'évolution géomorphologique selon le modèle de Davis (figure 1-10), cette courbe permet de se renseigner sur le niveau de maturité d'un cours d'eau. Elle est obtenue par le cumul de l'histogramme des altitudes (tableau I-5, figure I-10).

Cette courbe est tracée selon les résultats des mesures de la répartition du bassin versant par tranche d'altitude, et surfaces partielles.

Tableau I-5 : tableau définissant l'hypsométrie du bassin versant de Beni Mlikech.

	Altitudes (m)	Altitudes Moyennes (m)	Superficies Partielles		Superficies Cumulées		Superficies inférieures (%)
			(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	
	242-292	267	1.60243155	4,934377133	1.60243155	4,934377133	100
	292-342	317	1.589084	4,893275941	3.19151555	9,827653074	95,06562287
	342-392	367	0.804950	2,478687388	3.99646555	12,30634046	90,17234693
	392-442	417	0.349101	1,074988814	4.34556655	13,38132928	87,69365954
	442-492	467	0.274940	0,8466244	4.62050655	14,22795368	86,61867072
	492-542	517	0.359575	1,107241465	4.98008155	15,33519514	85,77204632
	542-592	567	0.589584	1,815509566	5.56966555	17,15070471	84,66480486
	592-642	617	0.726474	2,237035768	6.29613955	19,38774047	82,84929529
	642-692	667	0.921710	2,83822716	7.21784955	22,22596763	80,61225953
	692-742	717	1.028805	3,168005439	8.24665455	25,39397307	77,77403237
	742-792	767	1.300745	4,00539192	9.54739955	29,39936499	74,60602693
	792-842	817	1.379587	4,248170566	10.92698655	33,64753556	70,60063501
	842-892	867	1.625439	5,005224112	12.55242555	38,65275967	66,35246444
	892-942	917	1.325563	4,081814137	13.87798855	42,73457381	61,34724033
	942-992	967	1.307273	4,02549363	15.18526155	46,76006744	57,26542619
	992-1042	1017	1.196976	3,685855413	16.38223755	50,44592285	53,23993256
Bassin Beni	1042-1092	1067	1.202320	3,702311224	17.58455755	54,14823408	49,55407715
	1092-1142	1117	1.159040	3,569038859	18.74359755	57,71727294	45,85176592
Melikech	1142-1192	1167	1.112045	3,424326873	19.85564255	61,14159981	42,28272706
	1192-1242	1217	1.291272	3,976221654	21.14691455	65,11782146	38,85840019
	1242-1292	1267	1.361950	4,193860846	22.50886455	69,31168231	34,88217854
	1292-1342	1317	1.406161	4,330000045	23.91502555	73,64168235	30,68831769
	1342-1392	1367	1.148801	3,537509845	25.06382655	77,1791922	26,35831765
	1392-1442	1417	1.174390	3,616306207	26.23821655	80,7954984	22,8208078
	1442-1492	1467	1.060502	3,265610202	27.29871855	84,06110861	19,2045016
	1492-1542	1517	1.048491	3,228624657	28.34720955	87,28973326	15,93889139
	1542-1592	1567	0.879510	2,708280445	29.22671955	89,99801371	12,71026674
	1592-1642	1617	0.791078	2,435971255	30.01779755	92,43398496	10,00198629
	1642-1692	1667	0.784095	2,414468461	30.80189255	94,84845342	7,566015036
	1692-1742	1717	0.613284	1,888489118	31.41517655	96,73694254	5,151546576
	1742-1792	1767	0.637843	1,964113795	32.05301955	98,70105634	3,263057457
	1792-1854.5	1817	0.421830	1,298943662	32.47484955	100	1,298943662
Superficie Total			32.47 km²				0

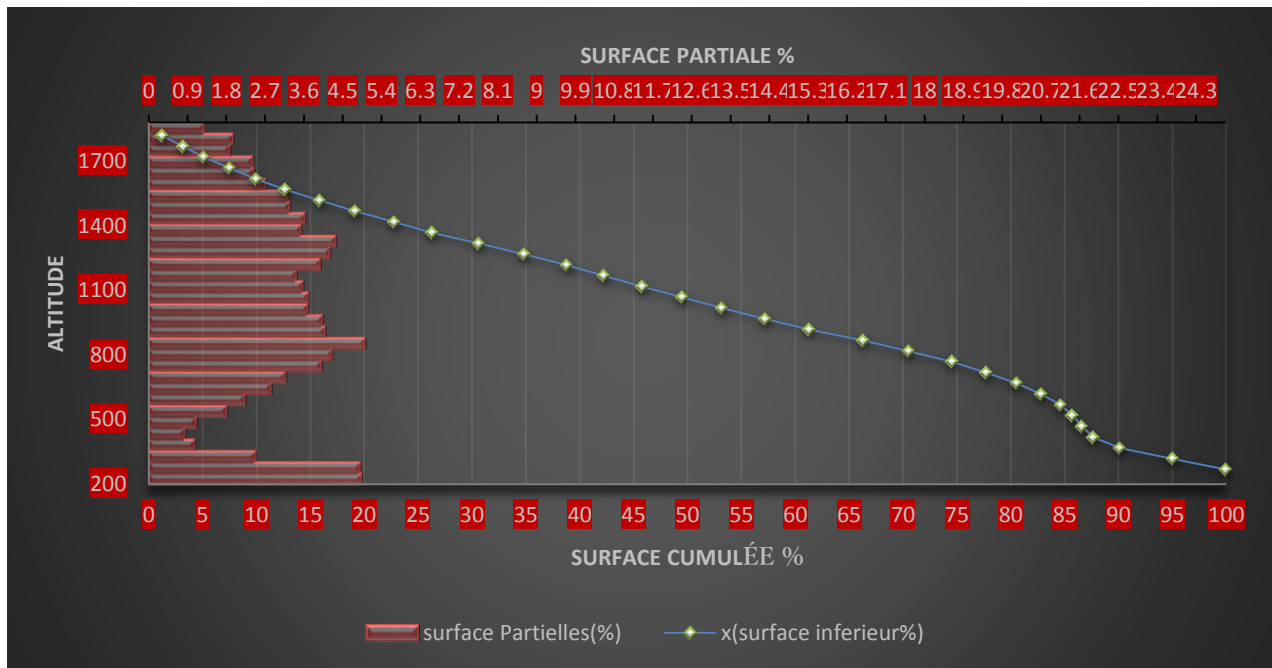


Figure I-9 : Courbe hypsométrique du bassin du bassin versant Beni Mlikech.

Donc, la forme de la courbe hypsométrique du bassin versant Beni Mlikech est en S. Le bassin versant du Beni Mlikech est un bassin mature.

I.4.3.2. Hauteurs caractéristiques : [1]

a. Altitude maximale et minimale :

Elles sont obtenues directement à partir de cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire. Ces deux données deviennent surtout importantes lors du développement de certaines relations faisant intervenir des variables climatologiques telles que la température et la précipitation. (MUZY André, 1998)

L'altitude minimale est celle qui correspond à l'exutoire près de la mer, tandis que l'altitude maximale se trouve sur les monts de Djurdjura tel que :

$$H_{\min} = 244.176 \text{ m}$$

$$H_{\max} = 1854.568 \text{ m}$$

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

L'altitude moyenne du bassin 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 **Si** comprise entre les courbes de niveau, et des altitudes moyennes correspondantes **Hi**

$$H_{moy} = \frac{\sum(H_i \cdot S_i)}{S} \quad \dots\dots\dots (I-7)$$

Avec :

- H_{moy}* : altitude moyenne du bassin versant ;
- S_i* : Surface partielle entre deux courbes de niveau (km²) ;
- H_i* : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau consécutives en (m) ;
- S* : Superficie du bassin versant (km²).

On obtient : $H_{moy} = 1027.5 \text{ m}$

c. L'altitude médiane :

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique, cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne si la pente de la courbe est régulière.

On obtient : $H_m = 1017 \text{ m}$

On remarque que l'altitude médiane est supérieure à l'altitude moyenne, ce qui veut dire que le bassin présente une légère dissymétrie vers les altitudes élevées.

d. L'altitude H_{95%} :

L'altitude **H_{95%}** correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 95% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique.

On obtient : $H_{95\%} = 317 \text{ m}$

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

L'altitude $H_{5\%}$ correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 5% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique.

On obtient : $H_{5\%} = 1717 \text{ m}$

I.4.3.3. Les indices de pente :

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

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

L'indice de Roche étant cependant trop long à évaluer pour des études rapides, on a proposé un indice encore plus simple ; c'est l'indice de pente globale à partir de la courbe hypsométrique, nous déduisant les altitudes $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$:

$$I_g = \frac{D}{L} \dots\dots\dots (I-8)$$

Avec :

- I_g : Indice de pente global ;
- D : Dénivelée entre $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$ (m) ;
- $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$: sont les altitudes correspondantes à $S_{5\%}$ et $S_{95\%}$ (m) ;
- L : Longueur du rectangle équivalent (km).

D'où : $D = H_{5\%} - H_{95\%} = 1717 - 317 = 1400 \text{ m}$

$I_g = 103.09 \text{ m / Km}$ soit **10.31 %**

b. Indice de pente moyenne du bassin versant I_m :

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

$$I_m = \frac{\Delta}{L} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \dots\dots\dots (I-9)$$

Avec :

I_m : Indice de pente moyenne ;
H_{max} et *H_{min}* : sont les altitudes maximal et minimal (m) ;
L : longueur de rectangle équivalent.

D'où : $\Delta = H_{max} - H_{min} = 1854.568 - 244.176 = 1610.392 \text{ m}$
 $I_m = 118.58 \text{ m / Km}$

I.4.3.4. La dénivelée :

Elle est calculée par la formule suivante :

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} \dots\dots\dots (I-10)$$

I.4.3.5. La dénivelée Spécifique « D_s » : (MUZY André, 1998)

Elle est calculée par la formule suivante :

$$D_s = I_g \times \sqrt{S} = \frac{D}{L} \times \sqrt{S}$$

Avec :

I_g : Indice de pente global
D : Dénivelée entre *H_{5%}* et *H_{95%}* (m) ;
L : Longueur du rectangle équivalent (m) ;
S : Surface du bassin versant (km²) ;

Tableau I.6 : La classification d'O.R.S.T.O.M⁽¹⁾

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

(1) : Office de la recherche scientifique et technique outre-mer

Tableau I.7 : La dénivelée et la dénivelée spécifique et leur classe

<i>Bassin versant</i>	<i>Dénivelée (m)</i>	<i>Dénivelée Spécifique (m)</i>	<i>Classe</i>
SB Beni Melikech de la Soummam	1400	587,44	Relief très fort

I.5. Caractéristiques hydrographiques du bassin versant :

I.5.1. La chevelure hydrographique : [1]

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement, Le réseau hydrographique est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du bassin.

Les réseaux hydrographiques de bassins de l'oued Beni M'likech et classification de chevelure hydrographique sont représentés dans les figures (I-11)

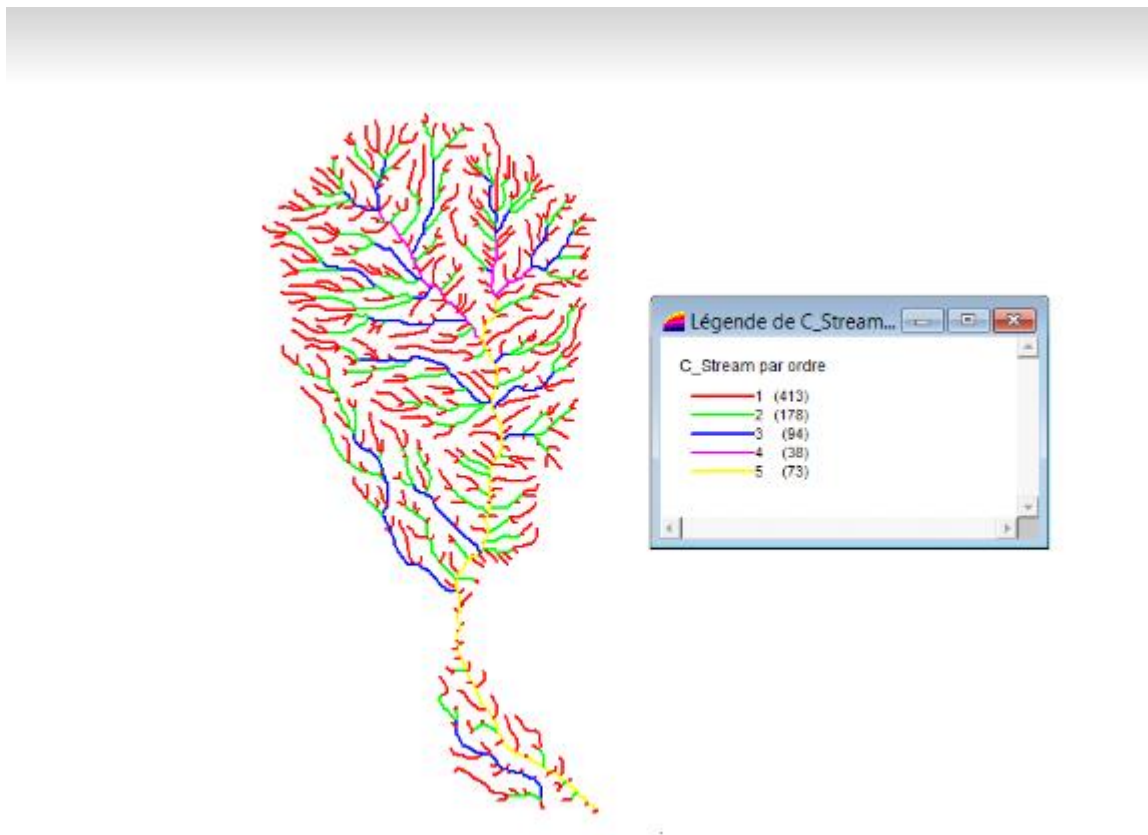


Figure I.10 : Réseau hydrographique du bassin versant Beni Mlikech.

I.5.2. Densité de drainage Dd :

C'est le rapport entre la longueur totale de tous les talwegs « Li » 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/Km².

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n Li}{S} \quad \dots\dots\dots (I-11)$$

Avec :

$\sum_{i=1}^n Li$: La longueur totale de tous les cours d'eau (Km) ;

S : Superficie du bassin versant en (Km²).

Les longueurs des cours d'eau du bassin versant de Beni Melikech sont illustrées dans le tableau suivant :

Tableau I-8 : la longueur des cours d'eau du bassin versant Beni Mlikech.

<i>Ordres des cours d'eau</i>	1	2	3	4	5	<i>Total</i>
<i>Longueur en (km)</i>	106	45	568	5	10	188

On obtient : $D_d = 5.79 \text{ km/km}^2$

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

I.5.3. 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

$$F_1 = \frac{N_1}{S} \quad \dots\dots\dots (I-12)$$

Avec :

N_1 : Nombre de thalwegs d'ordre 1.

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

Tableau I-9 : Nombre des différents ordres du cours d'eau du bassin versant Beni Melikech.

N	1	2	3	4	5
Nombre des cours d'eau	413	178	94	38	73

I.5.4. Coefficient de torrentialité :

Il est défini comme étant :

$$C_t = D_d * F_1 \quad \dots\dots\dots (I-13)$$

On obtient: **$C_t = 73.645 km^{-3}$**

I.5.5. Temps de concentration du bassin versant T_c :

C'est le temps que met une particule d'eau provenant de point hydrauliquement le plus éloigné du bassin pour arriver à l'exutoire considéré. (**SOUKATCHOFF Meriem**)

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

• **La formule de GIANDOTTI (1937) : (CHAUMONT M.)**

$$T_c = \frac{a\sqrt{S} + bL_p}{c\sqrt{h_m}} \dots\dots\dots (I-14)$$

Avec :

$a = 4$; $b = 1.5$; $c = 0.8$ (pour les grands et moyens bassins d'Afrique du Nord) ;

S : surface du bassin versant en (Km^2) ;

L_p : longueur du chenal principal hydrographique en (Km) ;

T_c : temps de concentrations exprimé en heure ;

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 Km^2).

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

• **La formule de KIRPICH :**

$$T_c = 0,6615 \times (L_p)^{0,77} \times (I_g)^{-0,385} \dots\dots\dots (I-15)$$

Avec :

L_p : longueur du chenal principal hydrographique en (Km) ;

I_g : indice de la pente globale (%).

• **Formule de L'ANRH :**

$$T_c = 3 \left[\frac{S * L_p}{(10I)^{1,5}} \right]^{0,25} \dots\dots\dots (I-16)$$

Avec :

I : la pente du bassin versant en (%) ;

L_p : longueur du chenal principal hydrographique en (Km) ;

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

Les résultats de différentes méthodes sont présents dans le Tableau suivant (Tableau I-10) :

Tableau (I-10) : Temps de concentration pour les formules.

<i>Formule</i>	<i>GIANDOTTI</i>	<i>KIRPICH</i>	<i>L'ANRH</i>
<i>Tc (heure)</i>	1.91	1.97	2.40

I.5.6. Vitesse de ruissellement :

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

Cette vitesse est déterminée par la formule suivante : $V_r = \frac{L_p}{T_c}$ (I-17)

Avec :

L_p : Longueur du thalweg principal (Km) ;
 T_c : Temps de concentration (h).

Tableau I-11 : Tableau récapitulatif des caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant de Beni Mlikech.

<i>Désignation</i>		<i>Sy</i>	<i>Unités</i>	<i>valeur</i>
Superficie		S	km ²	32.47
Périmètre		P	km	32
Longueur du thalweg principal		L_p	km	13.28
Indice de compacité		K_C	/	1.57
Coefficient d'allongement		K_P	/	5.43
Rectangle équivalent	longueur	L_r	km	13.58
	largeur	l_r	Km	2.39
Altitudes	maximale	H_{max}	m	1854.568
	moyenne	H_{Moy}	m	1027.5
	Minimal	H_{min}	m	244.176
Indice de pente globale		I_g	m/Km	103.09
Indice de pente moyenne		I_m	m/Km	118.58
Densité de drainage		D_d	Km/Km ²	5.79
Coefficient de torrencialité		C_t	KM ⁻³	73.645
Temps de concentration		T_c	h	1.91
Vitesse de ruissellement		V_r	Km/h	6.95

I.6.Conclusion:

Le bassin versant d'oued Beni Melikech, avec sa superficie de **32.47 Km²**, et un périmètre de **32 Km**, a une forme allongée, ce qui lui donne un temps de concentration **1.91 h**, il est situé dans la zone Nord-est de l'Algérie qui est considérée comme la région la plus arrosée en Algérie ; donc il est soumis à des fortes probabilités d'inondation, s'il n'est pas bien entretenu.

CHAPITRE II



Etude géologique

II.1. Introduction : [1]

Dans ce chapitre, nous allons présenter brièvement quelques caractères généraux sur la géologie du bassin de l'oued Beni Mlikech. Cette étude nous permet de différencier toutes les unités géologiques en fonction des paramètres lithologique et hydrodynamique (niveau de perméabilité) qui influence sur l'écoulement des eaux de surface au niveau de notre bassin.

II.2 Aperçu géologique de l'Algérie : [1]

L'histoire géologique des bassins sédimentaires Algériens s'inscrit dans le processus de géodynamique globale de la tectonique des plaques qui a structuré l'Algérie en deux domaines :

- Au nord, l'Algérie alpine ;
- Au sud, la Plate-forme saharienne.

➤ Algérie alpine

Le domaine septentrional est constitué de reliefs jeunes, modelés au cours du Tertiaire par les mouvements alpins. L'Algérie alpine est composée des ensembles structuro-sédimentaires suivants, du nord au sud :

- Le plateau continental algérien réduit, à dépôts tertiaires et quaternaires (1000 à 3500m), repose sur un socle métamorphique.
- L'atlas tellien est le domaine des nappes, avec des bassins de type intra montagneux (ex. bassin du Chéelif), dont la série sédimentaire s'étend du Jurassique au Miocène.
- Le Hodna est un bassin d'avant-fosse dont la séquence de remplissage débute par des dépôts continentaux d'âge.
- Les hauts plateaux, avant-pays alpin, à couverture sédimentaire réduite, où les processus locaux de distension ont permis la formation de bassins intra montagneux comme ceux de Telagh et de Tiaret.

- L'atlas saharien est né d'un long sillon subsidient pincé entre les hauts plateaux et la Plate-forme Saharienne. Au Mésozoïque, ce sillon fut comblé par une puissante série sédimentaire (7000 à 9000 m). Durant le Tertiaire, une tectonique compressive réactive les structures extensives antérieures en failles et structures inverses aboutissant à la formation de cette chaîne montagneuse. L'objectif pétrolier principal est le Jurassique.
- Les bassins du Chott Melrhir dans le SE constantinois, structurés au Tertiaire, à remplissage crétacé (5000 m), ont engendré et accumulé des hydrocarbures principalement dans le Crétacé (Djebel Onk, Rass Toumb, Guerguet El Kihal Nord).

➤ **La plate-forme saharienne**

Elle est située au sud de l'Algérie alpine et appartient au Craton Nord-Africain. Elle comprend un socle précambrien sur lequel repose en discordance une puissante couverture sédimentaire, structurée au Paléozoïque en plusieurs bassins séparés par des zones hautes. On distingue d'ouest en est :

1. Les bassins de Tindouf et de Reggane situés sur les bordures nord et nord-est du bouclier Reguibat. La couverture sédimentaire atteindrait (8000m) dans le bassin de Tindouf et (6500 m) dans celui de Reggane.
2. Le bassin de Béchar limité au nord par le Haut Atlas, au sud et à l'ouest par la chaîne d'Ougarta. Sa couverture sédimentaire atteindrait (8000 m).
3. Le bassin d'Ahnet-Timimoun limité au nord par le haut fond d'Oued Namous, à l'ouest par la chaîne d'Ougarta, au sud par le bouclier Touareg et à l'est par la dorsale d'Idjerane-Mzab. La couverture serait en moyenne de (4000 m).

II.3. Situation géographique :

Le bassin versant de Beni Mlikech (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'). Cette étendue est de forme irrégulièrement allongée.

Dans le bassin versant de Beni Mlikech on trouve des types de sols anciens de formation paléo marécageuse qui sont caractérisés par des formations bien accentués. La carte des sols du bassin de la Soummam a été extraite de la carte des sols de l'Algérie faite par J. Durand en 1954 (Figure II-1). La majorité des sols dans le bassin de la Soummam sont des sols calcaires (riches en calcaire). Ces sols ont généralement une texture légère et sont donc perméables. Au nord du bassin, on rencontre des sols insaturés qui ne contiennent pas de calcaire 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.

Lelong des oueds, les sols existants sont des dépôts alluviaux appelés sols alluviaux. En outre on rencontre, en petites quantités des sols calciques et des sols en équilibre peu épais, plus ou moins riches en calcaire et très pauvres en sels solubles. [6]

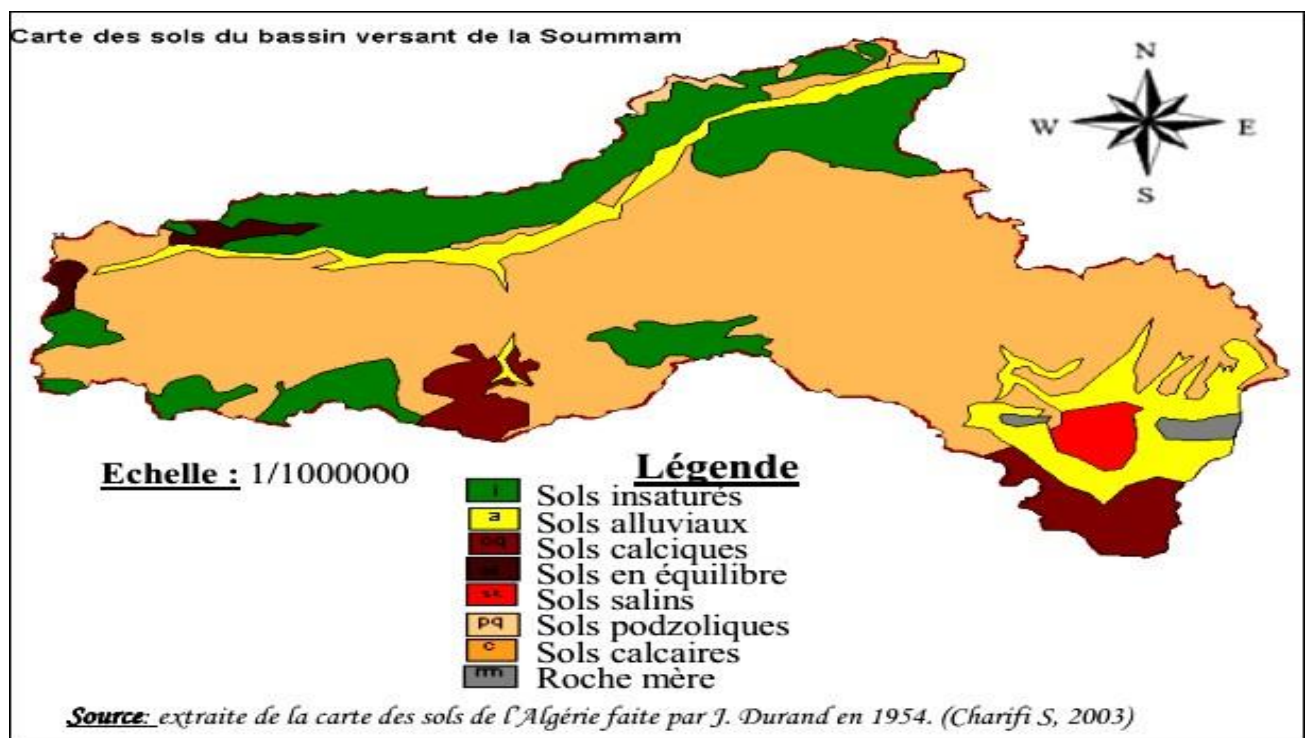


Figure II-1 : Carte des sols du bassin de la Soummam.

➤ **Les zones montagneuses :**

Ce bassin est délimité principalement par la chaîne montagneuse du Djurdjura, dont le sommet le plus élevé est de 2 308 m d'altitude (Lalla khedidja), tandis que sa limite au sud située aux monts du Hodna. Moins élevée que le Djurdjura (l'altitude maximale est de 1862 m). Vers l'Est

et l'Ouest le bassin de la Soummam est ouvert, c'est dans cette partie du bassin que se situent les hauts plateaux de Sétif et de Bouira.

II.3. Cadre géologique du bassin :

Il s'agit des écailles chevauchant (le chaînon d'Ighil Ali) au Sud (l'écaille de Sidi Yahia appartiennent au massif du Dj Trouna et le croissant de Timezrit). Il affleure également à la limite Nord du bassin, dans les massifs de l'Arbalou, de Toudja et du Gouraya.

Ce Jurassique comprend :

- Un Lias, qui, à la base est constitué de calcaires marneux, au-dessus desquels se montrent des calcaires durs renfermant des parties siliceuses sous forme de brèches.

- Un Jurassique moyen (Dalloni et Deleau), supérieur (Ficheur, 1891), comprend à la base des grès rouges et poudingues, au-dessus desquels viennent des schistes et grès micacés (faciès du cap carbon et du Dj Arbalou). Le terme de passage du Jurassique au Crétacé (Néocomien) est formé de calcaires marneux et de marnes à débris noduleux.

II.3.1. Zones internes : [4]

Il s'agit des massifs kabyles qui comportent, mais en une seule unité structurale :

- Le socle kabyle, antérieur au cycle alpin comporte une puissante série cristallophyllienne : un complexe gneissique souvent injecté de roches granitoïdes, des micaschistes et l'extrême sommet a fourni la célèbre " faune de Stita " (Ordovicien moyen) au Nord de Tizi Ouzou (Barbier, 1948).

- L'âge du métamorphisme kabyle a été longtemps considéré comme hercynien. La découverte de la discordance des Béni Affeur l'a ensuite fait tenir comme calédonien (Durand Delga, 1969).

- La structure actuelle des massifs kabyles est marquée par des plis modérés, la plupart sont postérieurs à la tectonique d'écoulement des nappes à matériel flysch.

- La couverture mésozoïque : le premier terme qui repose sur le socle kabyle est une formation d'âge Oligocène supérieur (Flandrin, 1948, Gélard, Lorenz et Magne, 1973) à Burdigalien inférieur (Bizon et Gélard, 1975) constituée par une brèche basale à

éléments de socle jointifs, que surmontent des niveaux argilo-gypseux d'aspect molassique qui se terminent par un olistrostrom (Tefiani, 1970, Gélard, Lorenz et Magne, 1973) remaniant les éléments de chaîne calcaire et de flyschs analogues à ceux du flanc sud du Djurdjura.

- La dorsale kabyle (Durand Delga, 1969) ou chaîne calcaire (Glangeaud, 1932) est une étroite zone, véritable épine dorsale limitant les zones internes, au contact exact des zones externes.

Cet ensemble à dominante schisteuse constitue la couverture normale du cristallophyllien Kabyle. Ce sont des faciès calcaires vermiculés du Trias moyen, des calcaires lités à silex du Lias moyen, de marnes ou marno-calcaires du Crétacé et des calcaires massifs et marnes claires de l'Eocène inférieur-moyen (Flandrin, 1948).

Elle est affectée de plis longitudinaux plus ou moins serrés dont les charnières se rompent en écaillés très redressées et même couchées (Djurdjura).

II.3.2. Les flyschs crétacés et paléogènes kabyles

Les flyschs Kabyles se présentent de trois manières :

- En situation interne, superposés tectoniquement aux massifs kabyles, flyschs nord-kabyles ;
- En situation relativement externe, à la bordure sud de la dorsale, flyschs sud-kabyles ;
- En situation très externe sous forme de masses isolées flottant sur le Tell.

Trois grandes hypothèses s'affrontent à leur sujet :

- 1ère hypothèse : les flyschs se seraient déposés au Nord des Kabylies, puis auraient été charriés vers le Sud par-dessus les zones Kabyles. (Durand Delga, 1956, Mattauer, 1958)
- 2ème hypothèse : les flyschs se seraient déposés dans deux bassins, l'un interne et l'autre externe, au Nord et au Sud des amygdales Kabyles et péloritaines. Lors de la tectonique tertiaire, les flyschs des deux zones auraient glissé vers le Sud arrivant même à se superposer (Caire. A, 1951)

- 3ème hypothèse : les flyschs se seraient tous déposés dans un sillon externe au Sud des Kabylies et auraient été extraversés vers le Nord et vers le Sud. (Durand Delga, 1963). Les flyschs externes ont été subdivisés en flyschs mauritaniens et flyschs massyliens (Durand Delga, 1955).

L'allochtonie des flyschs nord-kabyles résulte du simple fait de leur superposition à l'Aquitaniens, transgressif sur le primaire des Kabylies. On aurait donc eu de bas en haut trois termes de l'Oligocène :

- Les conglomérats et grés transgressifs sur le Paléozoïque ;
- Les flyschs à faune "remaniées » ;
- Les grés numidiens.

II.3.2. Zones externes :

Les unités telliennes forment un empilement complexe surmontant au Sud l'autochtone "présaharien" des Hautes Plaines.

a) Le Tell autochtone ou paraautochtone : ses unités sont du Nord au Sud :

- Les écaillés pré-kabyles du Nord constantinois ;
- La zone sous-kabyle regroupe des formations de l'Ouest de la chaîne numidique (Durand Delga, 1955), l'énorme massif des Babors (Ehrmann, 1924, Leikine, 1972, Hassisène, 1989), les chaînons à l'Ouest de Bejaia (Duplan, 1952) et les " écaillés intermédiaires " au Sud d'Alger (Glangaud, 1932)

b) Les nappes telliennes : elles se regroupent en trois unités que sont du Nord au Sud :

- Les unités ultra-telliennes, on les trouve charriées en paquets isolés sur l'unité de Béni Ourtilène, ce sont des formations d'âge Néocomien à Eocène moyen, caractérisées par des sédiments de teinte claire (J-C. Lahondère, 1987).
- Les nappes épi-telliennes, comportent du Trias à leur base, le Crétacé supérieur,

marneux, est très puissant d'épaisseur kilométrique et l'Eocène sous forme de marnes noires à boules jaunes.

- Elles sont affectées d'une tectonique distensive ultime qui est à l'origine de l'individualisation de bassins d'effondrements remplis de matériel néogène et quaternaire.
- Les nappes méso-telliennes ou sud-telliennes (Kieken, 1960-1962), il s'agit d'un empilement complexe d'unités formées de sédiments allant du Sénonien au Miocène, le Trias y est rare, le Crétacé se présente sous forme d'argiles marneuses, l'Eocène de calcaires et de marnes et l'Oligocène est essentiellement marno-gréseux.

CHAPITRE III



Etude pluviométrique
-Pluie de Projet-

III.1. Introduction : [7]

La Pluviométrie en Algérie a été étudiée par plusieurs auteurs, (P. Seltzer, 1913-1938, H. Gaussen, 1918-1947, G. Medinger, 1913-1953, M. Chaumont et C. Paquin, 1913-1963). La plupart des stations du bassin ont été arrêtées pendant la guerre d'Algérie, d'autres ont subi des modifications après 1962. Ceci se traduit par des résultats entachés d'erreurs et le nombre élevé de lacunes à l'échelle mensuelle et annuelle. D'autre part bon nombre de stations ont été installées lors de la restructuration du réseau pluviométrique algérien et leurs données sont très utiles pour l'établissement d'une série pluviométrique récente (1970-1998). L'intérêt et le but de cette série est de permettre la confrontation avec l'écoulement correspondant afin de dégager une étude hydro pluviométrique et d'estimer la lame d'eau moyenne tombée sur le bassin.

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

III.2. Etude des précipitations :

Pour mieux cerner l'étude de la pluviométrie, nous avons retenu des séries des pluies moyennes mensuelles pour les stations pluviométriques du bassin de l'oued Beni Mlikech. Cinq stations pluviométriques ont été prises en considération dans cette étude, elles sont bien réparties sur l'ensemble du bassin versant et dont les mesures des différents paramètres climatiques nécessaires dans l'estimation de chaque processus hydrologique sont disponibles à des échelles de temps pas tout à fait identiques avec leurs périodes d'observations. Leurs caractéristiques topographique et climatique sont insérées dans le tableau ci-dessous (III-1).

- **DONNEES DISPONIBLES :**

Les données pluviométriques que nous disposons pour cette étude ont été acquises au niveau de l'ANRH (agence nationale des ressources Hydrique).

Le tableau suivant résume les caractéristiques de notre station :

Tableau (III-1) : Caractéristique de station pluviométrique Tizi Nslib.

<i>N°</i>	<i>Code</i>	<i>Nom de la station</i>	<i>Période d'observation</i>	<i>Longitude (m)</i>	<i>Latitude (m)</i>	<i>Altitude (m)</i>
<i>01</i>	150504	Tizi Nslib	1977-2009	356.95	661.95	1050

Le tableau ci-dessus (III-1), montre que la station de bassin versant a une longue période d'observation qui s'étend de 1977 jusqu'à 2009.

- **CRITERES ET HOMOGENEISATIONS DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES**

Les informations pluviométriques disponibles sont souvent entachées d'un certain nombre d'erreurs d'observations, résultats des problèmes les plus souvent rencontrés en hydrologie qui sont :

- Le manque de données : stations inexistantes.
- Données non continues : manque d'enregistrement à une station.
- Mauvaise qualité des données

Tableau (III-2) : Série pluviométrique station Tizi Nslib.

année	P. annuelle	année	P. annuelle	année	P. annuelle
1977	/	1988	/	1999	/
1978	572.8	1989	490.1	2000	/
1979	/	1990	/	2001	368.7
1980	/	1991	594.3	2002	778.4
1981	518.2	1992	488.1	2003	643.7
1982	/	1993	482.6	2004	583.2
1983	622.7	1994	403.6	2005	593.1
1984	698.8	1995	498.3	2006	/
1985	610.7	1996	269	2007	/
1986	553.2	1997	484.2	2008	/
1987	402.9	1998	454.9	2009	/

III.3. Variation interannuelle de la pluviométrie :

Pour déterminer la variation interannuelle de pluviométrie pour notre station du bassin de l'oued Beni Mlikech, nous avons utilisé des paramètres statistiques tels que la moyenne annuelle.

Vu que la station est bien répartie et les valeurs de la pluie annuelle aux stations étudiées, est presque égales, donc nous avons appliqué la méthode de la moyenne arithmétique.

Cette dernière se base sur le calcul de la moyenne des pluies annuelles de la station, et le coefficient d'immodération donné par le rapport des pluies extrêmes (P_M/P_m) sont données dans le tableau (III-2).

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

Station	Moyenne (mm)	Max (P_M)(mm)	Min (P_m) (mm)	P_M/P_m
<i>Tizi Nslib</i>	529,119	778,40	269	2,89

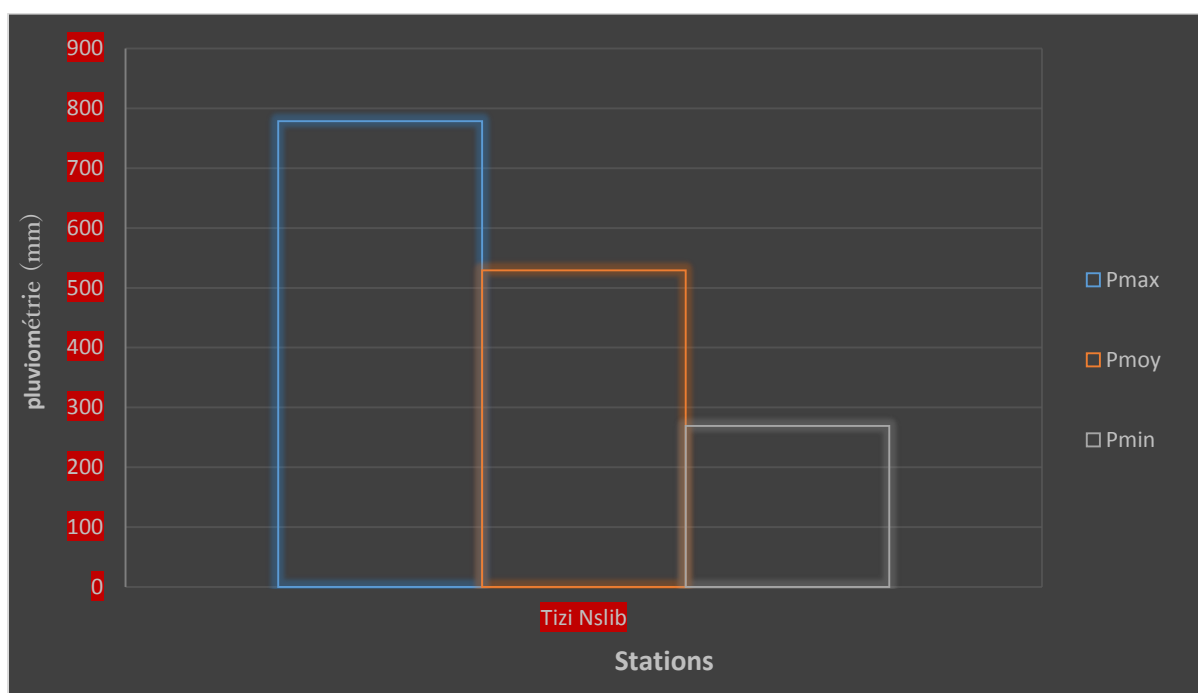


Figure III-1 : Précipitations moyennes annuelles au station pluviométrique du bassin de l'oued Beni Mlikech.

Les moyennes annuelles de la précipitation pour notre station du bassin de l'oued Beni Mlikech comme le montre la figure ci-dessus (III-1) ne sont pas égaux.

Le coefficient d'immodération (P_M/P_m) est grand. Ce qui indique à une irrégularité interannuelle de la pluviométrie.

Donc on peut dire que la répartition de la pluie dans notre bassin est plus ou moins non homogène.

III.4. Variations temporelles des précipitations annuelles :

➤ Variations temporelles :

La pluviométrie annuelle a notablement changé au cours de la période d'étude (tableau III-4).

Cette dernière traduit par des maximum hauteurs des pluies. [1]

Tableau (III-4) Pluie Annuelles de sous bassins de l'oued Beni Mlikech.

année	P. annuelle	année	P. annuelle	année	P. annuelle
1977	/	1988	/	1999	/
1978	572.8	1989	490.1	2000	/
1979	/	1990	/	2001	368.7
1980	/	1991	594.3	2002	778.4
1981	518.2	1992	488.1	2003	643.7
1982	/	1993	482.6	2004	583.2
1983	622.7	1994	403.6	2005	593.1
1984	698.8	1995	498.3	2006	/
1985	610.7	1996	269	2007	/
1986	553.2	1997	484.2	2008	/
1987	402.9	1998	454.9	2009	/

L'analyse des paramètres statistique des distributions a permis de remarquer que les coefficients de variation des séries pluviométriques sont entre faibles et normales (tableau III4).

Tableau (III-5) : Paramètres statistique des pluies du bassin de Beni Mlikech.

Station	Moyenne (mm)	Max (mm)	Min (mm)	Ecart-type	Coefficient de variation
Tizi Nslib	529,119	778,40	269	116,678	0,220

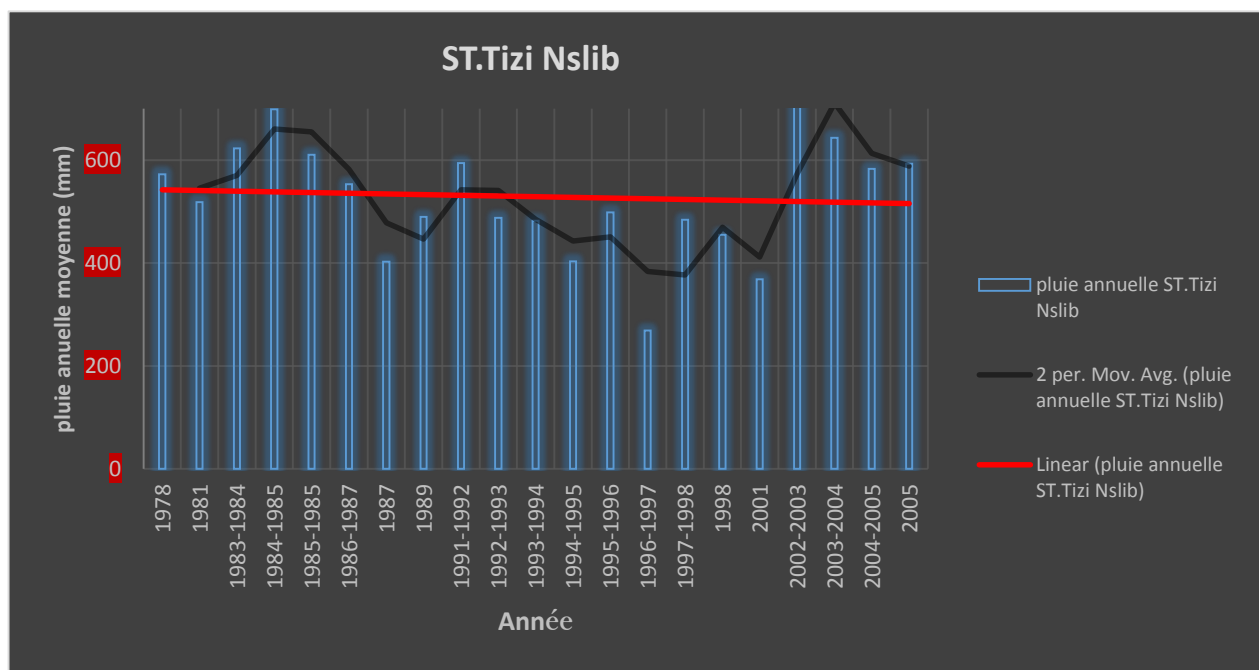


Figure III-2 : Variation interannuelle des précipitations annuelles de la station de Tizi Nslib.

Commentaire :

On remarque que les précipitations annuelles varient d'une année à une autre et la courbe de tendance démontre avec le temps.

III.5. Ajustement des précipitations annuelles à une loi de probabilité. [7]

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

L'ajustement graphique des séries pluviométriques de notre station de l'oued Beni Mlikech pendant la période (1977/2009), la figure (III-3) montre que la pluie s'ajuste en général suivant une loi normale de Gauss ou une loi log normale ou la loi de log normale est plus juste dans notre cas. Par ailleurs nous avons calculé pour la station située dans notre bassin d'étude, les précipitations relatives à des récurrences données (Tableau III-7)

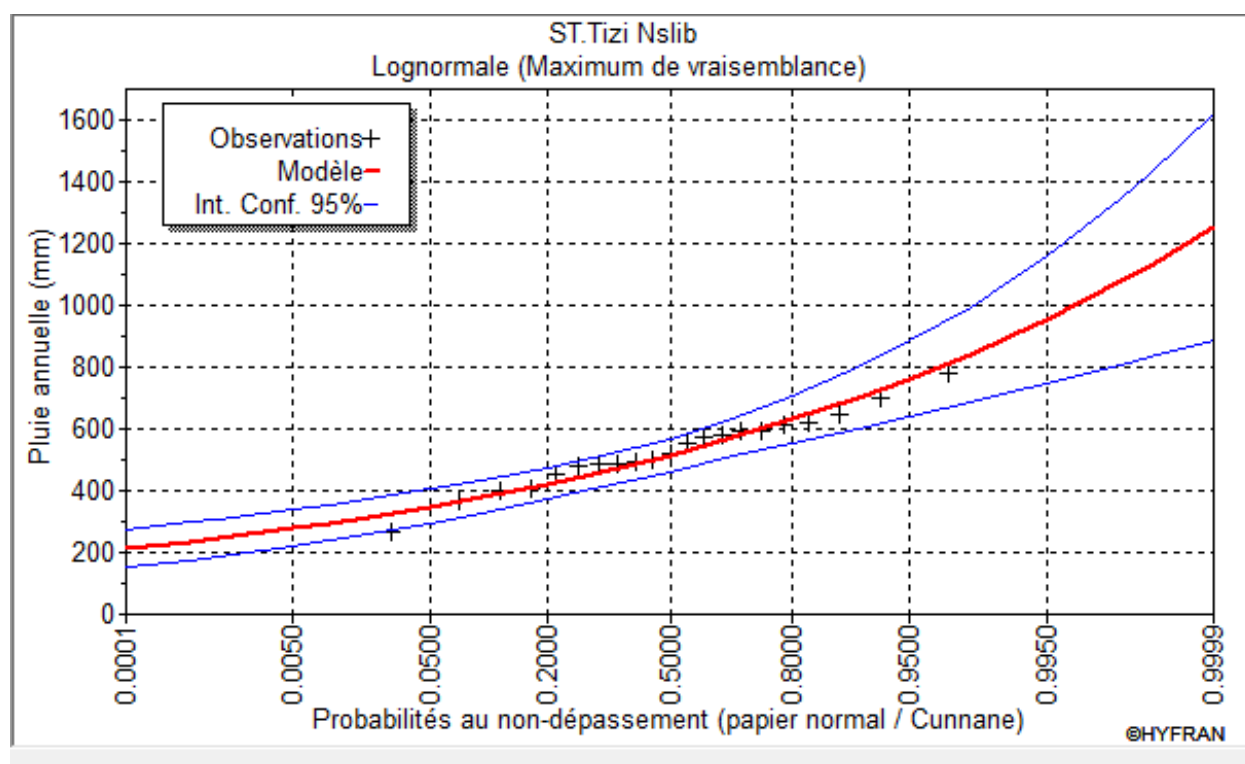


Figure III-3 : Ajustement de pluviométrie annuelle à la station de Tizi Nslib (1977-2009)

Tableau (III-6) : Précipitations pour des périodes de récurrences dans quelques stations du bassin Beni Mlikech

Type de Pluie Stations	Pluie moyenne (mm)	Pluie décennale (mm)	Pluie centennale (mm)	Pluie millénaire (mm)
Tizi Nslib	529	700	898	1080

III.6. Précipitations mensuelles et les régimes saisonniers : [1]

La variation mensuelle de pluviométrie 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 1977-2009, pour la notre station du bassin de l'oued Beni Mlikech avec leurs paramètres statistiques tels que la moyenne, l'écart type et le coefficient de variation sont résumées dans le tableau (III-8).

Tableau (III-7) : Les pluies moyennes mensuelles (2002) et leurs paramètres statistiques du bassin de l'oued Beni Mlikech.

Station	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai	ju	jui	aout	Moy	écart type	CV
Tizi Nslib	13.8	17	157.8	134.7	213.6	65	34.2	119.7	10.8	1.9	6.3	3.6	64.8	72.9	1.124

Pour la représentation graphique des précipitations moyennes mensuelles (figure III-4), 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) ;
3. une période humide qui correspond au mois (Novembre jusqu'à Mai).

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

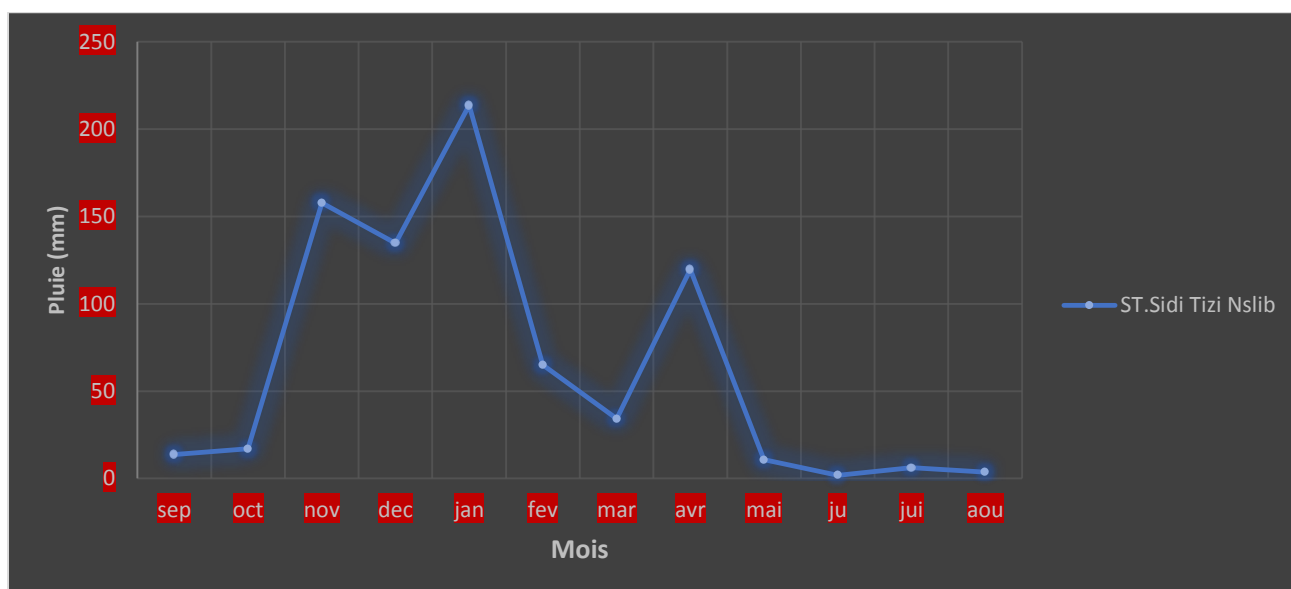


Figure III-4 : Variations mensuelles de la pluviométrie dans le bassin de l'oued Beni Mlikech.

A partir de la figure (III-5) nous observons dans l'ensemble du bassin, les saisons les plus pluvieuses sont l'hiver et l'automne et la saison la plus sèche est l'été.

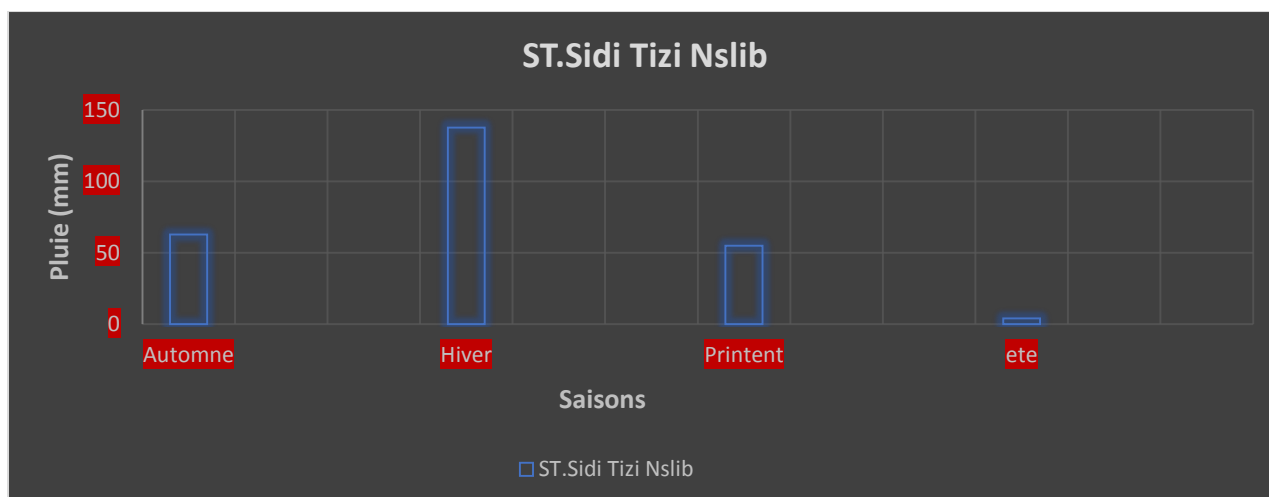


Figure III-5 : Variation saisonnière des précipitations dans le bassin de l'oued Beni Mlikech.

III.6. Les précipitations extrêmes et les averses facteur générateur des crues :[1]

Les pluies maximales journalières sont souvent génératrices de crues exceptionnelles. Pour cela, il est important d'effectuer un ajustement statistique d'une loi de probabilité à la série d'observation afin de déterminer les précipitations maximales journalières fréquentielles.

Pour dégager une idée générale sur l'importance des pluies extrêmes, nous nous basons sur des données d'observations disponibles pour la station de Tizi Nslib (pour la disponibilité des pluies maximales journalières).

Tableau III.8 : Caractéristiques de station pluviométrique.

Code	Nom de la station	Cordonnées			Période de fonctionnement	Nombre d'année
		X(Km)	Y(Km)	Z(m)		
C150504	Tizi Nslib	661,95	356,95	1050	1977-2009	32

➤ **Ajustement des pluies maximales journalières**

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

Parmi aux cinq lois ou modèles statistiques les plus utilisés on a effectué l'ajustement de la série des pluies maximales journalières à la loi de Gumbel (doublement exponentielle), Galton (log normale) et Pearson type III à l'aide de logiciel Hyfran, avec une comparaison des graphes des droites de régression obtenues par les ajustements (figure (III-17)).

Le tableau (III-9) donne les différentes caractéristiques statistiques de l'échantillon pour les différentes stations considérées et pour l'ensemble des stations représentant le secteur d'étude.

Tableau III-9 : Les paramètres statistiques des pluies maximales journalières

Statistiques de base	<i>St Tizi Nslib</i> (1977-2009)
Nombre de données	34
Minimum	1
Maximum	137
Moyenne	41.0
Ecart-type	23.3
Médiane	40.0
Coeff. de variation (Cv)	0.567
Coefficient d'asymétrie (Cs)	2.08
Coeff. d'aplatissement (C_k)	9.45

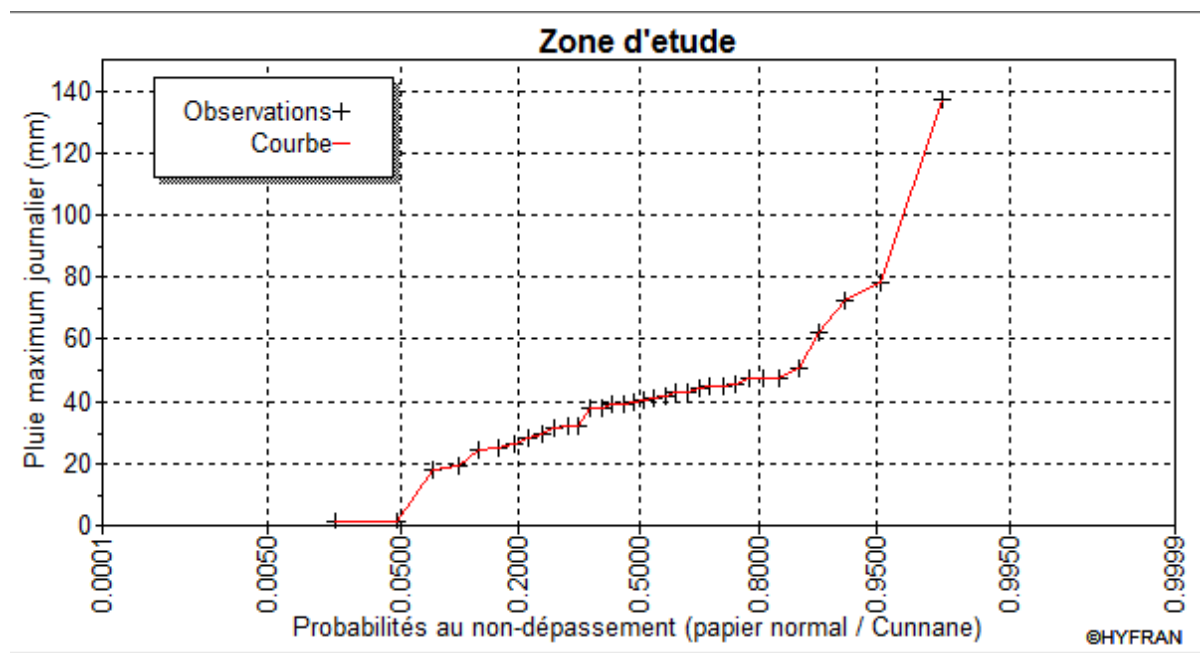


Figure III.6 : Observation sur papier de probabilité.

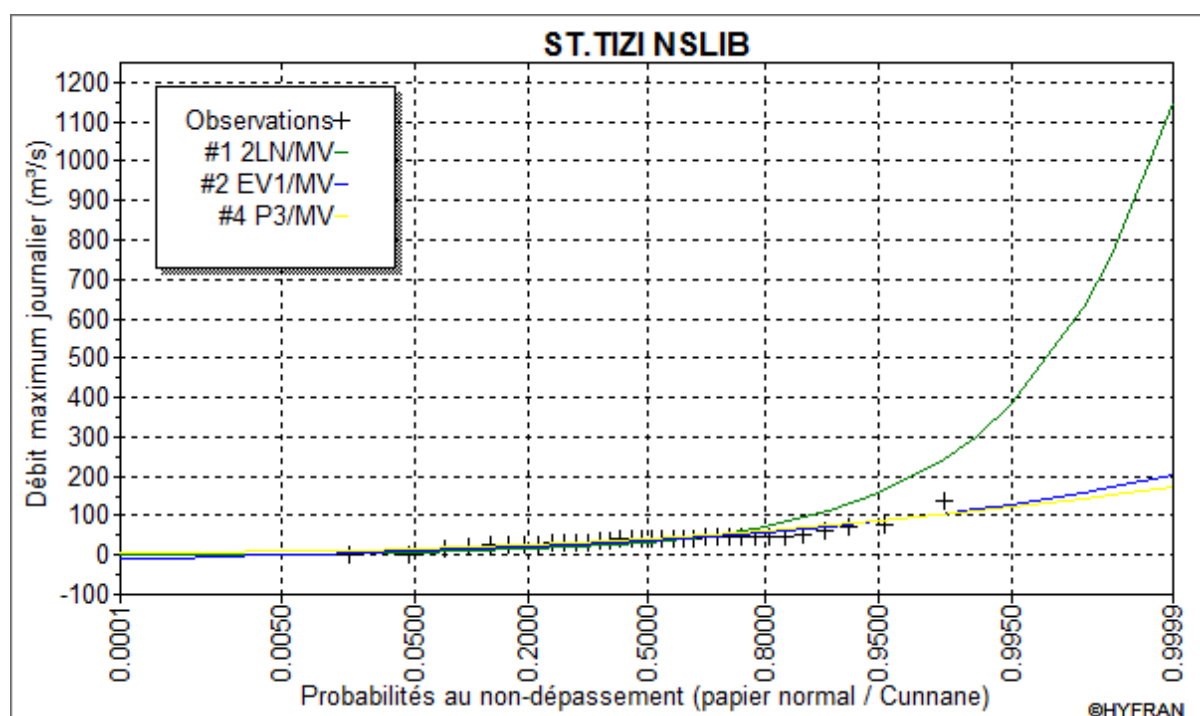


Figure III-7 : Ajustement comparatif des trois lois de la station de Tizi Nslib.

D'après les graphes d'ajustement pour la station de Tizi Nslib Figure (III.7), on a remarqué que le modèle de Gumbel montre une adéquation plus nette.

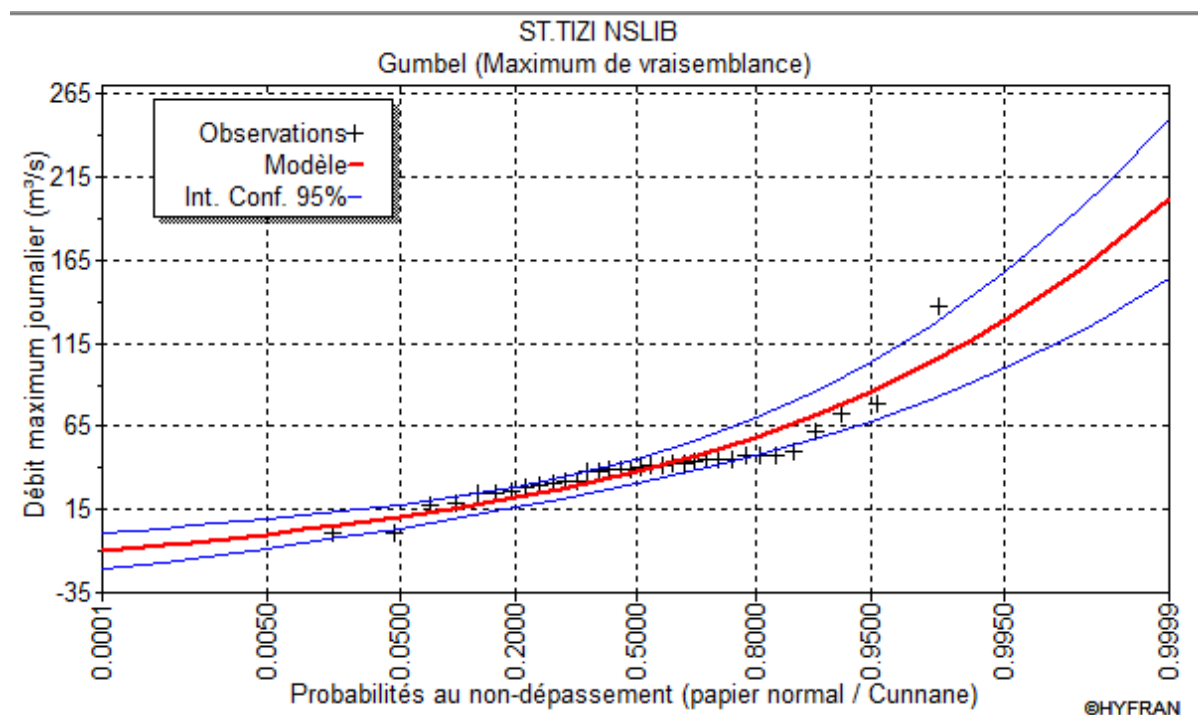


Figure III-8 : Ajustement à la loi de Gumbel de la station de Tizi Nslib.

Les résultats de l'ajustement de la pluie journalière maximale sont regroupés dans le tableau (III-11).

Tableau III-10 : Caractéristiques de la pluie journalière maximale à la station de Tizi Nslib.

Période de retour	5	10	20	50	100
Fréquence au non-dépassement	0.80	0.90	0.95	0.98	0.99
P_{\max}	58.8	72.7	86.1	103	116
Ecart-type	5.75	7.41	9.10	11.3	13.0
Int.Conf.	47.6-70.1	58.2-87.3	68.2-104	81.1-126	90.6-142

III.7. Les pluies de courte durée : [1]

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 :

$$P_t = P_{J \max\%} \left(\frac{t}{24} \right)^b \quad \dots\dots\dots (III-1)$$

Avec :

P_t : pluies de courte durée de fréquence donnée en (mm) ;

$P_{J \max\%}$: Pluies journalière de fréquence donnée en (mm) ;

t : temps en heure ;

b : exposant climatique calculé par la formule.

(Tizi Nslib ; $b=0.32$)

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

$$I_t = \frac{P_t}{t} \quad \dots\dots\dots (III-2)$$

L'intensité et la pluie de courte durée correspondante à un pas de temps variable, sont représentées pour la station de Tizi Nslib et de différentes fréquences, dans le tableau (III-12) :

Tableau III-11 : Pluies et intensités maximales de durée t (h) et de périodes retour T (ans).

Station	t(h)	5		10		20		50		100	
		Pt (mm)	It (mm/h)	Pt (mm)	It (mm/h)	Pt (mm)	It (mm/h)	Pt (mm)	It (mm/h)	Pt (mm)	It (mm/h)
Tizi Nslib	0.25	13.647	54.589	16.873	67.494	19.983	79.934	23.906	95.624	26.923	107.694
	1.91	26.160	13.696	32.344	16.934	38.305	20.055	45.824	23.992	51.608	27.020
	2	26.548	13.274	32.824	16.412	38.874	19.437	46.505	23.252	52.374	26.187
	3	30.226	10.075	37.371	12.457	44.260	14.753	52.947	17.649	59.630	19.876
	5	35.594	7.118	44.008	8.801	52.120	10.424	62.350	12.470	70.220	14.044
	6	37.732	6.288	46.652	7.775	55.251	9.208	66.096	11.016	74.438	12.406
	8	41.371	5.171	51.151	6.393	60.579	7.572	72.470	9.058	81.616	10.202
	9	42.960	4.773	53.115	5.901	62.906	6.989	75.253	8.361	84.751	9.416
	10	44.433	4.443	54.937	5.493	65.063	6.506	77.834	7.783	87.657	8.765
	12	47.102	3.925	58.237	4.853	68.972	5.747	82.510	6.875	92.924	7.743
	16	51.645	3.227	63.853	3.990	75.623	4.726	90.466	5.654	101.885	6.367
	20	55.467	2.773	68.579	3.428	81.220	4.061	97.162	4.858	109.426	5.471
	22	57.185	2.599	70.703	3.213	83.735	3.806	100.172	4.553	112.815	5.127
	24		58.8	2.45	72.7	3.029	86.1	3.587	103	4.291	116

Les graphes représentant les courbes des pluies à courte durée et les courbes Intensité-Durée-Fréquence pour notre station et à différentes fréquences sont données dans les figures (III- 22) et (III- 23).

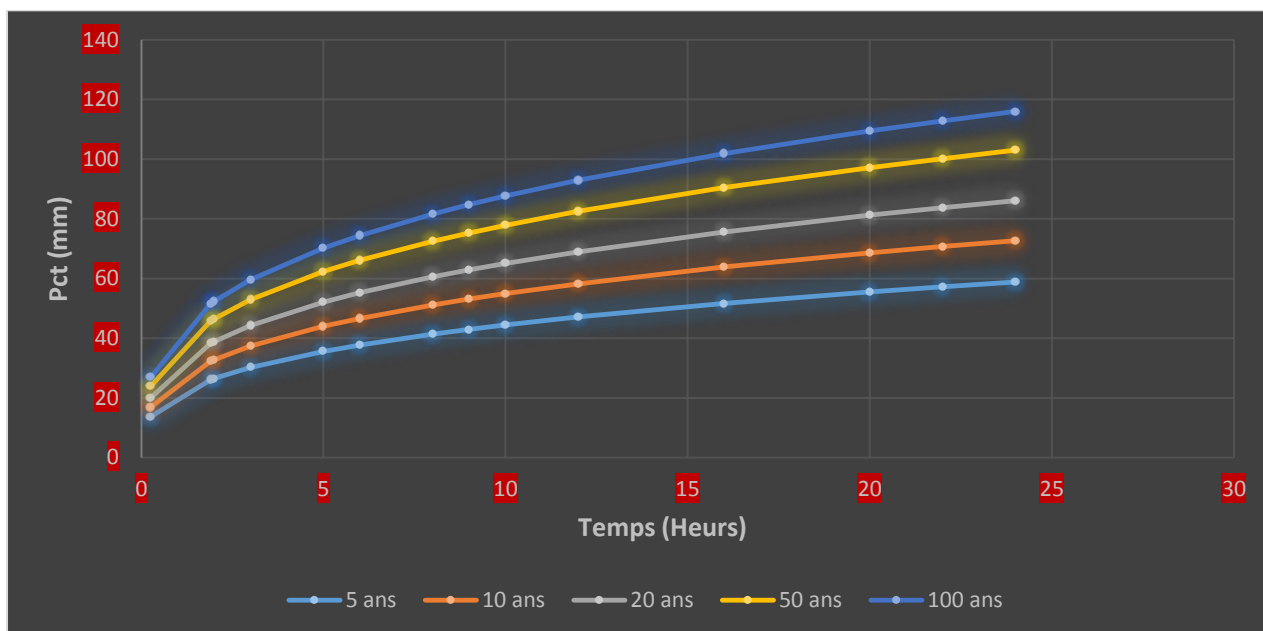


Figure III-9 : Courbe des pluies à courte durée à Tizi Nslib.

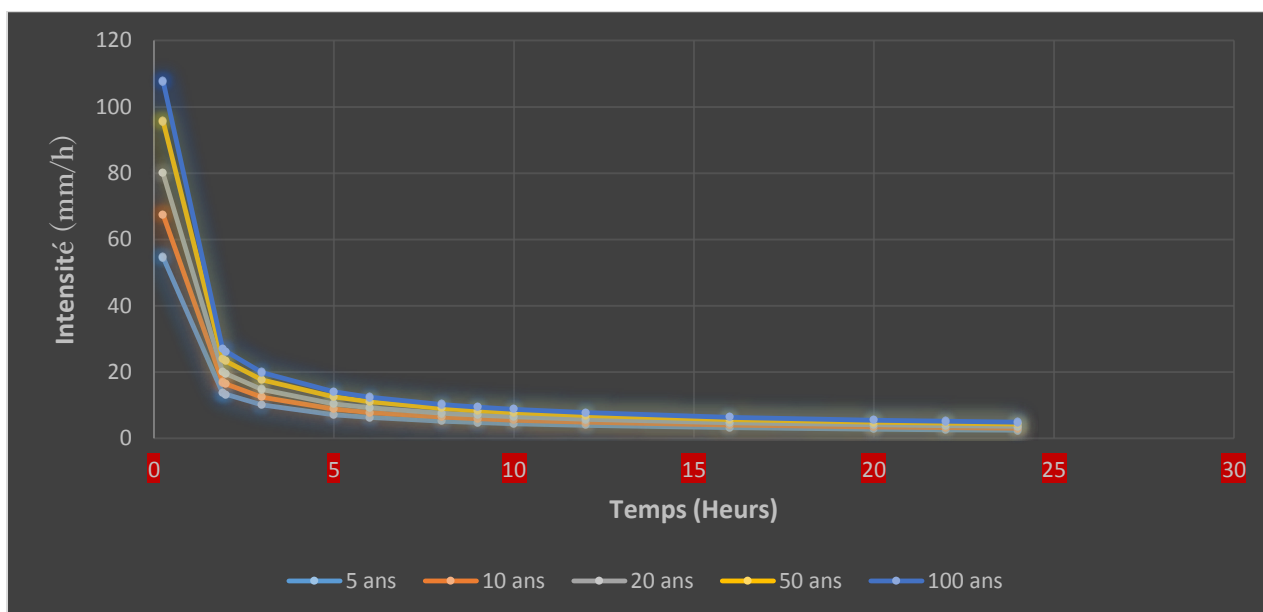


Figure III-10 : Courbe Intensité-Durée-Fréquence à Tizi Nslib.

Parmi les trois 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 Tizi Nslib, la pluie maximale journalière (figure III-9) correspondante au temps de concentration **1.91 h** et pour une période de récurrence de **100 ans**, est de **51.60 mm**, et l'intensité maximale (figure III-10) est de **27.02 mm/h**.

CHAPITRE IV

Etude des apports et de crue

IV.1. Introduction :

Le bassin versant de l'oued Beni Mlikech se caractérise aussi par une pluviosité assez irrégulière, tombant sous forme d'averses générant ainsi d'importantes crues.

Les orages sont fréquents généralement de Décembre à Janvier et accompagnés de pluies torrentielles. Ce qui nous mène à parler des inondations ravageuses de l'oued Beni Mlikech qui a été l'objet d'une crue régulière généralement au mois de Décembre.

IV.2 Etudes des apports : [9]

IV.2.1 Estimation de l'apport moyen annuel (A_0) :

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

$$Q = f(P-D) \dots\dots\dots (IV.1)$$

Avec :

Q : débit annuel d'écoulement (apport) ;

P : précipitation moyenne annuelle ;

D : déficit qui englobe toutes les pertes du bilan hydrologique.

Puisque les données hydrométriques ne sont pas disponibles au niveau de notre talweg principal, les apports seront estimés à l'aide des formules empiriques.

IV.2.1.1 Formule de DERI I :

On a:
$$A_0 = 0.915 \cdot P_{moy}^{2.684} \cdot S^{0.842} \dots\dots\dots (IV.2)$$

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle (529.11mm) ;

S : Superficie du bassin versant (Km²).

$$Le = \frac{A_0}{S} \dots\dots\dots (IV.3)$$

Le : lame d'eau écoulée (mm) ;

A_0 : apport moyen en (m³).

IV.2.1.2 Formule de TURC :

$$Le = P_{moy} - D \dots\dots\dots (IV.4)$$

$$D = \left[\frac{P_{moy}}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P_{moy}}{L}\right)^2}} \right] \dots\dots\dots (IV.5)$$

Avec :

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle (mm) ;

D : Déficit de l'écoulement (mm) ;

L : Variable théorique ; $L = 300 + 25 T_{moy} + 0.05 (T_{moy})^3 \dots\dots\dots (IV.6)$

T_{moy} : Température moyenne annuelle (17.7⁰).

IV.2.1.3 Formule de SAMIE :

$$Le = P^2 (293 - 2.2\sqrt{S}) \dots\dots\dots (IV.7)$$

$$A_0 = Le \cdot S$$

IV.2.1.4 Formule de CHAUMONT :

$$Le = (1 - 10^{-kP^2}) \quad \text{avec} \quad k = 0.18 - 0.01 \log S \dots\dots\dots (IV.8)$$

Avec :

L_e : lame d'eau écoulée (mm) ;

A_0 : apport moyen en (m³) ;

S : Superficie du bassin versant (km²) ;

P : précipitation moyenne en (mm).

IV.2.1.5 Formule d'ANRH:

On a: $A_0 = 0.513 \cdot P^{2.603} \cdot Dd^{0.5} \cdot S^{0.842}$ (IV.9)

P : Pluie moyenne annuelle (mm) ;

S : Superficie du bassin versant (Km²) ;

Dd : Densité de drainage (Km/Km²).

IV.2.2 Module de l'écoulement :

L'écoulement se caractérise par des modules et coefficients. Le module de l'écoulement est donné par cette formule :

$$Me = \frac{A_0}{T} \quad \dots\dots\dots (IV.10)$$

A_0 : Apport moyen annuel (l) ;

T : Temps d'une année en secondes ; $T = 31.536.107$ s

IV.2.3 Module de l'écoulement relatif :

On a: $q = \frac{Me}{S} \dots\dots\dots (IV.11)$

Me : Module de l'écoulement (l/s) ;

S : Superficie du bassin (Km²).

IV.2.4 Coefficient de l'écoulement :

Il est donné par : $C_e = \frac{Le}{P_{moy}}$ (IV.12)

IV.2.5 Coefficient de variation :

Pour le calcul du coefficient de variation C_v , et en absence d'une série d'observation, on doit utiliser les formules empiriques.

IV.2.5.1 Formule de SOKOLOVSKY :

$$C_v = 0.78 - 0.29 \log q - 0.063 \log (S + 1) \dots\dots\dots (IV.13)$$

Avec :

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

S : Superficie du bassin (Km²).

IV.2.5.2 Formule de GUIPROVODKHOZ :

$$C_v = \frac{0.7}{q^{0.125}} \dots\dots\dots (IV.14)$$

IV.2.5.3 Formule de L'ANTONOV :

$$C_v = 0.7 / (S + 1000)^{0.097} \dots\dots\dots (IV.15)$$

IV.2.5.4 Formule de KRISTEKLY MENKEL:

$$C_v = 0.83 / (S^{0.06} \cdot q^{0.27}) \dots\dots\dots (IV.16)$$

Tableau (IV.1) : Les apports fréquents du bassin Beni Mlikech.

Auteur	Le mm	A0 hm ³	q l/s/km ²	Cv
Deri I	10.7	3.5	3.418	0.52
Turc	39.7	1.29	1.261	0.67
Sami	78.5	2.54	2.489	0.35
Chaumont	52.9	1.71	1.677	0.51
ANRH	87.5	2.84	2.774	0.55

IV.3 Etude des crues :

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

Les crues sont des écoulements variables dans lesquelles les débits atteignent des valeurs importantes, et l'estimation de ces crues révèle une grande importance pour la sécurité de l'ouvrage à implanter. [1]

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

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

- **Méthodes empiriques** : Relation établie entre le débit et la surface du bassin versant, la pluie et la période de retour comme les formules de GAUTHIER, SOKOLOVSKY, GIANDOTTI et POSSENTI...etc.

Les paramètres définissant une crue sont :

1. Le débit maximum de la crue (débit de pointe).
2. Le volume de la crue.
3. Le temps de base.

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

V.3.1 Formules empiriques pour la détermination de la crue :

IV.3.1.1 Formule de MALLET-GAUTHIER :

On a:

$$Q_{max\ p\%} = 2K \log(1 + A \cdot P_{tc\%}) \cdot \frac{S}{\sqrt{L}} \sqrt{1 + 4 \log T - \log S} \dots\dots\dots (IV.17)$$

$Q_{max\ p\%}$: Débit maximum pour une fréquence donnée (m³/s) ;

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle (mm) ;

A : Apport liquide (hm³) ;

S : Superficie du bassin versant (Km²) ;

L : Longueur du talweg principal (Km) ;

K : Constante dépendant des caractéristiques du bassin : $K(1-3)$;

On prend: $K = 2$

$$A = 3.5 \text{ hm}^3$$

T : Période de retour (an).

Tableau (IV.2) : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de MALLET-GAUTHIER) station Tizi Nslib.

Bassin	Fréquence (%)	80	90	95	98	99
	Période de retour (an)	5	10	20	50	100
Bassin versant Beni Mlikech	Q_{max} (m ³ /s)	105.92	136.97	164.49	197.26	220.33

IV.3.1.2 Formule de SOKOLOVSKY

On a :

$$Q_{max p\%} = \frac{0.28.(Ptc-H_0).\alpha_{p\%}.F.S}{Tm} \dots\dots\dots (IV.18)$$

H_0 : pertes initiales en mm. $H_0 = 7$ mm ;

$\alpha_{p\%}$: coefficient de ruissellement de la crue probable pour une période donnée ;

$$\alpha_{p\%} = \frac{\sqrt{Ptc\%} \cdot \sqrt{H_0}}{\sqrt{Ptc\%} + \sqrt{H_0}}$$

F : Coefficient de forme de la crue ;

$$F = \frac{12}{4+3\gamma}$$

On prend : $\gamma = 2$ D'où : $F = 1.2$

S : Superficie du bassin (Km²) ;

$Tm = Tc$ (1.91 heures).

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 Tizi NSLIB.

Bassin	Fréquence (%)	80	90	95	98	99
	Période de retour (an)	5	10	20	50	100
Bassin versant Beni Mlikech	Ptc (mm)	26.16	32.34	38.30	45.82	51.60
	α %	0.318	0.364	0.401	0.437	0.461
	Q_{\max} (m ³ /s)	34.81	52.83	71.71	97.12	117.63

IV.3.1.3 Formule de POSSENTI :

On a :

$$Q_{\max p\%} = \frac{\mu \cdot P_{j\max\%} \cdot S}{L} \dots\dots\dots (IV.19)$$

$P_{j\max\%}$: Pluie maximale journalière correspondante à la période de retour donnée ;

μ : Coefficient compris entre 700 – 800 ; On prend $\mu = 700$.

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

S : Superficie (km²).

On obtient les résultats ci-après - tableau suivant :

Tableau (IV.5) : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour
(Formule de POSSENT) Station Tizi Nslib.

Bassin	Fréquence (%)	80	90	95	98	99
	Période de retour (an)	5	10	20	50	100
Bassin versant Beni Mlikech	Pjmax (mm)	58.8	72.7	86.1	103	116
	Q_{\max} (m ³ /s)	100.63	124.42	147.36	176.28	198.53

IV.3.1. 4. Formule Rationnelle (TURRAZA) :

On a :

$$Q_{max p\%} = \frac{C.It.S}{3.6} \dots\dots\dots (IV.20)$$

S : Superficie du bassin versant (Km²) ;

C : Coefficient de ruissellement en fonction de la probabilité donnée ;

It : Intensité des pluies pendant une durée égale au temps de concentration pour une fréquence donnée (mm/h).

Tableau (IV.6) : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de TURRAZA) Station Tizi Nslib.

Bassin	Fréquence (%)	80	90	95	98	99
	Période de retour (an)	5	10	20	50	100
Bassin versant Beni Mlikech	C	0.318	0.364	0.401	0.437	0.461
	I _t (mm/h)	13.696	16.934	20.055	23.992	27.020
	Q _{max} (m ³ /s)	39.30	55.74	72.54	94.77	112.51

IV.3.1.5 Formule de GIANDOTTI :

$$Q_{max p\%} = \frac{C.S.\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}{4.\sqrt{S} + 1.5L} . P_{tc}\% \dots\dots\dots (IV.21)$$

Q_{max} (%) : débit maximum de crue en m³/s de même fréquence que celle de la pluie de courte durée ;

C : Coefficient topographique varie entre 66 et 166 ; Nous prenons C = 160

S : superficie du bassin versant (km²) ;

L : longueur du talweg principal (km) ;

H_{moy}, H_{min} : altitudes moyennes et minimales en (m) ;

P_{tc} : pluies de courte durée (mm).

Tableau (IV-7) : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de GIANDOTTI)

Bassin	Fréquence (%)	80	90	95	98	99
	Période de retour (an)	5	10	20	50	100
Bassin versant Beni Mlikech	Pt (mm)	26.16	32.34	38.30	45.82	51.60
	Q _{max} (m ³ /s)	89.05	110.10	130.39	155.99	175.68

Les résultats de calcul de toutes les formules pour notre bassin versant sont représentés dans le Tableau (IV-18).

Tableau (IV-8) : Récapitulatif des résultats de débit de crue

Bassin	Périodes de retour	Formule					Moyenne
		Mallet-Gauthier	Sokolovsky	Possenti	Turraza	Giandotti	
Bassin versant Beni Mlikech	5	105.92	34.81	100.63	39.30	89.05	73.94
	10	136.97	52.83	124.42	55.74	110.10	96.01
	20	164.49	71.71	147.36	72.54	130.39	117.30
	50	197.26	97.12	176.28	94.77	155.99	144.28
	100	220.33	117.63	198.53	112.51	175.68	164.94

IV.3.2. Hydrogramme de crue :

C'est une courbe représente l'évolution des débits en fonction du temps pendant la crue, elle permet d'estimer quelques caractéristiques relatives à la crue telle que, la forme, le volume, le temps de montée et temps de base ; pour le tracé de l'hydrogramme, on utilise la méthode de SOKOLOVSKY. [6]

IV.3.2.1 Construction des hydro grammes des crues (SOKOLOVSKY) [1]

L'hydrogramme de crue est une identité de la crue, il nous donne les caractéristiques principales de la crue tel que :

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

L'hydro gramme de calcul des crues représente la variation des débits d'un cours d'eau en fonction du temps de montée, temps de décente et le temps de base.

La forme de l'hydro gramme de la crue est déterminée selon la méthode de SOKOLOVSKI qui assimile l'hydro gramme à deux équations paraboliques, (figure IV -1).

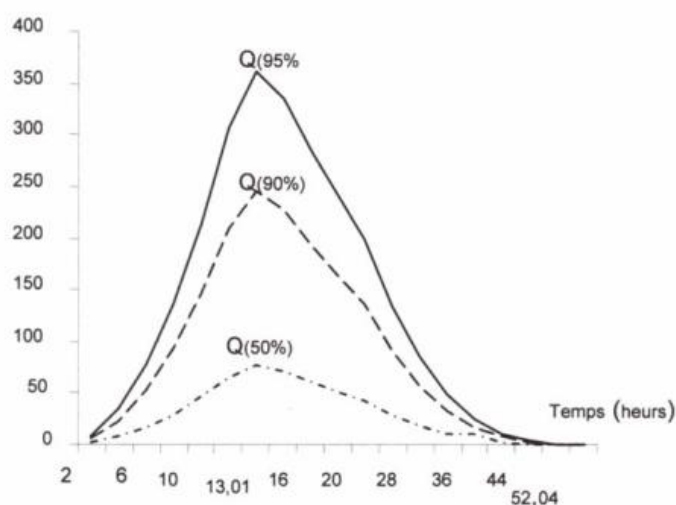


Figure IV-1 : Hydrogramme fréquentiels des différentes périodes de retour

a. Pour le temps de montée :

$$Q_{montée} = Q_{max} \left(\frac{T}{T_m} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (IV.22)$$

b. Pour la décrue :

$$Q_{décente} = Q_{max} \left(\frac{T_h - T}{T_d} \right)^3 \quad \dots\dots\dots (IV.23)$$

Avec :

Q_{max} p : Débit maximum de crue (de pointe) en m³/s ;

$Q_m(t)$: Débit instantané au moment de la montée en m³/s ;

$Q_d(t)$: Débit instantané au moment de la décente (décrue) en m³/s ;

$T_m = T_c$: Temps de montée (h) ;

T_m, T_d : temps de montée et de décrue (h) ;

$T_d = \delta T_m$ (Sokolovski);

$T_h = T_m + T_d$;

m, n : puissances des paraboles pour l'Algérie m=2 et n=3 ;

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

Tableau (IV-9) : Coefficient de forme de l'Hydrogramme de crue γ .

Condition	δ
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants dénudés et faiblement perméables.	2 à 2,5
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants brisés ou perméables, moyens cours d'eau avec terrasses de lit majeur normales.	3 à 4
Grands et moyens cours d'eau avec des terrasses de débordements étendues.	4 à 7

Tableau (IV-10) : Tableau récapitulatif des temps de concentration, de montée et de décrue.

Bassin	γ	Tc = Tm	Td	Th
Bassin versant Beni Mlikech	3	1.91	5.73	7.64

Pour construire l'hydrogramme de crue de notre bassin de l'oued Beni Mlikech, 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-2).

Tableau (IV-11) : Débit de crues pour différentes périodes de retour d'oued Beni Melikech.

T(h) /Année	5	10	20	50	100
0	0	0	0	0	0
0.5	2.386	3.620	4.914	6.655	8.061
1	9.544	14.483	19.658	26.623	32.245
1.5	21.474	32.588	44.231	59.903	72.553
1.91	34.818	52.837	71.716	97.126	117.635
2	33.203	50.386	68.389	92.621	112.179
2.3	28.181	42.766	58.046	78.613	95.213
2.6	23.693	35.955	48.802	66.094	80.051
2.9	19.709	29.909	40.596	54.980	66.590
3.2	16.199	24.582	33.365	45.188	54.729
3.5	13.132	19.928	27.049	36.633	44.368
3.8	10.479	15.902	21.584	29.232	35.405
4.1	8.210	12.459	16.910	22.902	27.738
4.4	6.294	9.552	12.965	17.559	21.267
4.7	4.703	7.137	9.687	13.119	15.889
5	3.405	5.167	7.013	9.499	11.505
5.3	2.371	3.598	4.884	6.614	8.011
5.6	1.571	2.384	3.236	4.382	5.308
5.9	0.974	1.479	2.008	2.719	3.294
6.2	0.552	0.838	1.138	1.541	1.867
6.5	0.274	0.416	0.564	0.764	0.926
6.8	0.109	0.166	0.225	0.305	0.370
7	0.048	0.073	0.099	0.135	0.163
7.64	0	0	0	0	0

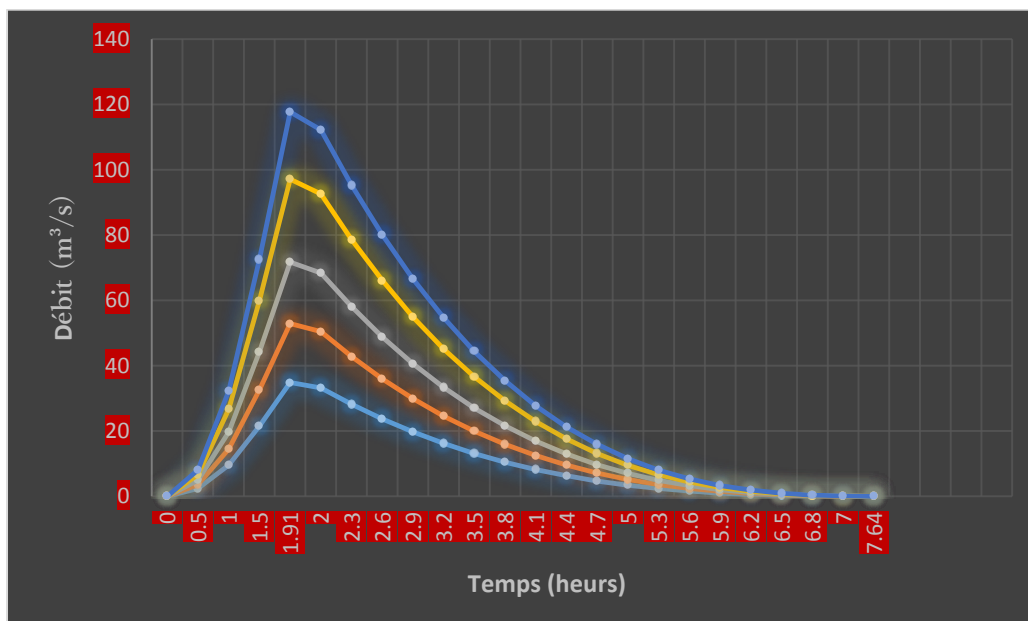


Figure IV-2 : Hydrogramme fréquentiels des différentes périodes de retour d'oued Beni Mlikech.

IV.4. Conclusion :

Les hydrogrammes des crues établis permettent de voir l'évolution des débits dans le temps ; et l'estimation des crues révèle une grande importance pour la sécurité de l'ouvrage à implanter.

Pour la détermination du débit de pointe probable de la crue des différentes périodes de retour, différentes formules empiriques ont été sélectionnées pour le calcul, par manque d'observation. Suite au calcul du débit des crues du bassin versant de l'oued Beni Mlikech,

On retient un débit de projet $Q_{(100)}$ de $117.635 \text{ m}^3/\text{s}$ au niveau de l'exutoire du bassin de l'oued Beni Mlikech. Une évaluation plus ou moins variée a permis de fixer les valeurs de débits qui traversant l'oued Beni Mlikech ont permis de dimensionner les ouvrages proposés pour se protéger contre les inondations affectant cette dernière.

CHAPITRE V



Etude Hydraulique sans Aménagement

Introduction:

L'étude hydraulique est réalisée dans le but de vérifier la section d'aménagement à adopter pour Oued Beni Mlikech en prenant des dimensions suffisantes pour évacuer la crue de projet calculées par l'étude hydrologique, elle se fait en deux phases principales :

- détermination du niveau des plus hautes eaux sans la présence de l'aménagement afin de déterminer l'influence directe de cette cote sur la cote à donner à l'aménagement.
- estimation de l'effet de l'aménagement sur l'écoulement, traité dans la deuxième partie.

V.1.Objectif et calcul hydraulique d'aménagement : [10]

- La restauration de cours d'eau est le premier enjeu du schéma de la direction d'aménagement et de gestion des eaux.
- Améliorer les conditions d'écoulement des eaux superficielles afin de protéger le voisinage du cours d'eau du risque d'inondation.
- Préserver l'espace urbain et améliorer l'hygiène publique.

V.2. Généralités sur les écoulements à surface libre :**V.2.1. Les canaux :**

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

V.2.2. Types de canaux :

On distingue deux catégories de canaux :

V.2.2.1. Les canaux naturels :

Les canaux naturels sont les cours d'eau qui existent naturellement sur ou sous terre, tels que les ruisselets, torrents, rivières et fleuves.

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

V.2.2.2. Les canaux artificiels :

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

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

V.2.3. Les paramètres géométriques : [12]

Les paramètres géométriques sont relatifs à une section du chenal dans un plan perpendiculaire à son axe, dont la position est définie par une abscisse (x). Les paramètres essentiels sont le tirant d'eau (y), la section mouillée (s), la largeur au miroir (L) ou largeur de la section mouillée, le périmètre mouillé (P), le rayon hydraulique (R), la pente de fond de canal et la pente de la ligne d'énergie. Ils sont définis sur le schéma de la figure suivante :

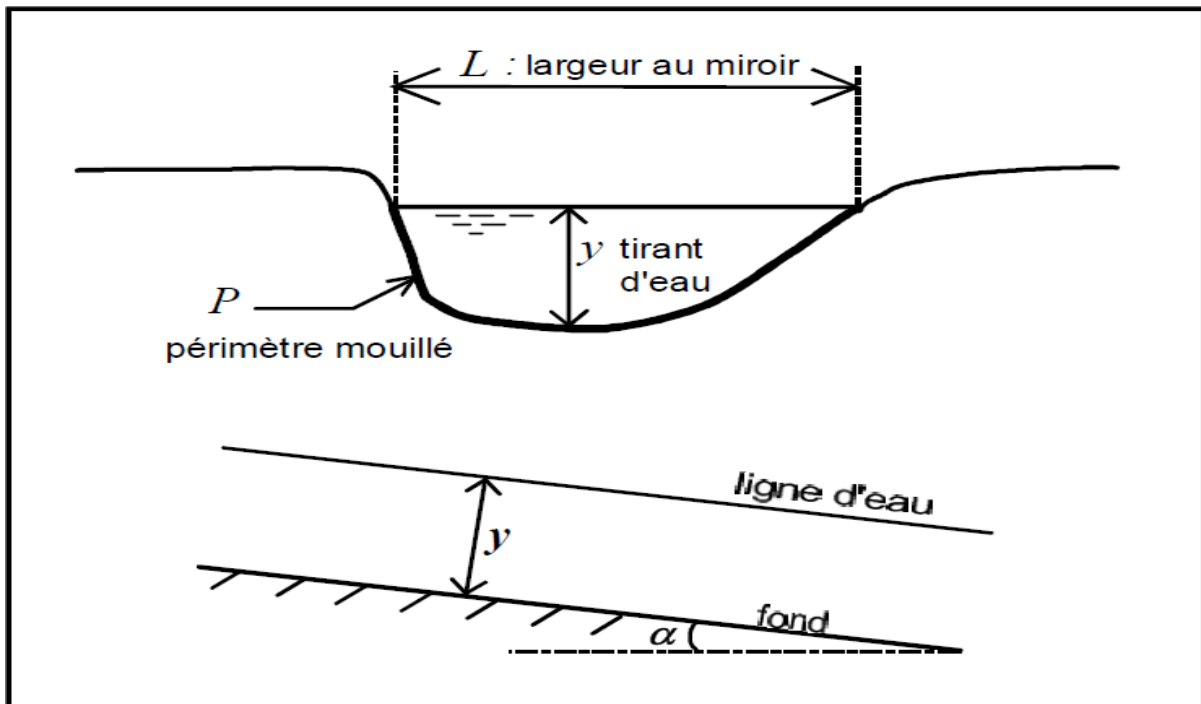


Figure V.1 : Les paramètres géométriques d'un canal.

V.2.4. Type D'écoulement dans les canaux :

Les écoulements dans les canaux naturels et artificiels sont des écoulements à surface libre. L'écoulement à surface libre est dû à la pente de fond du canal et non, comme pour les conduites, à la différence de charge entre deux sections.

Une classification des écoulements peut se faire selon la variation de la profondeur h en fonction du temps et de l'espace.

V.2.4.1. Variabilité dans le temps :

Le mouvement est permanent si les vitesses moyennes (v), et ponctuelles (u), ainsi que la profondeur (h), restent invariables dans le temps en grandeur et en direction. Par conséquent, le débit est constant : $Q = V \cdot S$ entre les diverses sections du canal sans apport latéral. Le mouvement est non permanent si la profondeur h , ainsi que les autres paramètres varient avec le temps. Par conséquent, le débit n'est pas constant.

V.2.4.2. Variabilité dans l'espace :

a) Le mouvement est uniforme si la profondeur h , ainsi que les autres paramètres, restent invariables dans les diverses sections du canal. La ligne de la pente de fond est donc parallèle à la ligne de la surface libre et l'on a $I = J$

b) Le mouvement est non uniforme ou varié si la profondeur h , ainsi que les autres paramètres, changent d'une section à l'autre. La pente de fond diffère alors de celle de la surface libre, $I \neq J$. L'écoulement non uniforme peut être permanent ou non permanent. Lorsque le mouvement est graduellement varié, la profondeur h est constante, ainsi que les autres paramètres, ne changent que très lentement d'une section à l'autre.

c) Lorsque le mouvement est rapidement varié, la profondeur $Dh(x)$, ainsi que les autres paramètres changent brusquement, parfois avec des discontinuités. Cela se manifeste en général au voisinage d'une singularité, telle qu'un déversoir, un rétrécissement, un ressaut hydraulique ou une chute brusque.

V.2.4.2.1. Régime D'écoulement :

L'écoulement d'un fluide réel dans un canal à surface libre est le siège des forces suivantes :

- Forces de gravité.
- Forces de frottement (viscosité et rugosité).
- Forces de pression.

V.3. Dimensionnement des canaux :

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

V.3.1. Formule de MANNING-STRICKLER :

C'est une formule expérimentale simple :

$$Q = K_s \cdot S \cdot R^{2/3} \sqrt{I} \quad \dots\dots\dots(V.3)$$

S : Section mouillée

I : Pente de la canalisation

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

Ks : 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 (Strickler) (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

La valeur coefficient de Manning Strickler en fonction de la nature des Parois retenue est égale à 30.

V.4. Calcul des paramètres géométriques : [13]

V.4.1. DIAMÈTRE HYDRAULIQUE :

Le diamètre hydraulique D_h et le rayon hydraulique R_h 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.

$$D_h = \frac{4.S}{P} \dots\dots\dots(V.4)$$

Où S est l'aire de la section de passage du tube et P est le périmètre mouillé de cette section.

Par exemple, pour un tube de section circulaire de diamètre D, on retrouve :

$$D_h = \frac{4 \frac{\pi D^2}{4}}{\pi D} = D$$

Pour un tube de section carrée de côté a, on obtient :

$$D_h = \frac{4 a^2}{4 a} = a$$

V.4.2. 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)

$$R_h = \frac{S}{P} \dots\dots\dots(V.5)$$

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

Pour une section circulaire (typiquement : une conduite en charge), le rayon hydraulique R_h vaut la moitié du rayon géométrique r :

$$R_h = \frac{\pi r^2}{2\pi r} = \frac{r}{2}$$

V.4.3. HAUTEUR CRITIQUE :

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.

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

Cas forme rectangulaire :

$$H_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g b^2}} \dots\dots\dots (V.6)$$

Avec :

B : petite base en m ;

Q : le débit en m³/s.

V.4.4. GÉOMÉTRIE DES CANAUX

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

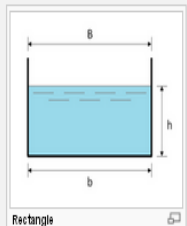
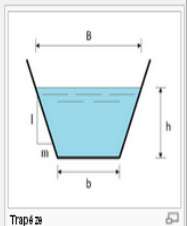
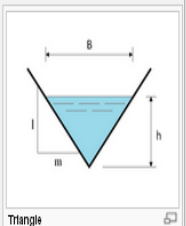
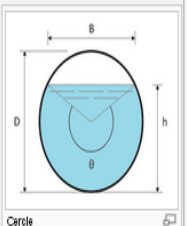
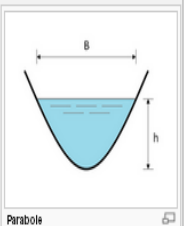
					
Largeur, B	b	$b + 2 \times mh$	$2 \times mh$	$(\sin \frac{\theta}{2}) \cdot D$ ou $2\sqrt{h \cdot (D - h)}$	$\frac{3S}{2h}$
Surface, S	$b \times h$	$(b + mh) \cdot h$	$m \times h^2$	$\frac{1}{8}(\theta - \sin \theta) \cdot D^2$	$\frac{2}{3}Bh$
Périmètre mouillé, P	$b + 2h$	$b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2}$	$2h \cdot \sqrt{1 + m^2}$	$\frac{1}{2} \theta \cdot D$	$B + \frac{8h^2}{3B}$
Rayon hydraulique, R_h	$\frac{bh}{b + 2h}$	$\frac{(b + mh) \cdot h}{b + 2h \cdot \sqrt{1 + m^2}}$	$\frac{mh}{2 \cdot \sqrt{1 + m^2}}$	$\frac{1}{4} \left[1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right] D$	$\frac{2B^2h}{3B^2 + 8h^2}$
Profondeur hydraulique, D_h	h	$\frac{(b + mh)h}{b + 2 \times mh}$	$\frac{1}{2}h$	$\left[\frac{\theta - \sin \theta}{\sin \frac{\theta}{2}} \right] \frac{D}{8}$	$\frac{2}{3}h$

Figure V.2 : éléments géométriques pour cinq différents types de section.

V.5.VERIFICATION DE L'ÉCOULEMENT SOUS PONTS :

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

Période de Retour	100	50	20	10	5
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)	0.79	0.75	0.69	0.64	0.57
Largeur du radier (m)	30	30	30	30	30
Le débit d'écoulement (m³/s)	112.51	94.77	72.54	55.74	39.30
La section (m²)	23.7	22.5	20.7	19.2	17.1
Périmètre mouillé (m)	31.58	31.5	31.38	31.28	31.14
Rayon Hydraulique (m)	0.75	0.71	0.66	0.61	0.55
La hauteur critique (m)	1.13	1.00	0.84	0.71	0.56
La pente critique (m/m)	0.00211	0.00217	0.00228	0.00239	0.00255
La vitesse d'écoulement (m/s)	4.75	4.21	3.50	2.90	2.30
Perte de charge (m)	1.15	0.90	0.63	0.43	0.27
L'énergie spécifique (m)	1.69	1.51	1.26	1.06	0.84
Le nombre de Froude	1.71	1.55	1.35	1.16	0.97
Le type d'écoulement	Torrentiel	Torrentiel	Torrentiel	Torrentiel	Fluvial

V.6. Modélisation :

V.6.1. Introduction : [11]

Dans ce chapitre nous utiliserons le modèle de simulation **HEC-RAS**, qui est un logiciel hydraulique de simulation des écoulements à surface libre.

Il nous permet de connaître le comportement de l'écoulement et de déterminer comment les différentes crues se manifestent dans le cours d'eau ainsi que localiser les zones où il y a des débordements ensuite calculer la hauteur de l'ouvrage d'aménagement.

V.6.2. Choix du type de modèle hydraulique :

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

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

V.6.3. Présentation du logiciel HEC RAS

Le modèle HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center River Analysis System) est un modèle unidimensionnel développé par l'US Corps of Engineers (version 5.0.7). Il permet de faire des simulations en régime permanent et transitoire d'une rivière en prenant en compte les effets de ponts et des seuils.

Il consiste en général à déterminer la hauteur d'eau dans la rivière à chaque débit entrant et aussi quelque variable caractéristique d'un écoulement fluvial, comme la charge et la vitesse de l'eau.

Un modèle hydraulique HEC-RAS contient dans sa géométrie des profils en travers des rivières et des 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. Ce logiciel est capable de modéliser des ouvrages hydrauliques tels que les ponceaux, les déversoirs, les digues, les évacuateurs de crue et les ponts qui se trouvent dans un tronçon du cours d'eau. Il permet de réaliser des sections

transversales avec un coefficient de Manning variable, de différencier les zones actives et non actives dans un canal et de créer des sections transversales interpolées.

V.6.4. 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.

V.6.5. Équations de base entre deux sections :

Les profils de la surface de l'eau sont calculés entre deux sections comme il est montré à la figure (V.3) en résolvant l'équation d'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 d'énergie est écrite comme suit :

$$H_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = H_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + \Delta_H \quad \dots\dots\dots(V.7)$$

Où :

H_1, H_2 : profondeur de l'eau au niveau des sections ;

Z_1, Z_2 : côte du canal principal ;

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

α_1, α_2 : coefficients de pondération de vitesse ;

g : accélération de la gravité ;

Δ_H : perte d'énergie principale (perte de charge).

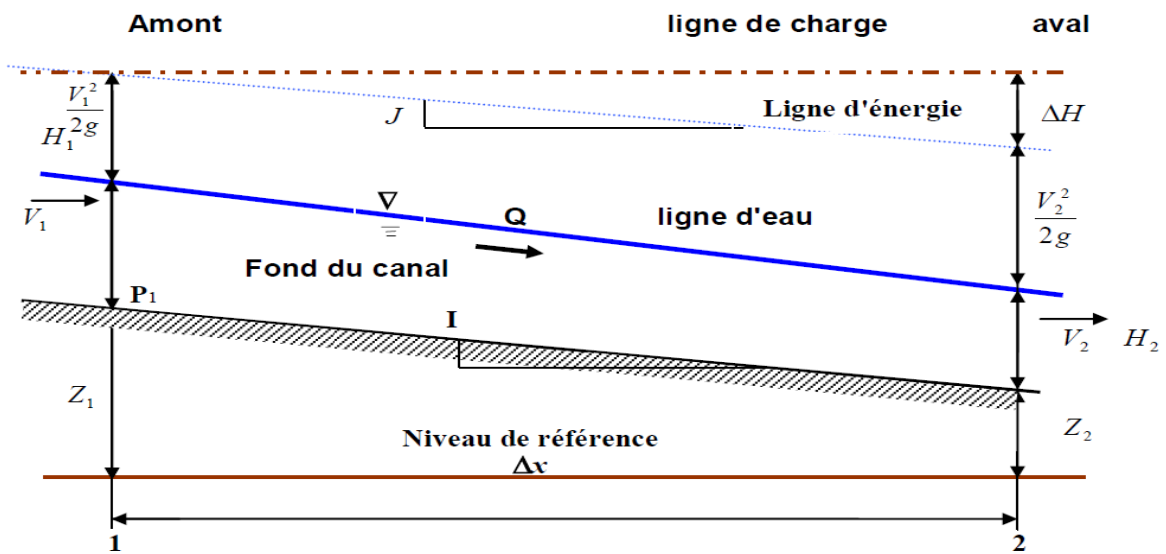


Figure V.3 : Conservation de la charge entre deux sections.

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

$$\Delta H = L_I + C \left| \frac{\alpha_1 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \dots\dots\dots(V.8)$$

Où :

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

V.6.6. Subdivision d'une section en travers pour le calcul du débit :

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) comme le montre la figure (V.4). Le flux est calculé dans chaque subdivision sous la forme suivante en fonction de n (Equation de Manning) :

$$Q = KI^{1/2}$$

Avec :

$$K = \frac{1}{n} SR_H^{2/3}$$

Où :

K : flux pour la subdivision

n : coefficient de rugosité de Manning pour une subdivision

S : surface d'écoulement pour une subdivision

R_h : rayon hydraulique pour une subdivision (surface/périmètre mouillé)

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)

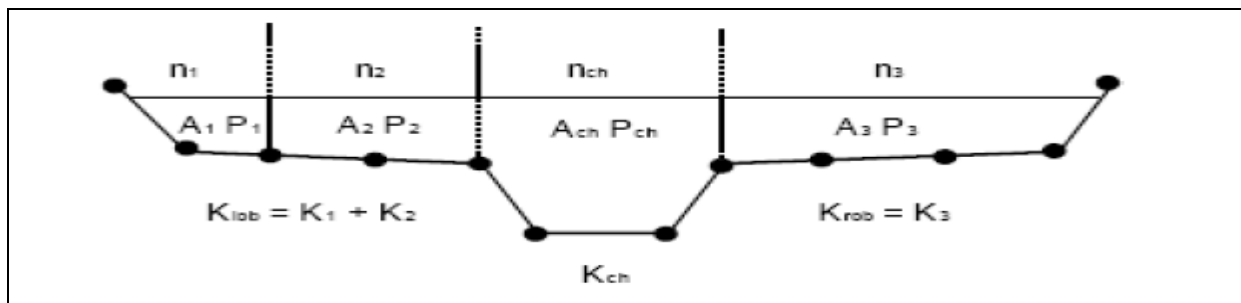


Figure V.4 : Méthode de subdivision du débit par le modèle HEC-RAS.

V.6.7. Banque de données nécessaires à l'application du modèle HEC-RAS :

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

Les données géométriques relatives à chaque section :

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

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

V.7. Application du modèle HEC-RAS :

V.7.1. A l'état Naturel :

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

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

V.7.2. 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.

Le maillage du cours d'eau est réalisé à l'aide de logiciel AUTO-CAD CIVIL 3D, Le tronçon du cours d'eau est illustré dans la figure suivante :

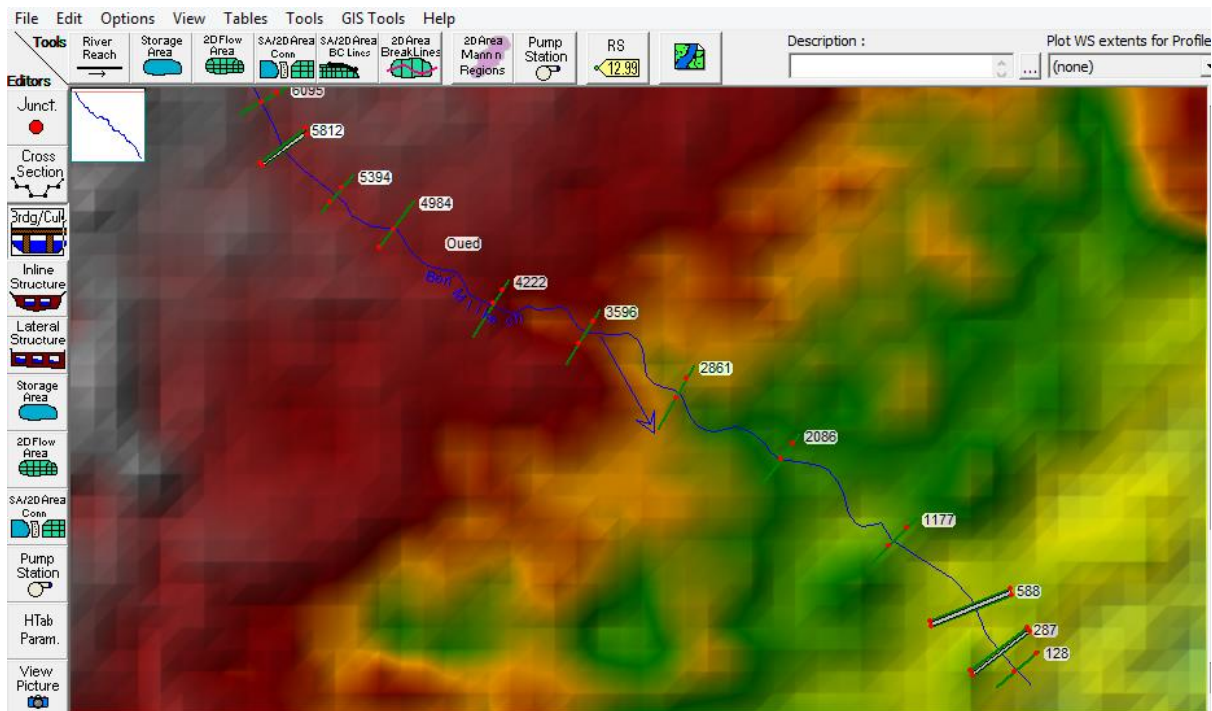


Figure V.5 : Modèle géométrique du cours d'eau.

V.7.3. Le choix des valeurs de rugosité de Manning :

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

Tableau (V.3) : Les valeurs de la rugosité du cours d'eau.

<i>Berge droite</i>	<i>Lit mineur</i>	<i>Berge gauche</i>
Rivière de plaine, large, végétation peu dense	Rivière de plaine, large	Rivière de plaine, large, végétation peu dense
0.033	0.017	0.033

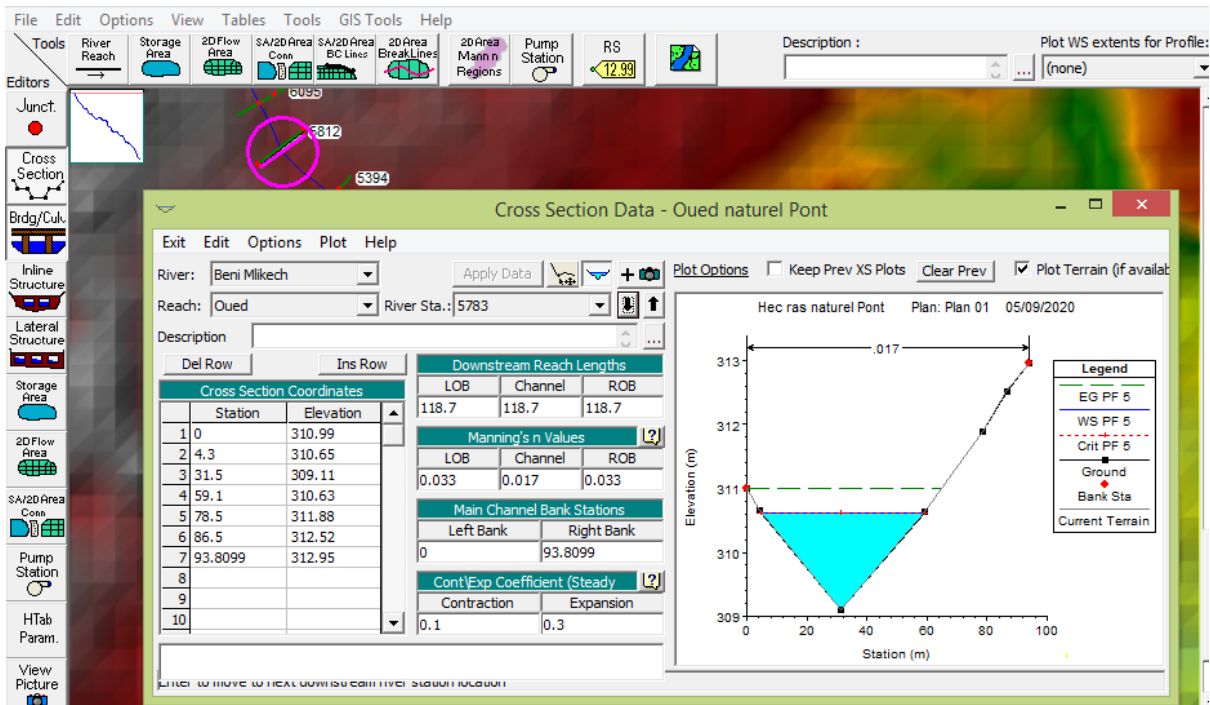


Figure V.6 : Illustration d'un profil en travers.

V.7.4. Modélisation de l'écoulement :

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

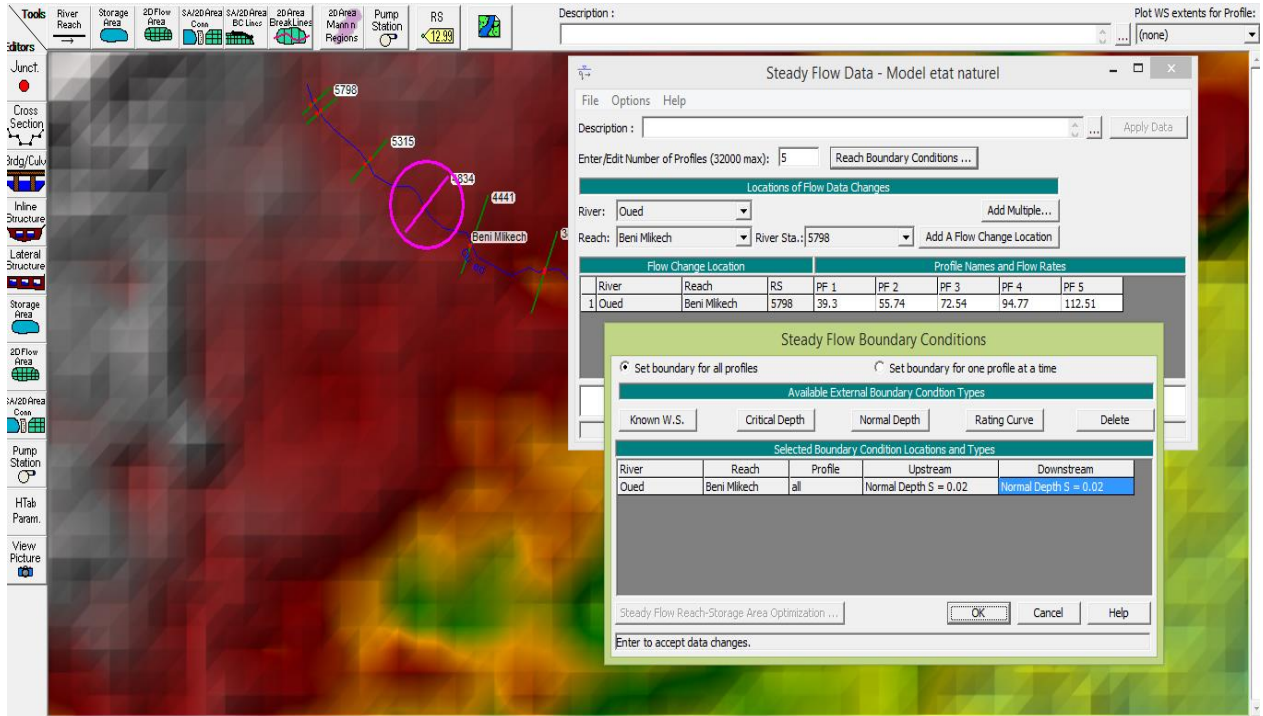


Figure V.7 : Présentation des conditions aux limites.

V.7.5. Simulation hydraulique :

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

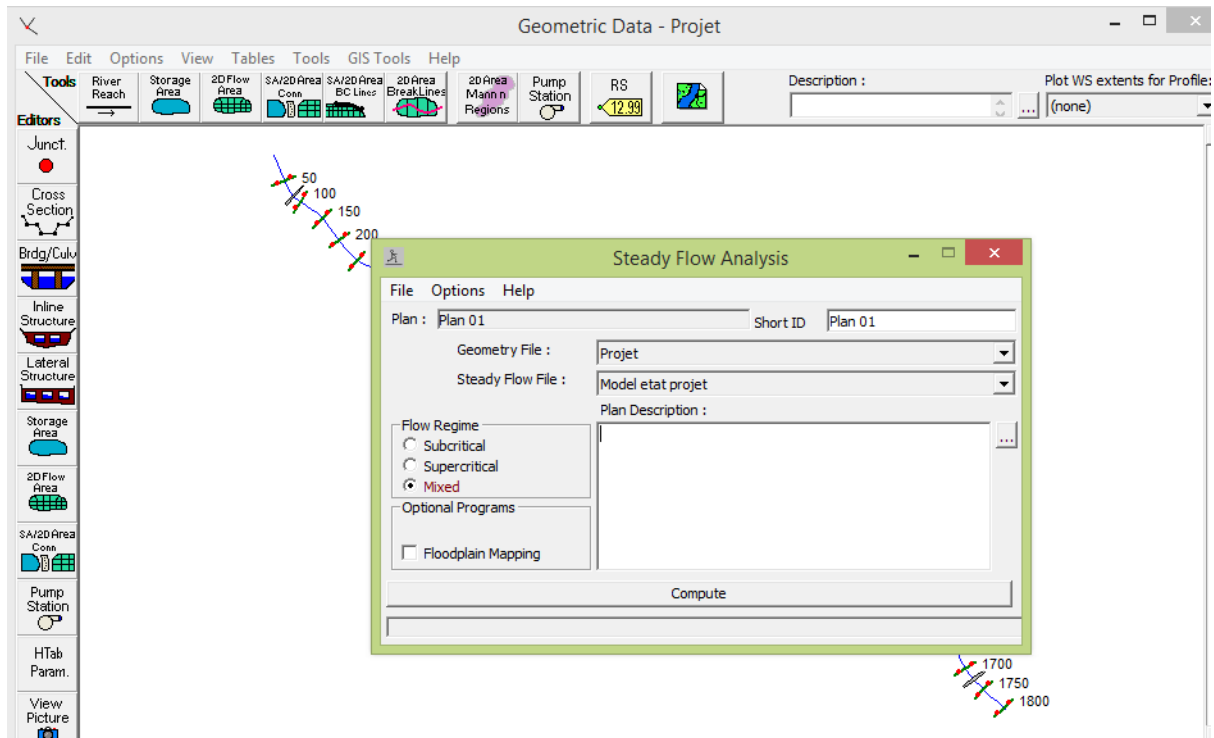


Figure V.8 : Fenêtres de simulation pour le régime permanent.

V.7.6. Résultats de la simulation :

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

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

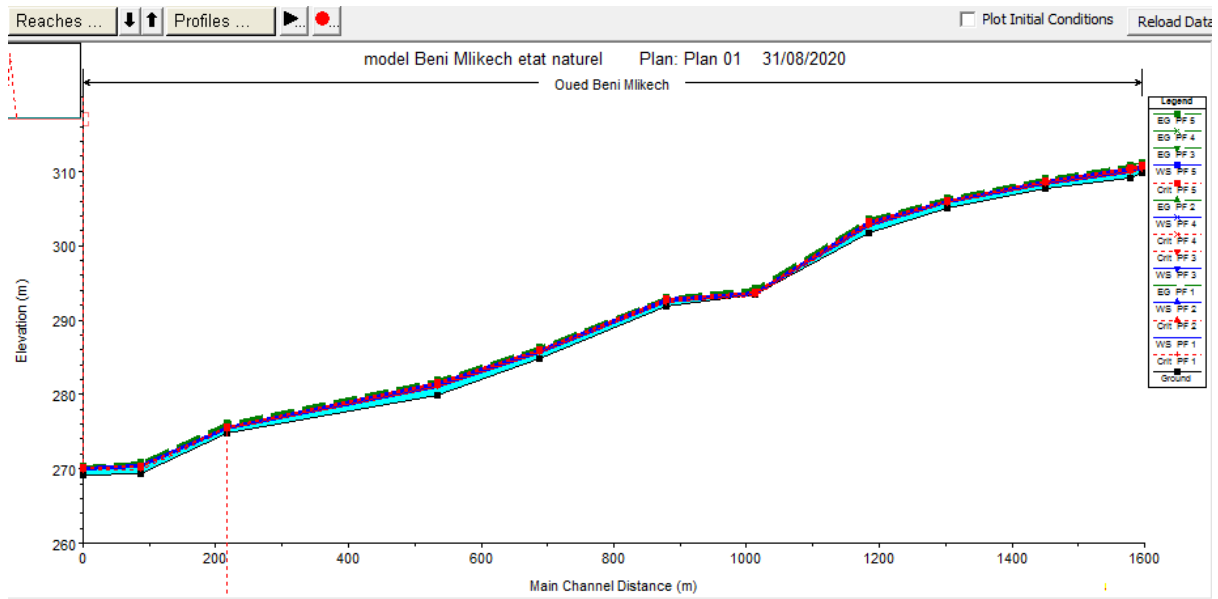


Figure V.9 : Profil en long du cours d'eau à l'état naturel.

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

River sta	Q	Min ch	W.S Elev	Crit w.s	E.G Elev	E.G Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	H Eau	Froude
	m ³ /s	m	m	m	m	m/m	m/s	m ²	m	m	/
6095	117.64	313.7	314.77	314.7	315.21	0.002634	3.09	45.59	58.57	2.02	0.97
5812	117.64	309.4	311.76	310.6	311.82	0.000221	1.07	104.84	76.5	1.37	0.29
5783	117.64	309.1	310.63	310.6	311.01	0.003125	2.73	41.19	54.32	0.76	1
5394	117.64	307.8	308.81	308.8	309.19	0.002855	3	49.59	69.07	1.95	0.99
4984	117.64	306.2	307.25	307.2	307.66	0.002705	2.9	43.93	62	1.66	0.96
4222	117.64	297.0	298.35	298.3	298.86	0.002688	3.3	39.68	41.84	2.26	0.99
3596	117.64	293.5	294.56	294.5	294.96	0.002928	2.84	43.13	61.01	1.38	0.99
2861	117.64	285.5	286.56	286.5	286.91	0.002568	2.79	53.28	82.85	1.72	0.94
2086	117.64	278.5	279.72	279.7	280.18	0.0028	3.09	42.29	51.83	1.9	0.99
1177	117.64	275.5	276.48	276.4	276.87	0.002901	2.85	45.02	62.75	1.66	0.99
588	117.64	269.1	271.23	270.2	271.25	0.000094	0.63	177.43	150.28	1.18	0.19
553	117.64	268.9	271.2	270.4	271.22	0.000067	0.57	196.8	150.66	1.31	0.16
287	117.64	269.9	271.11	270.6	271.2	0.000542	1.35	83.65	85.46	0.98	0.43
257	117.64	269.7	270.56	270.5	270.85	0.003432	2.39	46.99	81.12	0.58	1

128	117.64	267.1	268.01	268.0	268.38	0.003009	2.77	44.29	63.31	1.57	0.99
-----	--------	-------	--------	-------	--------	----------	------	-------	-------	------	------

River sta : Station

Q (m^3/s) : Débit

Min ch (m) : Cote minimale de la section

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

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

E.G Elev (m) : Cote d'énergie

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

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

Flow Area (m^2) : Surface hydraulique de la section (surface mouillée)

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

Froude : Nombre de Froude

Remarque :

Pour la crue centennale, la vitesse d'écoulement moyenne est de 3.84 m/s la pente est non uniforme, la surface mouillée moyenne pour les sections en travers est de 52.13 m².

La visualisation en 3D du tronçon sur HEC RAS nous montre que l'eau déborde presque toute au long de sa longueur, les résultats sont illustrés dans la figure suivante :

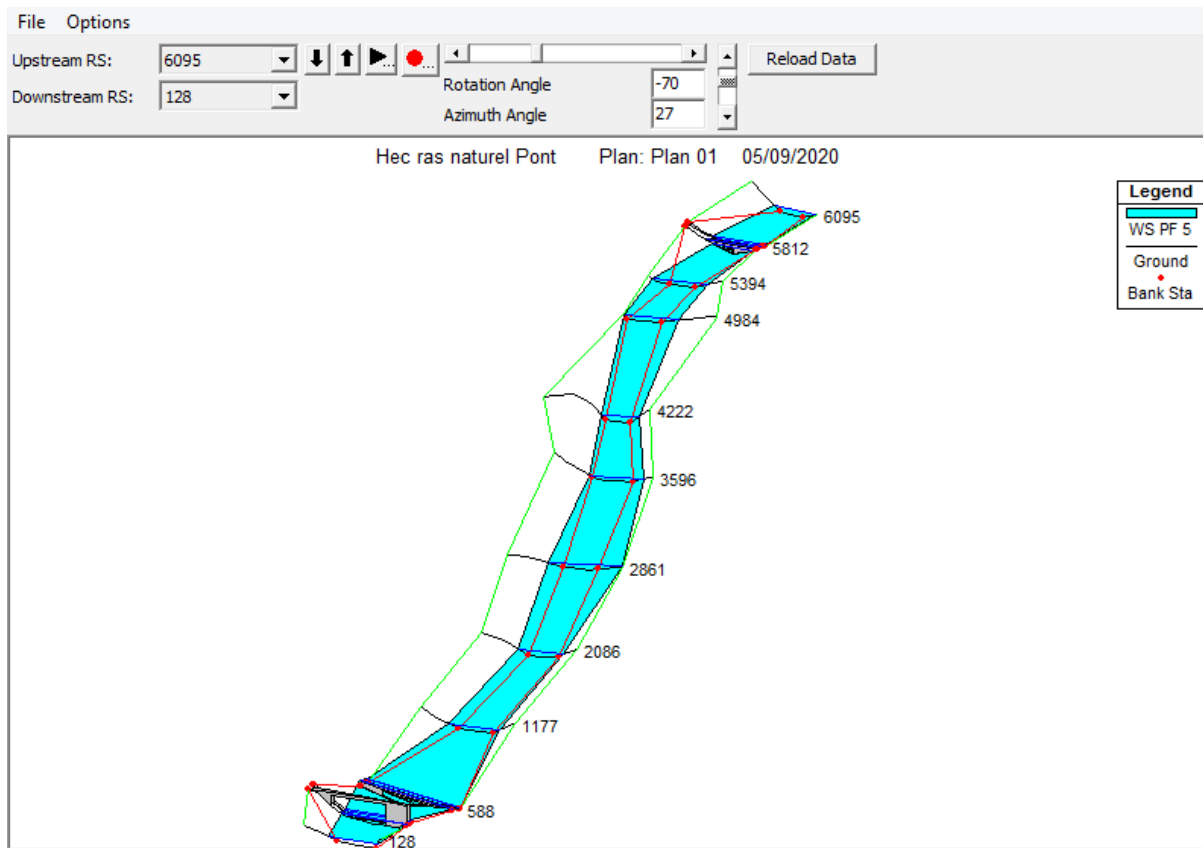
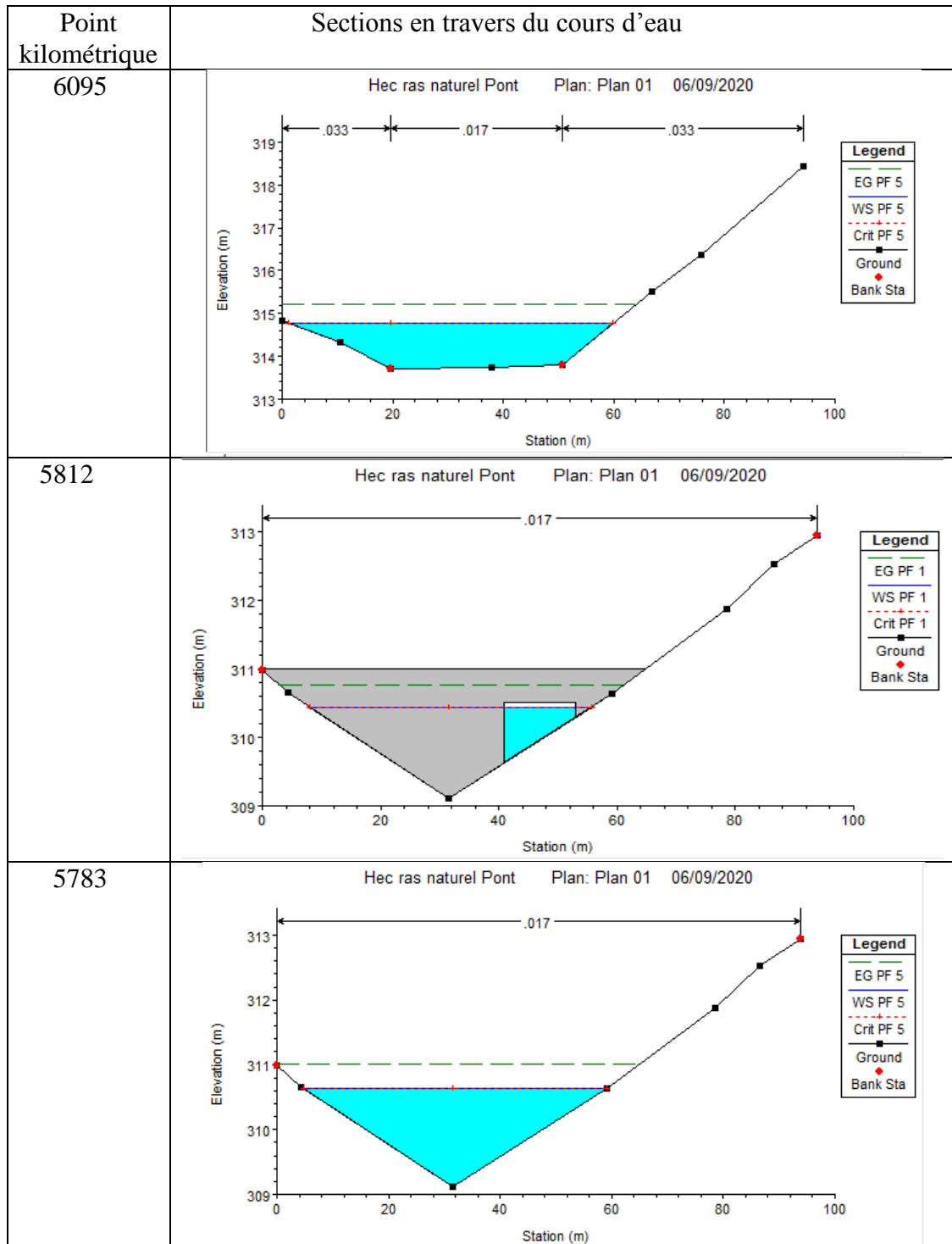
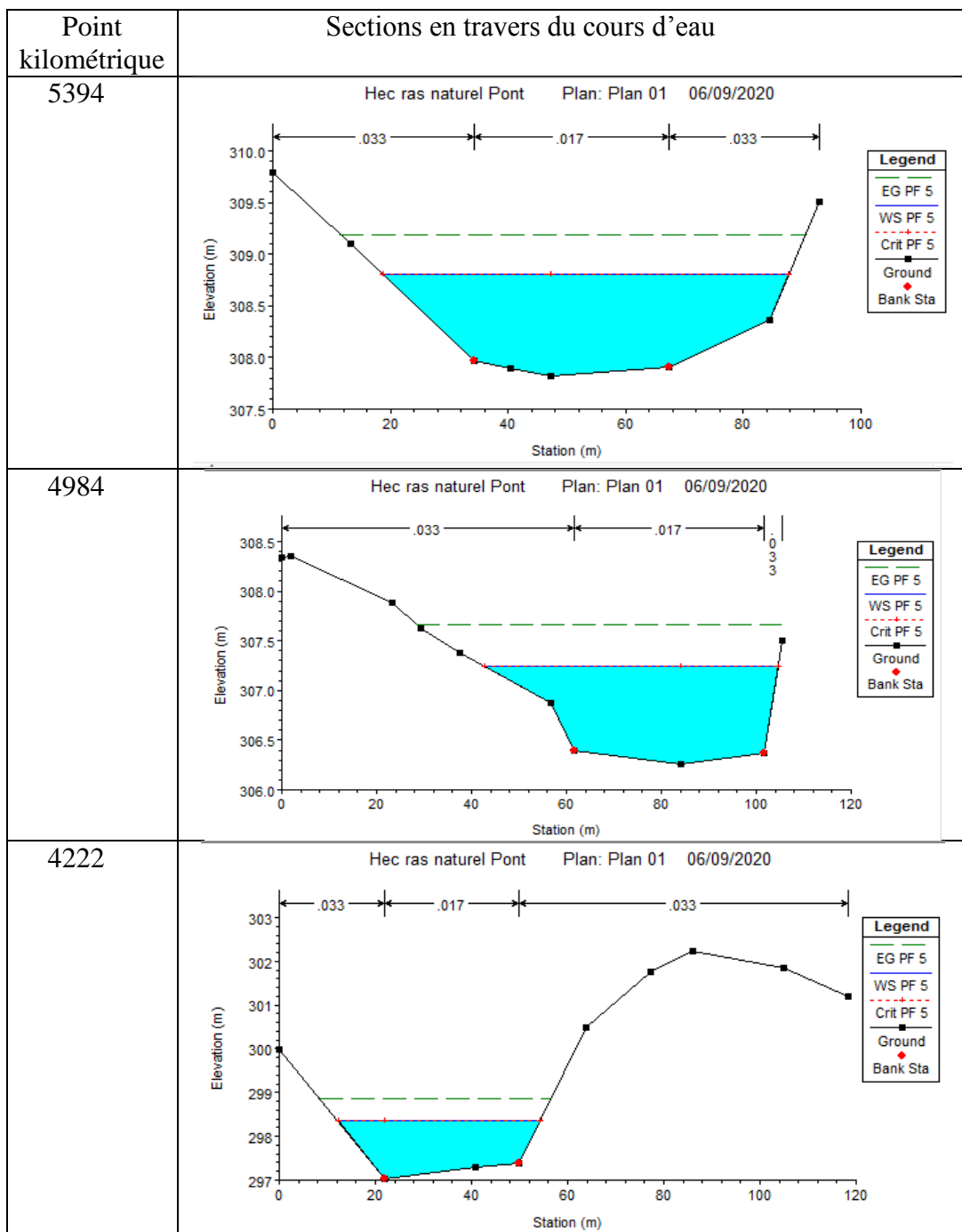


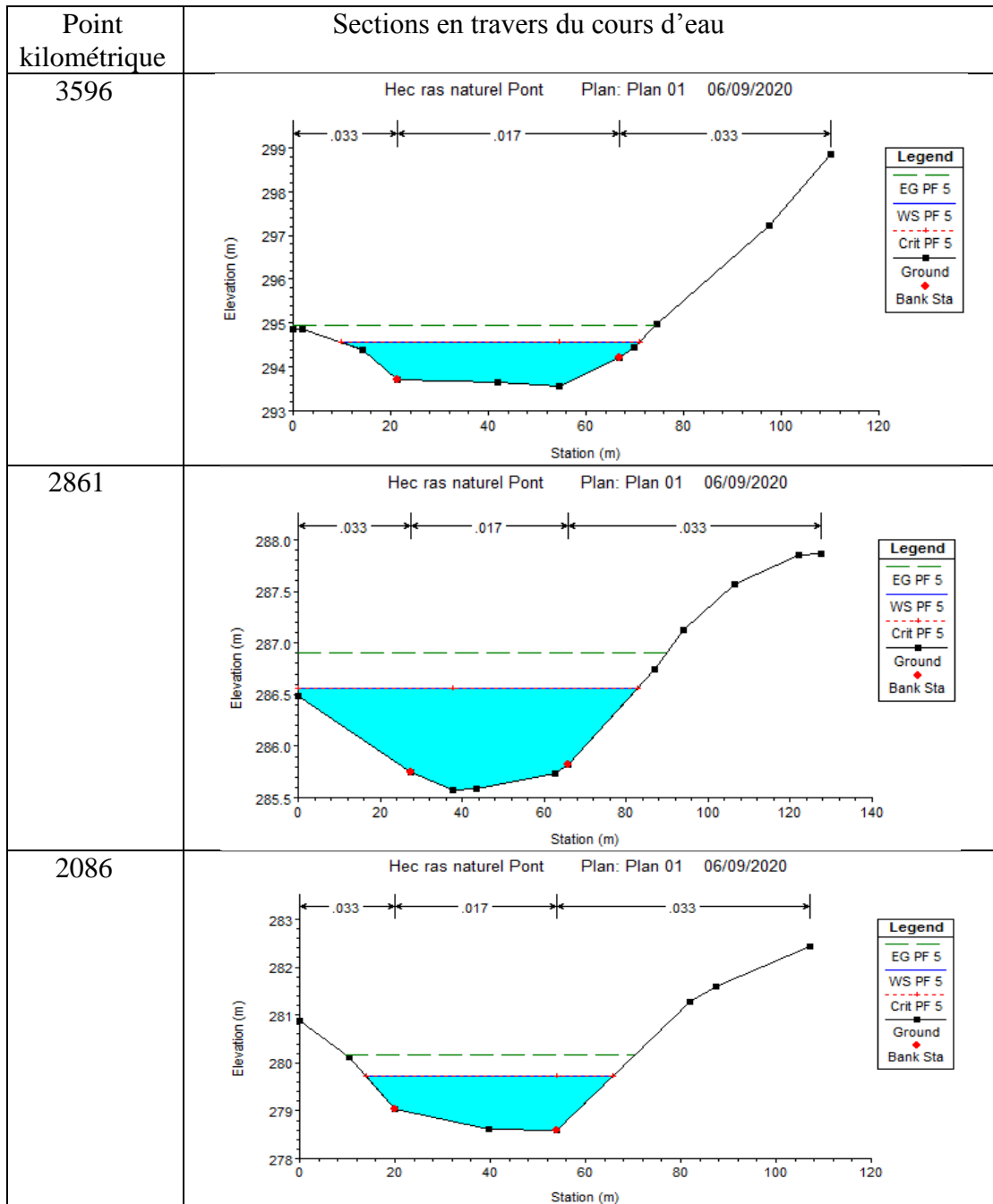
Figure V.10 : Visualisation en 3D de l'oued Beni Mlikech-tronçon (6095-128).

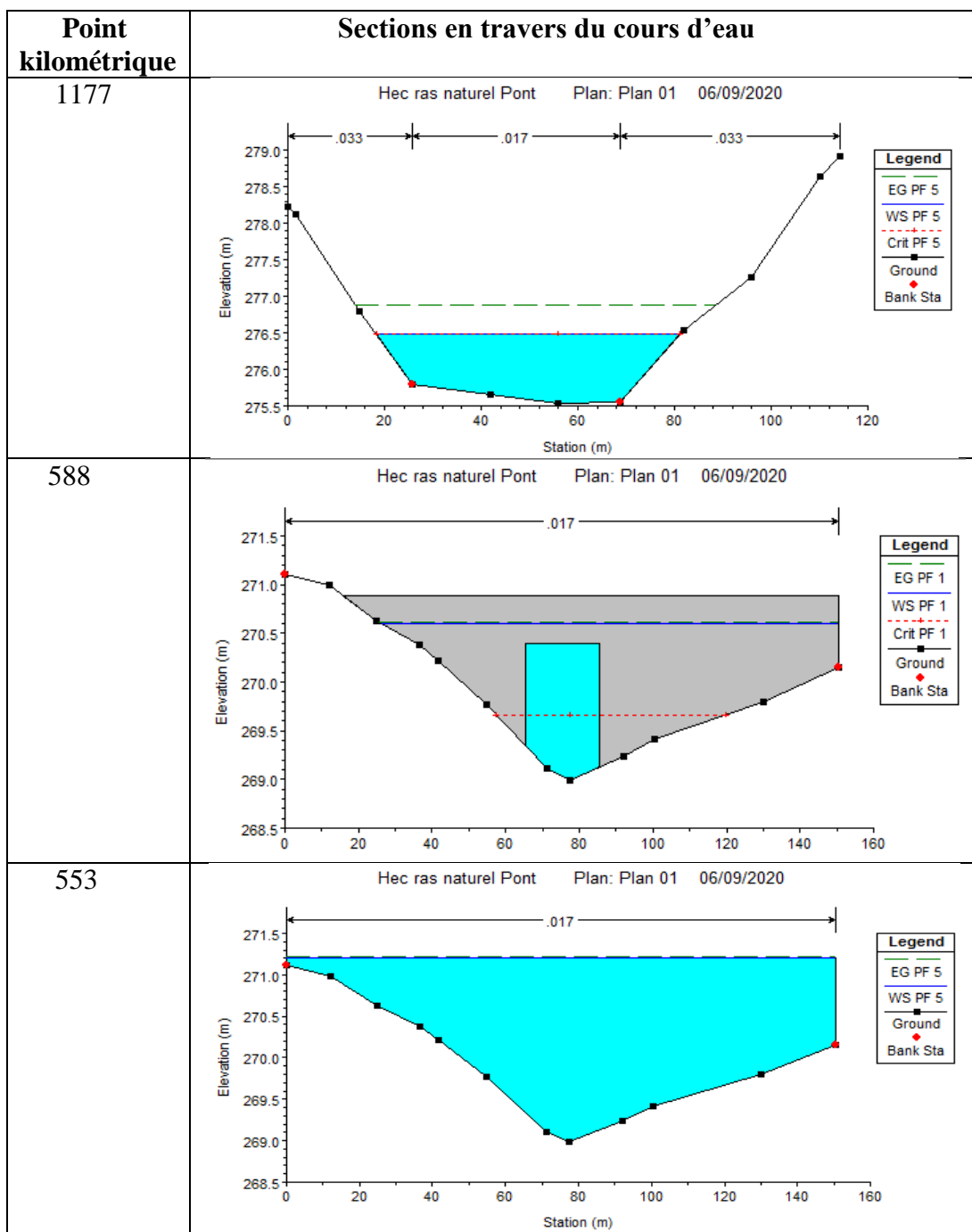
V.7.7. Analyse :

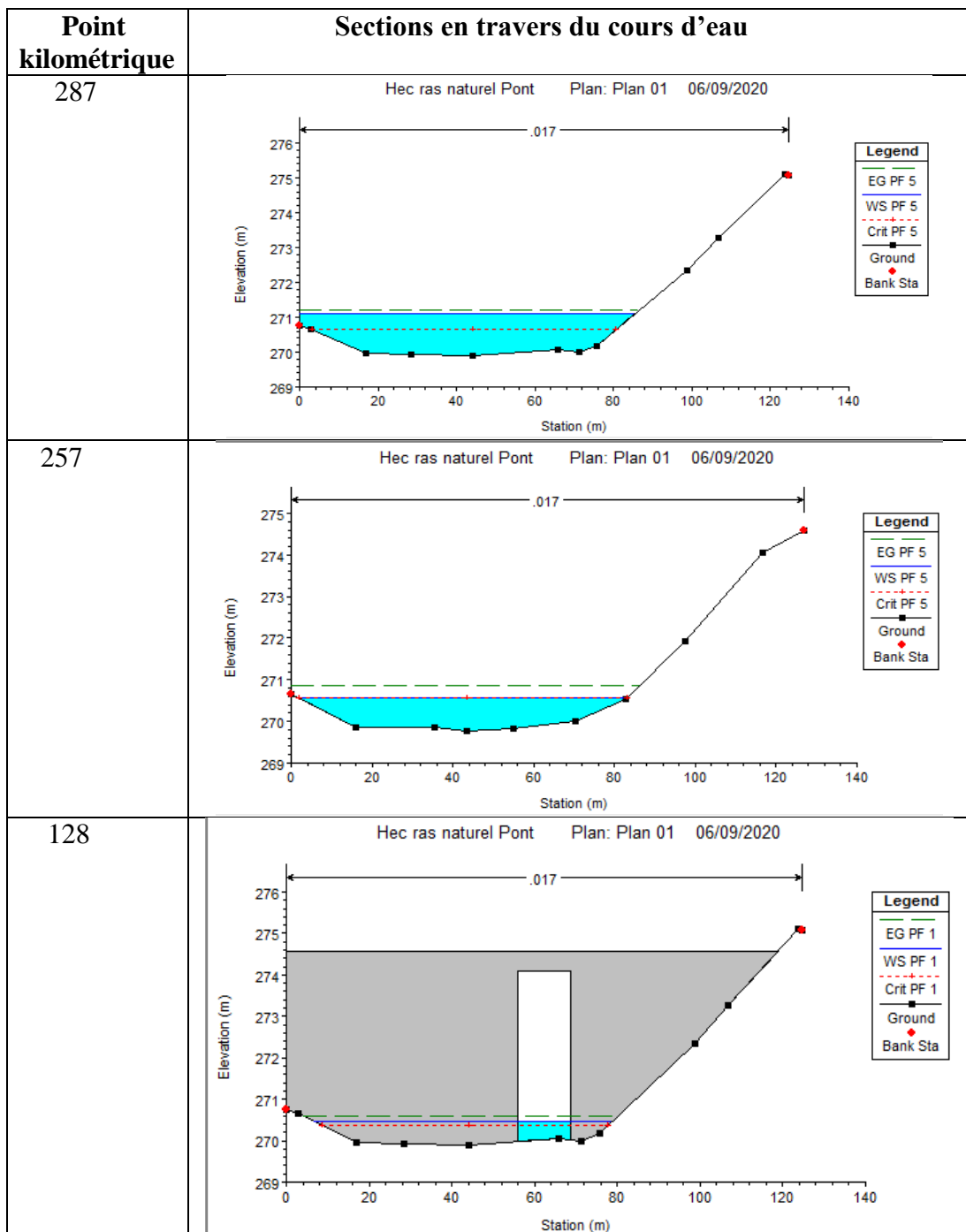
Pour la crue centennale de débit $117.64 \text{ m}^3/\text{s}$.











V.7.8. Délimitation des zones inondables :

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

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

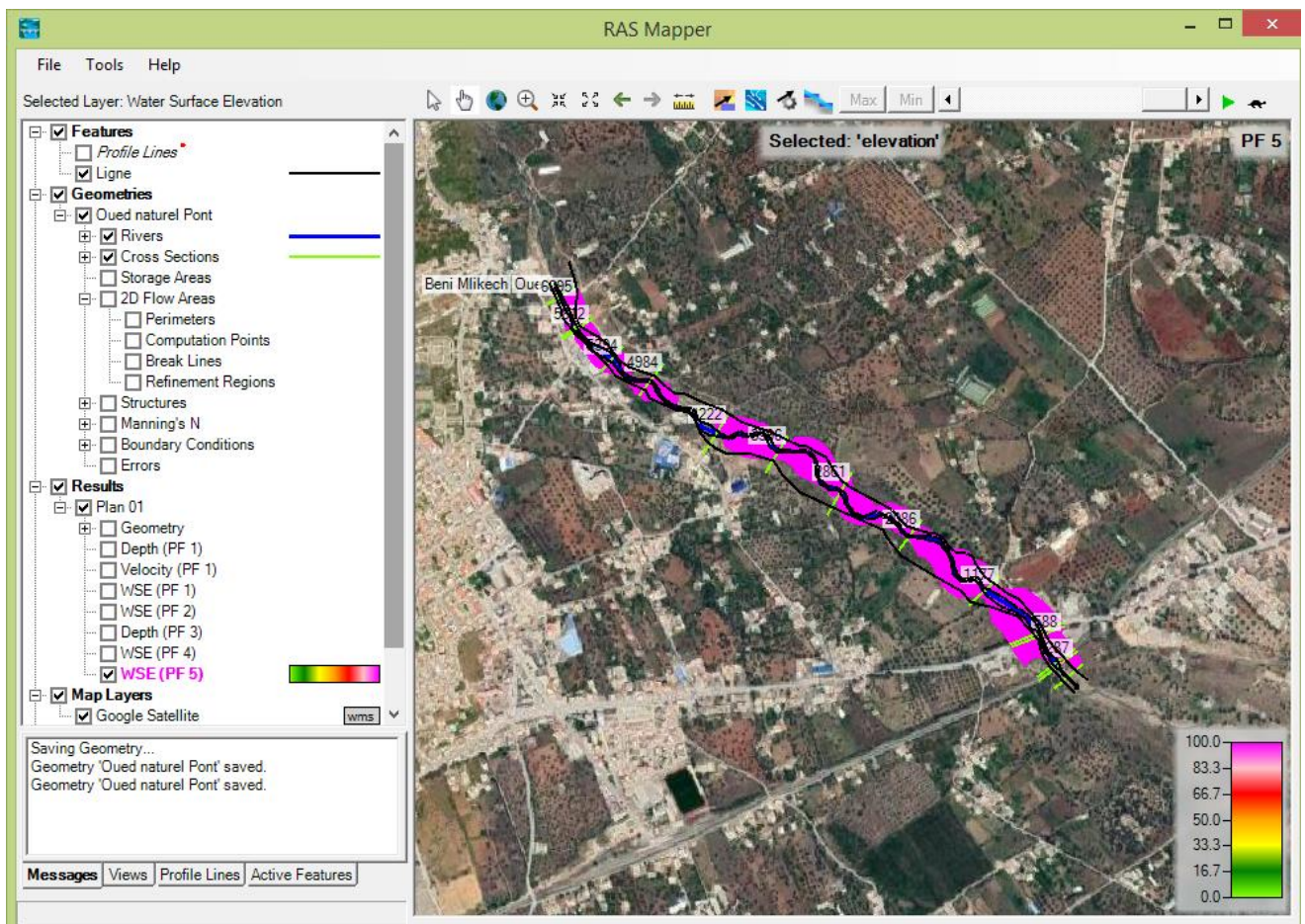


Figure V.11 : Visualisation des zones inondables sur RAS MAPPER (PF 5 : crue centennale)

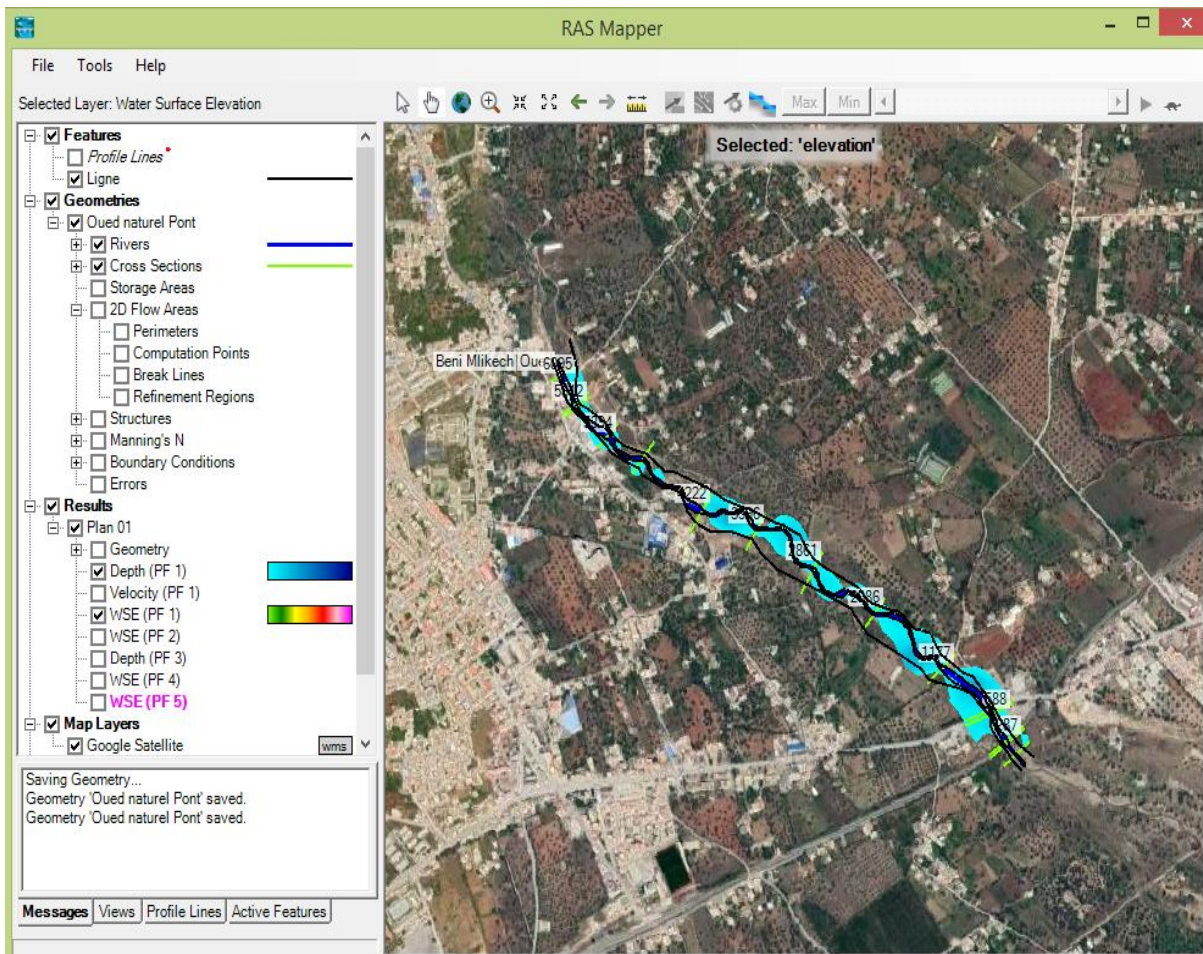


Figure V.12 : Illustration des zones inondables sur une carte Google satellite avec RAS MAPPER (PF1).

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

Conclusion :

L'utilisation du modèle HEC-RAS, qui est un modèle unidimensionnel en tenant compte de la géométrie du lit et la qualité du sol a permis d'avoir les niveaux de la ligne d'eau à plusieurs points du lit de l'Oued pour chaque débit et de déterminer les différents paramètres hydrauliques à l'état Naturel.

Ce chapitre nous a permis de modéliser l'écoulement sur l'oued ainsi connaître son comportement quand il sera soumis à une crue centennale, d'une part, localiser les zones envahies par les inondations d'autre part. Comme nous avons constaté que la majorité de la surface au voisinage de l'oued a été inondé par la crue centennale.

À ce titre, le prochain chapitre sera consacré à l'étude du dimensionnement des ouvrages hydrauliques qui peuvent résoudre ce problème.

CHAPITR VI



Etude Hydraulique avec Aménagement

VI.1. Introduction :

La présente étude d'aménagement de l'oued Beni Mlikech devra mettre un terme aux inondations répétées.

Dans ce chapitre et une fois que le débit de la crue est connu et sur la base des résultats de la simulation hydraulique, on a constaté que le risque d'inondations générée par la crue centennale ce qui demande le dimensionnement des ouvrages de protection, tout en respectant certains normes d'écoulement et les conditions naturelles de la zone d'études.

VI.2. Proposition d'aménagement :

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

VI.3. Avantages d'un canal trapézoïdal : [14]

- Assurance d'un profile de meilleur conductivité.
- Facilité de nettoyages en cas d'obstruction.
- Simple à réaliser et économique

VI.4. Dimensionnement des canaux :

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

VI.4.1. Équation de Chézy :

$$V = C \cdot R_h^{1/2} \cdot \sqrt{I} \dots\dots\dots(VI.1)$$

Avec :

- V : La vitesse moyenne (m/s) ;
- C : Coefficient de CHEZY (m^{1/2}/s) ;
- R_h : Rayon hydraulique (m) ;
- I : La pente de fond du canal (m/m).

VI.5. Calcul des paramètres géométriques :

VI.5.1. Paramètres géométrique d'un canal à section trapézoïdale : [15]

La section la plus avantageuse est la section optimale qui véhicule le débit maximum, où le rayon hydraulique R_h est maximal et la section est minimale. Par cella notre choix s'est porté sur un canal à section trapézoïdale, dont les caractéristiques géométriques sont résumées dans le tableau suivant :

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

b	$2h(\sqrt{1+m^2} - m)$	Largeur inferieur du canal
B	$b+2mh$	Largeur au miroir
S_m	$h(b+mh)$	Surface mouillé
P_m	$b+2h\sqrt{1+m^2}$	Périmètre mouillé
R_h	$h(b+mh)$	Rayon hydraulique
m	$\frac{1}{\text{tg}\alpha}$	Fruit du talus

VI.5.2. Section de débit maximum :

Prenons la formule de débit suivante :

$$Q = VS = \frac{1}{n} S \cdot R^{2/3} \sqrt{I}$$

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

$$Q = \text{Cte} (S^{5/3} P^{-2/3}) \dots\dots\dots (VI.2)$$

Pour une section mouillé S, restant constante, les expressions montrant que le débit sera maximal, $Q \rightleftharpoons Q_{\text{max}}$, si le rayon hydraulique est maximal, $R_h \rightleftharpoons R_{h\text{max}}$; donc si le Périmètre mouillé est minimal, $P \rightleftharpoons P_{\text{min}}$.

On suppose ensuite que dS est nul puisque la surface S, reste constante ; on a :

$$dS = h db + (b + 2mh) dh = 0 \dots\dots\dots (VI.3)$$

Si l'on désire que le périmètre mouillé P, soit minimal, on pose :

$$dP = db + 2\sqrt{1+m^2} dh = 0 \dots\dots\dots (VI.4)$$

En éliminant db et dh de ces dernières équations, on obtient :

$$b = 2h(\sqrt{1+m^2} - m) \dots\dots\dots (VI.5)$$

Il suffit de porter cette valeur b , dans les relations pour S et P et l'on tire le rayon hydraulique :

$$R_h = h/2 \dots \dots \dots (VI.6)$$

Qui reste indépendant de l'angle de repos.

VI.5.3. Profondeur normale (h_n) :

La profondeur h_n , est la profondeur d'eau dans un canal de pente J_f , donné, parcouru par un débit Q . Les éléments géométriques de la section qui correspondent à la profondeur normale h_n , sont appelés éléments normaux, tels que R_n , S_n , ou P_n .

Le procédé de calcul consiste à introduire les expressions de la surface mouillée (S_m), le rayon hydraulique (R_h), les valeurs de coefficient de STRECKLER (K_s), et de la pente de fond de canal (J_f) dans l'équation suivante :

$$Q = \frac{1}{n} S. R^{2/3} \sqrt{I}$$

Ensuite, on fixe la valeur de largeur de fond (b), et en fin, on fait varier les valeurs de h et on aura des valeurs de débits (Q), la valeur de h_n est obtenue quand le débit trouvé égal au débit max ($Q = Q_{\max}$).

VI.5.4. Profondeur critique h_c :

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

$$h_c = \left(\frac{Q^2}{g.B^2.\cos(\theta)} \right)^{1/3} \dots \dots \dots (VI.7)$$

Avec Q le débit total et B la largeur au miroir. Dans le cas d'un canal rectangulaire, en introduisant le débit par unité de largeur $q = Q/B$, on tire :

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g.\cos(\theta)} \right)^{1/3} \dots \dots \dots (VI.8)$$

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

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{1/3} \dots \dots \dots (VI.9)$$

VI.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 que le débit s'écoule en régime critique et uniforme, elle est donnée par :

$$I_c = \frac{Q^2}{C^2.S^2.Rh} \dots\dots\dots(VI.10)$$

VI.5.6. Calcul de la ligne d'eau :**VI.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 : $H = Z + V^2/2g + h \dots\dots\dots (VI.11)$

L'équation de continuité : $Q = V.S \dots\dots\dots (VI.12)$

VI.5.6.2. Calcul de la surface d'eau :

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

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

VI.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 :

VI.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 égale 0.75.

VI.6.2. La rugosité :

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

VI.6.3. La largeur du canal :

On prend $b = 20$ m, elle correspond à largeur moyenne.

VI.7. Calcul des paramètres de l'écoulement : [12]

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

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

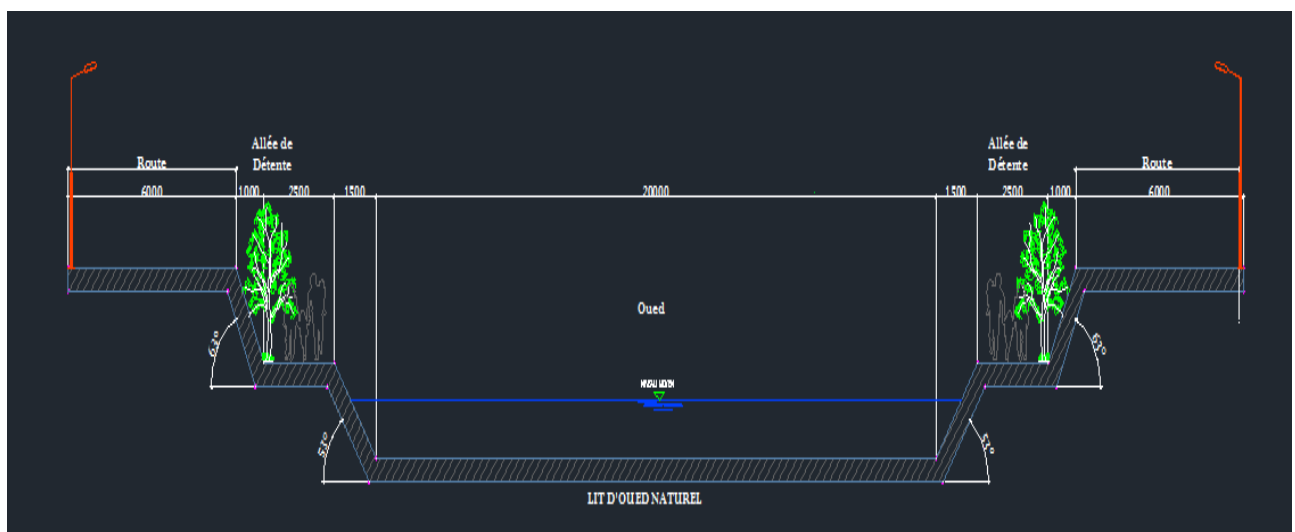


Figure (VI.1) : Proposition du canal.

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

River sta	Q	Min ch	W.S Elev	Crit w.s	E.G Elev	E.G Stlope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	H Eau	Froude
	m ³ /s	m	m	m	M	m/m	m /s	m ²	m	m	
50	117.64	311.5	312.49	313.0	314.34	0.013252	6.02	18.68	21.35	0.87	2.06
150	117.64	308.7	310.14	310.1	310.84	0.0028	3.69	30.49	22.17	1.38	1
250	117.64	307.1	308.59	308.5	309.29	0.0028	3.69	30.49	22.17	1.38	1
350	117.64	304.4	305.91	305.9	306.6	0.002799	3.69	30.49	22.17	1.38	1
450	117.64	301.7	303.21	303.2	303.91	0.002799	3.69	30.49	22.17	1.38	1
550	117.64	298.6	300.13	300.1	300.82	0.002798	3.69	30.49	22.17	1.38	1
650	117.64	294.9	296.43	296.4	297.13	0.0028	3.69	30.49	22.17	1.38	1
750	117.64	291.0	292.5	292.5	293.2	0.0028	3.69	30.49	22.17	1.38	1
850	117.64	287.5	289.02	289.0	289.72	0.002801	3.69	30.48	22.17	1.38	1.01
950	117.64	284.9	286.4	286.4	287.1	0.002797	3.69	30.5	22.18	1.37	1
1050	117.64	282.7	284.19	284.1	284.88	0.002799	3.69	30.49	22.17	1.38	1
1150	117.64	280.5	281.97	281.9	282.67	0.0028	3.69	30.49	22.17	1.38	1
1250	117.64	278.3	279.76	279.7	280.45	0.002799	3.69	30.49	22.17	1.38	1
1350	117.64	276.1	277.57	277.5	278.26	0.002799	3.69	30.49	22.17	1.38	1
1450	117.64	274.1	275.56	275.5	276.25	0.002799	3.69	30.49	22.17	1.38	1
1550	117.64	272.2	273.74	273.7	274.44	0.0028	3.69	30.49	22.17	1.38	1
1650	117.64	270.5	271.96	271.9	272.65	0.002799	3.69	30.49	22.17	1.38	1
1750	117.64	268.4	269.89	269.8	270.58	0.002799	3.69	30.49	22.17	1.38	1

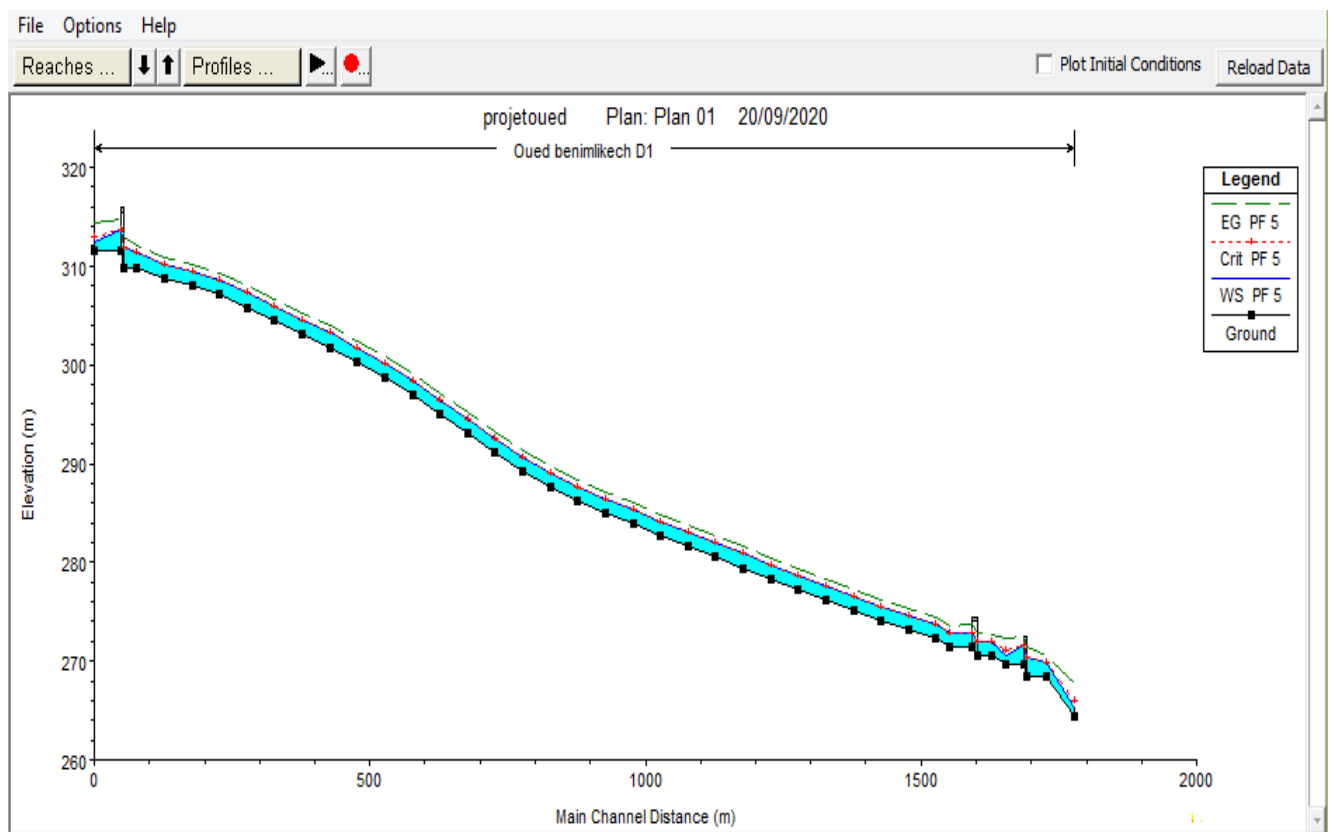


Figure (VI.2) : Profil en long du canal.

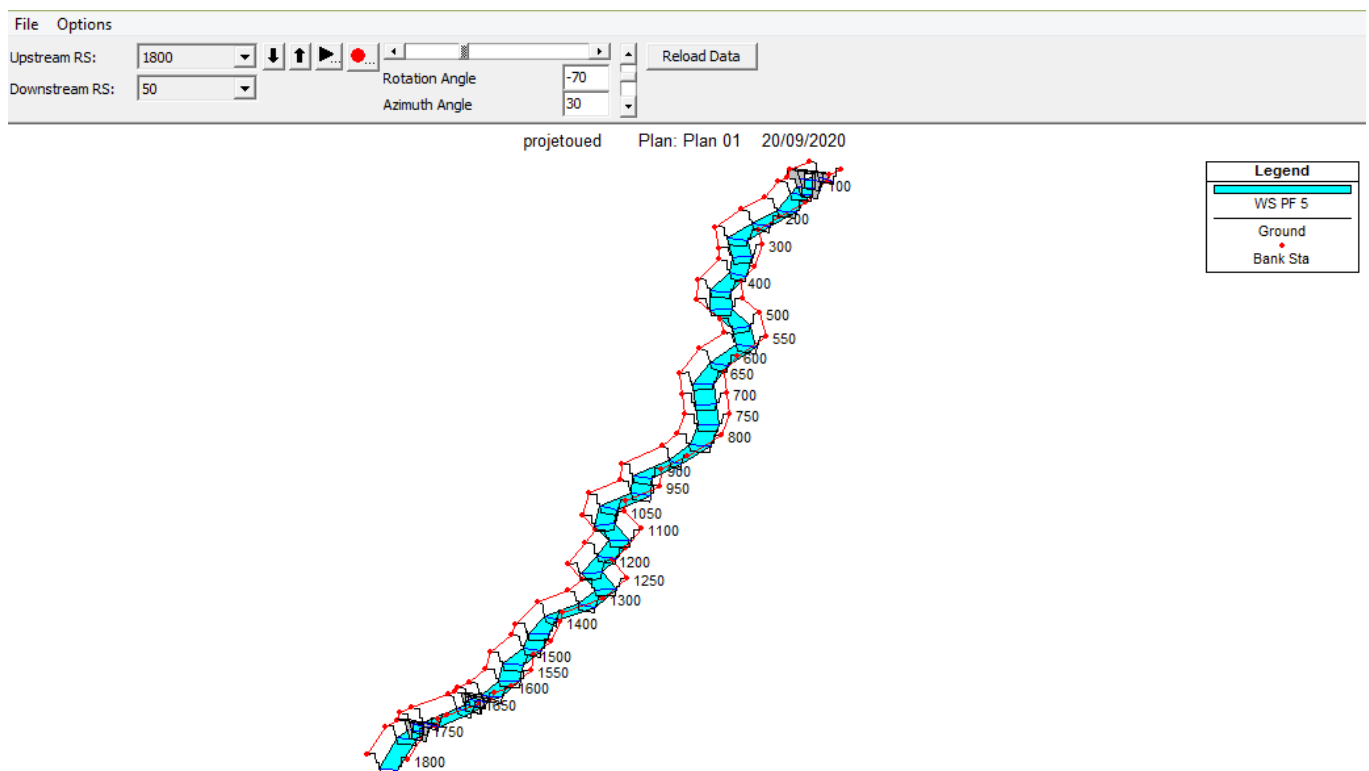
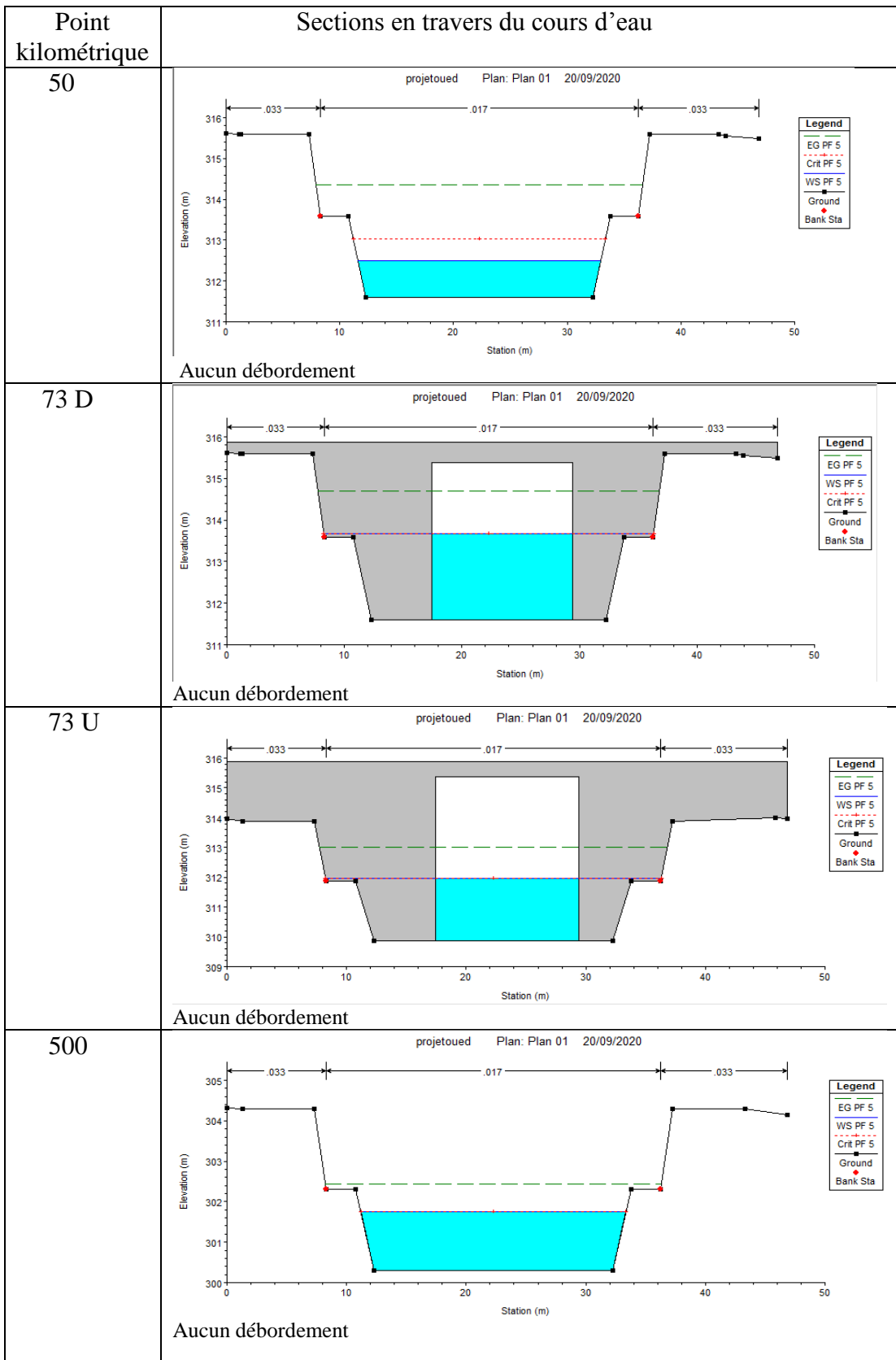
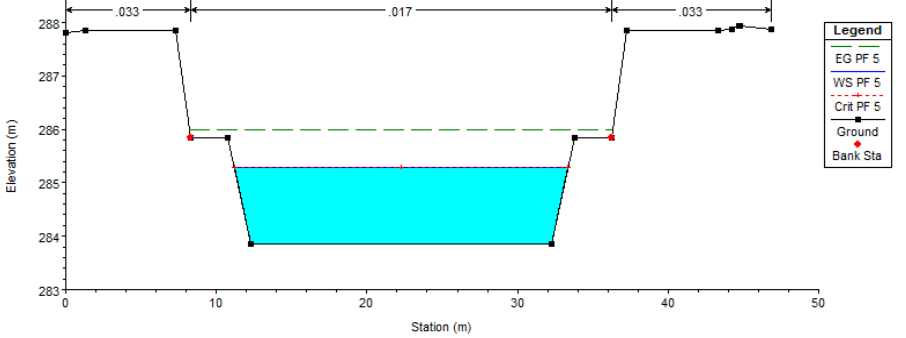
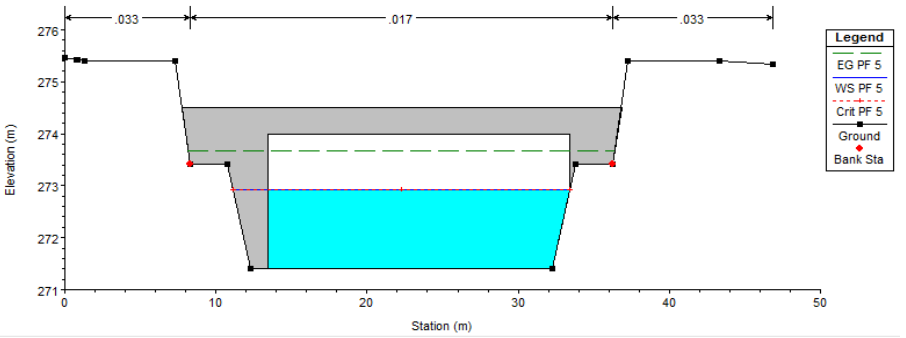
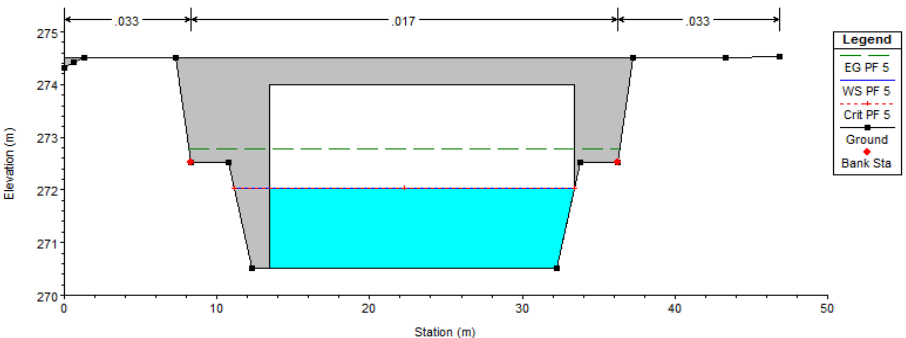
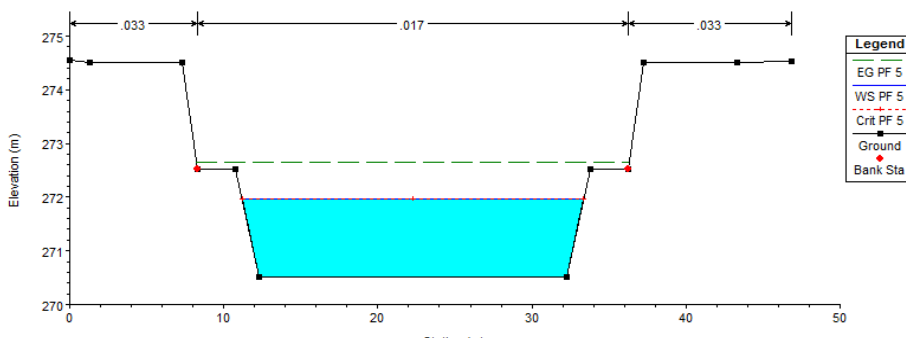


Figure (VI.2) : Visualisation en 3D de l'oued Beni Mlikech tronçon (1750-50).



Point kilométrique	Sections en travers du cours d'eau
1000	<p style="text-align: center;">projetoué Plan: Plan 01 20/09/2020</p>  <p style="text-align: center;">Aucun débordement</p>
1626 D	<p style="text-align: center;">projetoué Plan: Plan 01 20/09/2020</p>  <p style="text-align: center;">Aucun débordement</p>
1626 U	<p style="text-align: center;">projetoué Plan: Plan 01 20/09/2020</p>  <p style="text-align: center;">Aucun débordement</p>
1650	<p style="text-align: center;">projetoué Plan: Plan 01 20/09/2020</p>  <p style="text-align: center;">Aucun débordement</p>

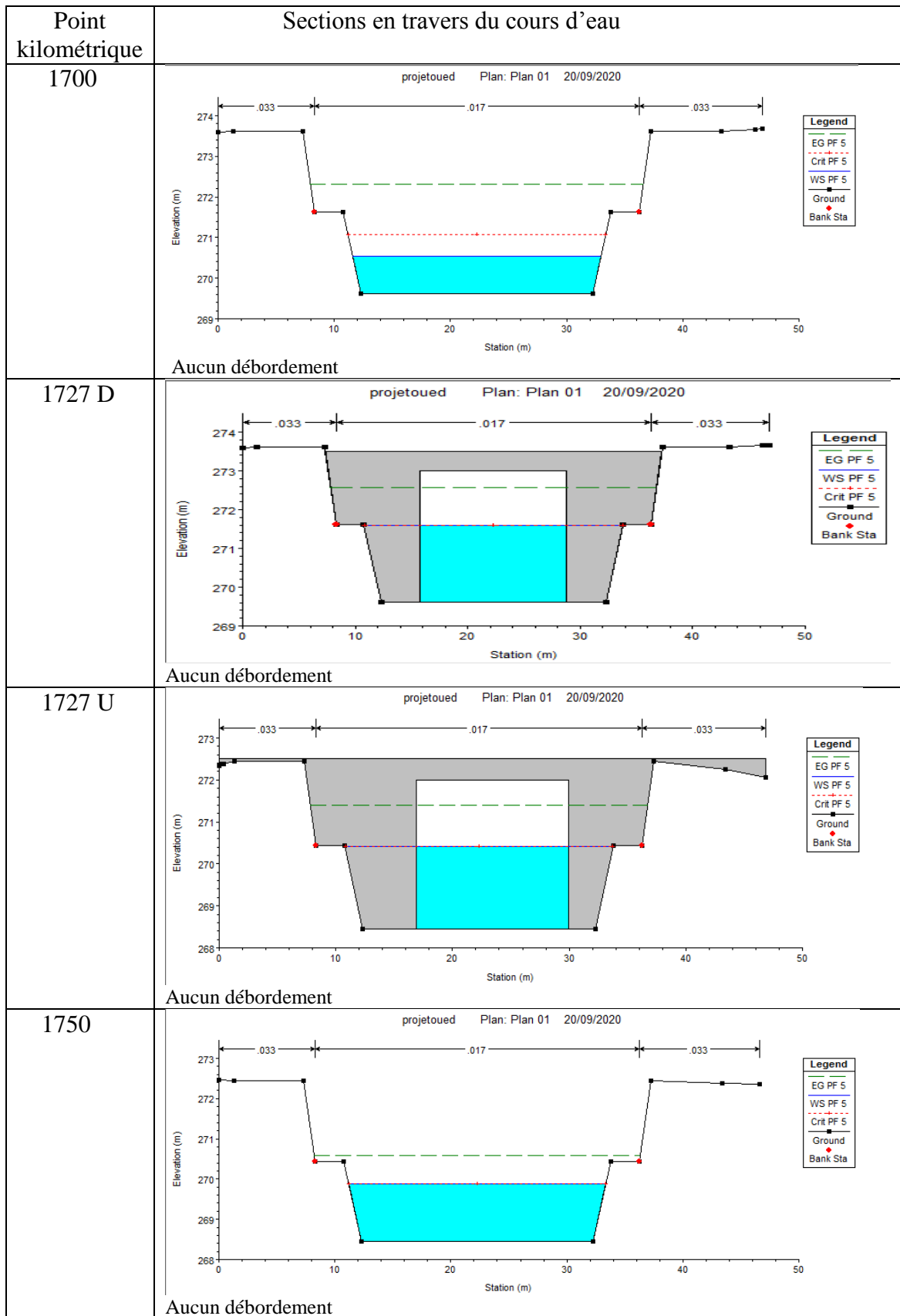


Figure (VI.3) : Sections en travers du canal.

Conclusion :

Les résultats de la simulation ont déterminé un écoulement pratiquement critique tout le long du canal, ce qui engendre des vitesses importantes allant de 3.69 à 6.02 (m/s) pour des hauteurs d'eau inférieures au limite d'évaguement. D'après les résultats obtenues dans l'étude hydraulique sans aménagement, on observe des débordements dans toutes les zones aux voisinage de notre oued et dans le cas d'étude hydraulique avec aménagement on obtient des résultats assure l'absence de débordement le long du canal et que sa capacité est suffisante pour évacuer le flux de la crue en toute sécurité.

CONCLUSION GENERALE



CONCLUSION GENERALE

La modélisation du comportement hydrologique des bassins versants est incontournable dès lors que l'on s'intéresse aux problématiques relatives à la gestion des ressources en eau, à l'aménagement du territoire, ou à l'une des différentes facettes du risque hydrologique (inondation, sécheresse). Elle est sensée pouvoir décrire de façon fidèle les différentes étapes de la transformation pluie en débit, et en particulier les processus liés à la formation des crues et à l'apparition des étiages.

Elle est sensée aussi fournir des informations exploitables pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques, de protection contre les crues ou pour la gestion hydrologique du bassin versant étudié.

La simulation numérique effectuée à l'aide du logiciel HEC-RAS a montré une génération des inondations qui s'étendent sur une surface très importante suite à une crue centennale, et cela ne nous a pas laissés indifférents pour mesurer l'ampleur du risque encouru.

Bien entendu, en se basant sur les différents résultats de simulations ainsi que des visites sur terrain, nous avons proposé des canaux trapézoïdaux en béton armé pour aménager le tronçon. Une fois le tronçon dimensionné, un autre scénario de simulation s'est fait pour élucider le comportement de la crue et s'assurer du bon fonctionnement de l'ouvrage portant l'aménagement des cours d'eau traversant les villes Beni Mlikech et Tazmalt.

Donc on peut dire que le modèle HEC-RAS peut être utilisé en Algérie comme modèle performant pour le calcul des débits de pointe de projet (barrage, protection contre les inondations,) au niveau des bassins versant qui ne comporte aucune station hydrométrique, (aux bassins versant non jaugés).

Enfin, la longévité et la consistance de l'ouvrage à réaliser dépendra, sans doute, de l'entretien, du contrôle et la bonne gestion.



Bibliographie

- [1] **IRATNI Nawal, 2014**, "Modélisation hydrologique de quelques sous bassins versant de la Tafna", Mémoire de Magister, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran - Mohamed Boudiaf.
- [2] **Ould fah Mohamed Mahmoud, 2015**, " Etude hydrologique du bassin versant de la Soummam", Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila
- [3] **Farès KESSASRA, 2006**, " ETUDE HYDROGEOLOGIQUE SOUS L'ASPECT DE LA MODELISATION MATHEMATIQUE EN VUE D'UNE GESTION RATIONNELLE DES ECOULEMENTS SOUTERRAINS DE LA VALLEE DE LA SOUMMAM", Mémoire de Magister, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediène-ALGER-
- [4] **Mokhtari Choayb, 2016**, " MODELISATION PLUIE-DEBIT PAR LE LOGICIEL "HEC-HMS" DE SOUS- BASSIN VERSANT L'OUED SAHEL", Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila
- [5] **AMEL AZZI**, Analyse des changements climatiques dans le bassin versant de la Soummam : réflexion en termes de conséquences hydrologiques. Université HOUARI BOUMEDIEN 2013
- [6] **TOUAIBIA. B**, Manuel Pratique d'Hydrologie. Presses Madani Frères. Blida. Algérie, 166 pages ,2004.
- [7] **LIAMAS José, 1993**, "Hydrologie générale: principes et applications", 2ème édition, édition Gaëtan Morin, Québec Canada.
- [8] **DRH.**, Rapport d'étude d'avant projet sommaire, Bejaia, APS, 2010.
- [9] **LABORDE, J.P.** Elément d'hydrologie de surface Edition 2000, Nice ,204 pages.
- [10] **T. BENKACI et N. DECHEMI**, Hydrological risks analysis and impacts to water quality for east-west motorway, Revue scientifique et Technique. Vol. N°16 et 17, pp.37-45, Décembre 2010.
- [11] **U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS** , HEC-RAS river analysis system, Hydraulic reference manual, USA, 441pages , version 5.01, Avril 2016

[12] **S. LAWRAENCE DINGMAN**, **Fluvial** hydraulics, Oxford universty press, 2009.\

[13] **CHAUDHRY, H.**, Open channel flow, second edition springer, 2008.