



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option: CONCEPTION DES OUVRAGES HYDROTECHNIQUES

THEME :

**Étude d'aménagement du cours d'eau de Oued El Had
De la ville nouvelle de bouinane .**

Présenté par :
TAYEB Melaak

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
HADJ SADOK Ahmed	Professeur	Président
ZAIBAK Issam	M.C.B	Examineur
BENLAOUKLI Bachir	Professeur	Promoteur

Session : Septembre 2024

Dédicace

À mon père, qui veille sur moi de là-haut, ta sagesse et ton amour continuent de me guider chaque jour.

À ma chère maman, pour ton soutien inébranlable et ton amour infini.

À mes frères, pour votre encouragement constant et votre complicité.

À mes amis, pour votre amitié précieuse et votre présence dans les moments difficiles comme les plus joyeux.

Ce projet est le fruit de nos liens, de nos rêves partagés et de votre soutien indéfectible.

Merci.

Remerciement

Avant tout, je remercie Dieu Tout-Puissant pour m'avoir donné le courage et la détermination nécessaires à l'accomplissement de ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadreur, M. Benlaoukli Bachir, dont l'expertise, les précieux conseils et le soutien inestimable ont été essentiels dans la réalisation de ce mémoire. Sa patience et sa disponibilité m'ont aidé à surmonter de nombreux défis et à améliorer continuellement la qualité de ce travail. Votre engagement et votre dévouement à mon succès académique ont été des moteurs précieux dans cette aventure. Ce mémoire est le fruit de notre collaboration, et je vous en suis sincèrement reconnaissant.

Je remercie également mes professeurs et enseignants qui ont joué un rôle clé tout au long de mon parcours académique. Mes remerciements s'adressent aussi aux responsables et au personnel de l'École Nationale Supérieure de l'Hydraulique (ENSH) de Blida pour leur accompagnement tout au long de mes études.

Enfin, j'adresse ma sincère reconnaissance aux membres du jury qui auront l'honneur d'évaluer ce travail.

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا المشروع هو تحديد الأبعاد اللازمة لنظام تهئية هيدروليكي لحماية منطقة واد الحد من الفيضانات المئوية التي تهدد بلدية بوينان. تهدف هذه الدراسة إلى ضمان سلامة الممتلكات والسكان. لتحقيق ذلك، تم اتباع عدة خطوات أساسية. أولاً، تم تقديم عرض مفصل للمنطقة المعنية. بعد ذلك، تم إجراء دراسات جيولوجية لتقييم خصائص التربة. ثم، تم إجراء تحليل هيدرولوجي لدراسة هطول الأمطار وتقييم التدفقات. أخيراً، تم إجراء دراسة هيدروليكية معمقة باستخدام لتحديد المناطق المعرضة للفيضانات وتقييم مخاطر الفيضانات. خلال هذه الدراسة، تم النظر في مختلف خيارات ، برنامج HEC-RAS. وتم اختيار أحد البدائل لتحليلها بشكل تفصيلي

الكلمات المفتاحية: تهئية هيدروليكية، الحماية من الفيضانات المئوية، واد الحد، بوينان، بلدية، خيارات التهئية، دراسة البدائل.

Résumé

L'objectif principal de ce projet est de déterminer les dimensions nécessaires d'un système d'aménagement hydraulique pour protéger la zone de l'oued El had contre les crues centennales, qui menacent la nouvelle ville de Bouinane. Cette étude vise à assurer la sécurité des biens et des habitants. Pour y parvenir, plusieurs étapes clés ont été suivies. Tout d'abord, une présentation détaillée de la zone concernée a été réalisée. Ensuite, des études géologiques ont été menées pour évaluer les caractéristiques du sol. Par la suite, une analyse hydrologique a permis d'examiner les précipitations et d'évaluer les débits. Enfin, une étude hydraulique approfondie utilisant le logiciel HEC-RAS a été effectuée pour délimiter les zones inondables et évaluer les risques d'inondation. Au cours de cette étude, différentes options d'aménagement ont été envisagées, et une variante a été sélectionnée pour une analyse détaillée.

Mots-clés : aménagement hydraulique, protection contre les crues centennales, oued El had, Bouinane, Blida, options d'aménagement, étude de variantes

Abstract

The main objective of this project is to determine the necessary dimensions of a hydraulic infrastructure system to protect the Oued el Had area from centennial floods that threaten the municipality of Bouinane. This study aims to ensure the safety of both property and residents. To achieve this, several key steps were followed. First, a detailed presentation of the area in question was conducted. Then, geological and geotechnical studies were carried out to assess the soil characteristics. Subsequently, a hydrological analysis was conducted to examine rainfall and evaluate flow rates. Finally, an in-depth hydraulic study using HEC-RAS software was performed to delineate flood-prone areas and assess flood risks. During this study, various development options were considered, and one variant was selected for detailed analysis.

Keywords: hydraulic infrastructure, protection against centennial floods, Oued El Had, Bouinane, Blida, development options, variant study.

Table des matières

CHAPITRE I :	13
DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE	13
I. CHAPITRE I :	11
I.1 Introduction :	11
I.2 Localisation géographique de la wilaya de Blida.....	11
I.2.1 Situation géographique de la zone d'étude :	11
I.3 Géologie du site.....	14
I.4 La Sismicité	15
I.5 La situation climatologique :	15
I.5.1 II.5.1 La température :	16
I.5.2 Humidité :	17
I.5.3 Le vent :	17
I.5.4 Les précipitations :	18
I.6 ETUDE GEOLOGIQUE.....	19
I.7 Contexte Géologique Régional :	19
I.7.1 Formations Géologiques :	19
I.7.2 Tectonique et Structure :	20
I.7.3 Hydrogéologie	20
I.7.4 Ressources Naturelles :	20
I.8 Conclusion	21
CHAPITRE II :	22
II. CHAPITRE II :	23
II.1 Introduction :	23
II.2 Bassin versant.....	23
II.2.1 Caractéristiques principales du bassin versant :	23
II.2.2 Caractéristiques géographiques :	23
II.2.3 Caractéristiques morphologiques :	23
II.2.4 Caractéristiques géométriques :	25
II.2.5 Étude du réseau hydrographique :	35
II.3 Etude des crues	44
II.3.1 L'analyse fréquentielles des pluies des crues maximales annuelles avec la station hydrométrique Bouinane :	44

II.3.2	Détermination des débits maximums fréquentiels par la méthode du Gradex :	52
	Interprétation :	59
II.3.3	Pluies de durée Tc (pluies de courte durée).....	59
II.4	Détermination des crues de bassin versant de bouinan par les diverses méthodes utilisées en Algérie :	60
II.5	L'hydrogramme de crue :	62
II.5.1	Hydrogramme de crue par les formules empirique	65
II.5.2	Choix de la crue de projet :	67
II.6	Étude de transport solide :	68
II.7	Conclusion	70
CHAPITRE III	:	71
III.	CHAPITRE III.....	72
III.1	Notions hydrauliques :	72
III.1.1	Paramètres hydrauliques	72
III.1.2	Paramètres géométriques :	73
III.2	Les cours d'eau.....	74
III.2.1	Cours d'eau naturels :	74
III.2.2	Cours d'eau artificiels :	74
III.2.3	Aménagements en matériaux minéraux :	74
III.2.4	Aménagements en béton ou en métal :	75
III.2.5	Aménagements en matériaux synthétiques :	76
III.3	Modes d'écoulement des oued.....	77
III.3.1	Régime d'écoulement	78
III.4	Modélisation d'écoulement	79
III.4.1	Étapes de la simulation :	79
III.4.2	Résultats de la simulation	83
III.4.3	Interprétation.....	87
CHAPITRE IV	:	88
IV.	CHAPITRE IV.....	89
IV.1	Etude des aménagements.....	89
IV.1.1	Hypothèses de calculs	89
IV.1.2	Formule de dimensionnement.....	89
IV.2	Principe de conception de l'aménagement d'oued El Hamiz :	91

IV.2.1	La pente.....	91
IV.2.2	Marge de sécurité dans les canaux (Revanche).....	91
IV.2.3	Vitesse d'érosion.....	91
IV.3	La cartographie du risque d'inondation.....	92
IV.3.1	La carte de l'alea inondation.....	92
IV.3.2	Cartes des profondeurs.....	93
IV.3.3	Carte des vitesses.....	93
IV.4	Etude des variantes.....	94
IV.4.1	Variante 1 : Canal trapézoïdale en béton.....	95
IV.4.2	Variante 2 : canal trapézoïdale en enrochement.....	99
IV.4.3	Variante 3 : canal en gabion avec fond en matelas reno.....	103
IV.4.4	Variante adoptee pour l'aménagement de oued El Had.....	107
IV.5	Conclusion.....	108
CHAPITRE V :.....		109
V.	Chapitre V.....	110
V.1	Introduction.....	110
V.2	Détails de la variante adoptée.....	110
V.2.1	Détails de conception.....	110
V.2.2	Etude de stabilité des talus.....	114
CHAPITRE VI :.....		120
VI.	Chapitre VI.....	121
VI.1	Introduction.....	121
VI.2	Devis quantitatif estimatif du projet.....	121
VI.2.1	Calcule du volume des travaux.....	121
VI.3	Planification du projet.....	122
VI.3.1	Définition :.....	122
VI.3.2	Technique de planification.....	122
VI.3.3	Construction du réseau.....	123
VI.3.4	Les étapes de la planification.....	124
VI.4	Choix de la methode de calcul.....	124
VI.4.1	Les paramètres de la méthode C.P.M.....	124
VI.4.2	Elaboration du reseau selon la methode C.P.M.....	126
VI.5	Conclusion.....	128

CONCLUSION GENERALE	129
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE	130

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I-1 : Températures max ; min et moyennes mensuelles	16
Tableau I-2 Distribution mensuelle de l'humidité de l'air relative en %	17
Tableau I-3 : Répartition mensuelle de la vitesse des vents	18
Tableau I-4 Répartition des pluies mensuelles interannuelles de la station pluviométrique Soumaa 021234.....	18

Chapitre II

Tableau II-1 : Les paramètres hydro-morphométriques des sous bassins.....	26
Tableau II-2 : détails de calcul de la courbe hypsométrique	28
Tableau II-3 : caractéristiques altimétriques des sous bassins versants.	30
Tableau II-4 : pente moyenne de sous bassin El Had.....	32
Tableau II-5 : Classification ORSTOM du relief à partir de l'indice de pente global.	33
Tableau II-6 : Indice de pente global pour le sous bassin versant.....	33
Tableau II-7 : type de relief des bassins versants	34
Tableau II-8: Résultats de calculs des pentes et la dénivelée spécifique du sous bassin	35
Tableau II-9 : calcul du rapport de confluence pour sous bassin versant.....	36
Tableau II-10: calcul du rapport des longueurs pour sous bassin versant	37
Tableau II-11 : La densité de drainage de les deux sous bassins versants.	38
Tableau II-12: La densité hydrographiques et le coefficient de torrencialité pour le sous bassin versant.	38
Tableau II-13: Résultats du calcul du temps de concentration en heure pour le sous bassin étudié.	41
Tableau II-14: les valeurs du temps de concentration retenus	42
Tableau II-15: Paramètres hydrographiques du sous bassin versant.....	42
Tableau II-16: Caractéristiques géomorphologiques des deux sous bassins versants.....	43
Tableau II-17 Les caractéristiques de la station hydrométrique.....	45
Tableau II-18 : Série des débits maximaux annuels prise de la station 021301 (Source : ANRH Blida)	45
Tableau II-19 : Caractéristiques de la série des débits de la station 021301	46
Tableau II-20 : Résultats d'ajustement à la loi de Gumbel de la station 021301	48
Tableau II-21 : : Comparaison des caractéristiques de la loi de Gumbel et de l'échantillon.....	49
Tableau II-22 : Résultats d'ajustement à la loi log normale de la station 021301.	49
Tableau II-23: Comparaison des caractéristiques de la loi log normale et de l'échantillon.	50
Tableau II-24: Résultats du test de χ^2 de la station Hydrométrique 021301.....	52
Tableau II-25: Caractéristique des stations pluviométriques (Source : ANRH Alger).	55

Tableau II-26: Répartition des précipitations maximales journalières prise de la station Soumaa	55
Tableau III-27: Résultats de calcul de b' pour la station prise	58
Tableau II-28: résultats de l'ajustement pour les différentes périodes de retours	59
Tableau II-29 pluies fréquentielles de courte duree en mm sur le bassin versant de Bouinane	59
Tableau II-30 : récapitulatif des résultats de calcul des débits de crues fréquentiels par les différentes méthodes	62
Tableau II-31 : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue "δ".	63
Tableau II-32 : les valeurs du temps de base, montée et décrue.	64
Tableau II-33: Valeurs du débits centennales en fonction du temps pour la zone d'étude.	64
Tableau II-34: Valeurs du débits centennales en fonction du temps pour la zone d'étude.	65
Tableau II-35: crue de projet recommandée selon la classification du comité national australien des grands barrages (CNAGB)	67
Tableau II-36: Estimation du coefficient de perméabilité.	68
Tableau II-37: Résultats de calcul de la lame d'eau écoulée.....	69
Tableau II-38: Résultats de calcul de la dégradation spécifique.	69
Tableau II-39: Résultats de calcul des apports solides	70

Chapitre III

Tableau III-1: caractéristiaue du lit ou du revetment	73
Tableau III-2: récapitulatifs contenant les paramètres hydrauliques pour tous les stations	86

Chapitre VI

Tableau IV-1 : Valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits.....	92
Tableau IV-2: caractéristique de canal trapézoïdale en béton.....	96
Tableau IV-3: résultat de calcul de la variante 1	97
Tableau IV-4: les épaisseurs du béton	97
Tableau IV-5: section du béton du canal.....	97
Tableau IV-6: volume de béton.....	98
Tableau IV-7: Volume des déblais et remblais	98
Tableau IV-8: devis quantitatif estimatif de la variante 1	98
Tableau IV-9: caractéristique du canal en enrochement	100
Tableau IV-10: résultat de calcul de la variante 2.....	101
Tableau IV-11: sections d'enrochement du canal de la variante 2.....	101
Tableau IV-12: volume d'enrochement de la variante 2	102
Tableau IV-13: section du geotextile de la variante 2.....	102
Tableau IV-14: volume des déblais et remblais	102
Tableau IV-15: devis quantitatif estimatif de la variante 2	102
Tableau IV-16: caractéristique du canal en enrochement	104
Tableau IV-17: résultat de calcul de la variante 3.....	105
Tableau IV-18: volume des déblais et remblais	106
Tableau IV-19: devis quantitatif estimatif de la variante 2	106

Chapitre V

Tableau V-1: détails de la variante adoptée	110
Tableau V-2 : principaux parametre hydraulique de oued El Had après l'aménagement	114

Chapitre VI

Tableau VI-1 : devis quantitatif et estimatif du projet	121
Tableau VI-2 : symboles des opérations et leurs durées de réalisation	126

Liste des figures

Chapitre I

figure I-1 : La situation de la zone d'étude au sein des wilayas et des communes.	12
figure I-2 : Retenue Oued El Had.....	13
figure I-3 : La présence d'eaux usées est observée dans l'Oued El Had.	14
figure I-4 La végétation couvrant l'Oued El Had.....	14
figure I-5 : Classification sismique des wilayas d'Algérie (Addenda, 2003).....	15
figure I-6 : Courbes de répartition mensuelle des températures.....	17
figure I-7 : Répartition des vitesses des vents en m/s	18
figure I-8 : Evolution de la pluviométrie mensuelle interannuelles.	19

Chapitre II

figure II-1 : carte de situation du sous bassin versant de la zone d'étude	24
figure II-2: courbe hypsométrique du sous bassin versant.....	27
figure II-3 : Répartition des surfaces et la courbe hypsométrique de la zone d'étude	29
figure II-4 : carte des courbes de niveaux du sous bassin versant.....	31
figure II-5 situation de la station	45
figure II-6 : Représentation graphique de la loi de Gumbel de la station (021301).	48
figure II-7 Représentation graphique de la loi log normale de la station 021301.	50
figure II-8: Graphe comparatif des résultats d'ajustement par la méthode de Gumbel et Log normale pour la station 021301.	51
figure II-9 : Graphe représente ajustement graphique pour les pluies et droite d'extrapolation pour les débits (Laborde, 2000).	54
figure II-10: Graphe de l'ajustement des pluies et la droite d'extrapolation des débits.....	58
figure II-11 : Les courbes Intensité-Durée-Fréquence du bassin versant Bouinan	60
figure II-12: Hydrogramme de crue pour période de retour 100 ans.	65
figure II-13 : Hydrogramme de crue pour période de retour 100 ans	67

Chapitre III

figure III-1: Canal en enrochement (Source : Google).....	75
figure III-2 : Canal en gabion (Source : Google).	75
figure III-3: Canal en Béton (source :Google)	76
figure III-4 : Canal en Palplanches (source :Google).....	76
figure III-5: Canal en Géotextile (source :Google)	77
figure III-6: Canal en Géogrille (source :Google).....	77

figure III-7 : représentation de la géométrie sur Civil3d.....	80
figure III-8: Importation des données sur HEC-RAS.....	80
figure III-9: Importation des données géométriques dans HEC-RAS.....	81
figure III-10: Introduction du débit de projet (crues centennales).	81
figure III-11 : Conditions aux limites.....	82
figure III-12: Lancement de la simulation.....	82
figure III-13 : Fin de simulation.	83
figure III-14 : vue en 3d de l'oued avant l'aménagement	84
figure III-15 : plan en travers de 2 station	84

Chapitre VI

figure IV-1: Formules des éléments géométrique	90
figure IV-2 : carte de profondeur d'eau pour la période de retour de 100ans.....	93
figure IV-3 : carte de vitesse d'eau pour la période de 100ans.....	94
figure IV-4: Les dimensions du canal trapézoïdale en béton armé (Source : logiciel Flow-master). ...	96
figure IV-5 : Profil en travers de 4 station avec le canal en béton	96
figure IV-6 : Schéma en travers du canal en enrochement.....	99
figure IV-7: profil en travers de 4 stations avec le canal en enrochement	100
figure IV-8: canal en gabion avec fond en matelas reno	104
figure IV-9 : profil en travers d'une station avec un canal en gabion	105
figure IV-10: histogramme présentant les couts des variantes	108

Chapitre V

figure V-1: schéma représentatif du canal.....	111
figure V-2 : détails des caractéristiques des gabions.....	111
figure V-3 : resultat de la simulation.....	112
figure V-4: vue 3d sur la zone d'aménagement	113
figure V-5 : géométrie du talus	117
figure V-6 : application des charges des roches.	117
figure V-7 : dessin de la ligne piézométrique.....	118
figure V-8: résultats de calcul	118

Chapitre VI

figure VI-1 : diagramme de gantt du projet.....	127
---	-----

CHAPITRE I :

DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

I. CHAPITRE I :

DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE :

I.1 Introduction :

Le deuxième chapitre de ce rapport se concentre sur une présentation détaillée du bassin versant de la zone d'étude, fournissant ainsi des informations géographiques et physiographiques qui constituent des fondements cruciaux pour comprendre les processus hydrologiques. En effet, des éléments comme l'altitude, la pente et la configuration du bassin versant, en corrélation avec la lithologie, offrent des indications sur la manière dont le bassin réagit hydrologiquement. Cette analyse approfondie de la géographie et des caractéristiques physiques du bassin versant permettra une meilleure compréhension des processus hydrologiques qui y sont impliqués.

I.2 Localisation géographique de la wilaya de Blida

La wilaya de Blida s'étend sur une superficie de 1.478,62 Km². Elle est limitée au sud par la wilaya de Médéa, l'Atlas, la montagne de Chréa et les gorges de la Chiffa ; au nord par les plaines de l'Algérois des wilayas d'Alger, Tipaza et Boumerdès ; à l'ouest par la wilaya d'AinDefla et enfin à l'Est par la wilaya de Bouira. Elle se compose de 10 Daïras et de 25 communes dont 17 comptent plus de 20 000 habitants.

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

La commune de Bouinan est située à 16 Km au Nord-est du chef-lieu de la wilaya de Blida et 34 Km au Sud d'Alger, Elle s'étend sur une superficie de 73,2 Km², comprise entre les coordonnées géographiques 35° 11' 27.6''-34° 57' 46.8'' Nord et 5° 51' 43.2''-6° 3' 54'' Est

Elle est limitée administrativement par :

- Boufarik et Chebli au Nord
- Chebli et Hammam Melouan à l'Est
- Hammam Melouan et Cherea au Sud
- Et Soummaa à l'Ouest

Les localités de la commune de Bouinan sont : Bouinan, Amroussa, Mellaha, El Hasseinia, Tabainette, Chabet TAKouk, Saf Saf, Zitoun, Sidi Serhane, Taghzoult, Karoubenne, Zhaïria, El Fouarhia, Ech Chaouia, El Azaïeb, Boudra, Azaznia, Zerarka, Boutebal, Sidi M'Hamed, Beni Kinaa, Taouarga, Aouaichia, Chetouane, Tefaha, Sidi Bouziri, Ouled Belkaïs, Kouania, Aouachria, Sid El Mehdi, El Ahmaïdia, Massouma, Bouangoud, Oued El Had et Amroussa supérieur.

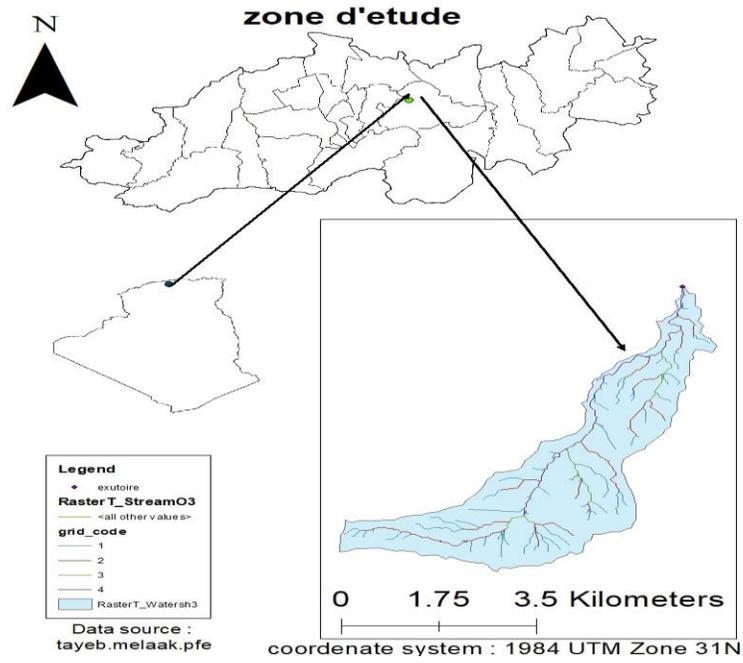


figure I-1 : La situation de la zone d'étude au sein des wilayas et des communes.

Oued El Had :

L'Oued El Had, le plus long cours d'eau qui traverse Hassainia, est marqué par plusieurs caractéristiques distinctes. En amont de son parcours, une retenue d'eau a été aménagée pour gérer les débits. Le cours d'eau présente également une végétation luxuriante, comprenant une dense couverture végétale et des arbres qui embellissent ses berges. Cependant, cette abondance de végétation peut être à double tranchant, car elle peut contribuer aux inondations en ralentissant l'écoulement de l'eau et en favorisant l'accumulation de sédiments

Oued El Had est également confronté à des défis en ce qui concerne les variations de section le long de son parcours. Les interventions humaines, qu'il s'agisse de constructions de maisons dans le lit du cours d'eau ou du dépôt des déchets, perturbent le débit naturel de l'oued et peuvent aggraver les risques d'inondations. Ce qui peut entraver l'écoulement régulier de l'eau et contribuer aux problèmes d'inondations.



figure I-2 : Retenue Oued El Had

La retenue établie le long de l'Oued El Had joue un rôle crucial en régulant le débit d'eau, contribuant ainsi à la gestion des ressources hydriques et à la prévention des risques d'inondation dans la région.



figure I-3 : La présence d'eaux usées est observée dans l'Oued El Had.

Ces variations incohérentes ont le potentiel de perturber le flux d'eau naturel, augmentant ainsi les vulnérabilités aux crues et aux inondations lors de fortes précipitations.



figure I-4 La végétation couvrant l'Oued El Had

La dense couverture végétale et la présence d'arbres le long de l'Oued El Had peuvent aggraver les inondations en ralentissant l'écoulement naturel de l'eau et en favorisant l'accumulation de sédiments, nécessitant une gestion équilibrée pour minimiser les risques

I.3 Géologie du site

La structure géologique est établie à partir de sondages carottés réalisés sur le site. Ces derniers permettent d'établir des coupes géologiques définissant la nature du sol.

Les sorties sur le site ont permis d'observer les premières formations lithologiques dans les fouilles de 3 à 6 m de profondeur, réalisées par le début des constructions.

Les faciès géologiques du périmètre d'étude sont formés d'une épaisse couche des édiments alluvionnaires. La partie sud est occupée par des montagnes qui ont une composition géologique variable : des roches constituées d'argiles, de marnes, degrés et de quartzites.

I.4 La Sismicité

La commune de BOUINAN appartient à la zone territoriale où l'intensité sismique est non négligeable (Zone III), car elle se situe au-dessus de la faille tectonique qui sépare le continent Africain du continent Européen. Donc les études du génie civil doivent prendre en considération cette particularité.

La région de Blida, de par sa situation sur la bordure sud du bassin sismogène de la Mitidja, connaît une sismicité plutôt modérée. Elle est classée en zone III dans le zonage sismique du Nord de l'Algérie (Règles Parasismiques Algériennes CGS, 1999, révisées en 2003). Annuellement, le réseau national de sismographes du Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique (CRAAG) enregistre dans cette région plusieurs séismes de magnitudes faibles à modérées, qui ne représentent aucun danger pour les populations et leurs biens. Leur nombre varie d'une année à l'autre ; cette variation temporelle ne reflète cependant pas la variation réelle de la sismicité, car elle est fortement liée au bon fonctionnement du réseau sismologique permanent.

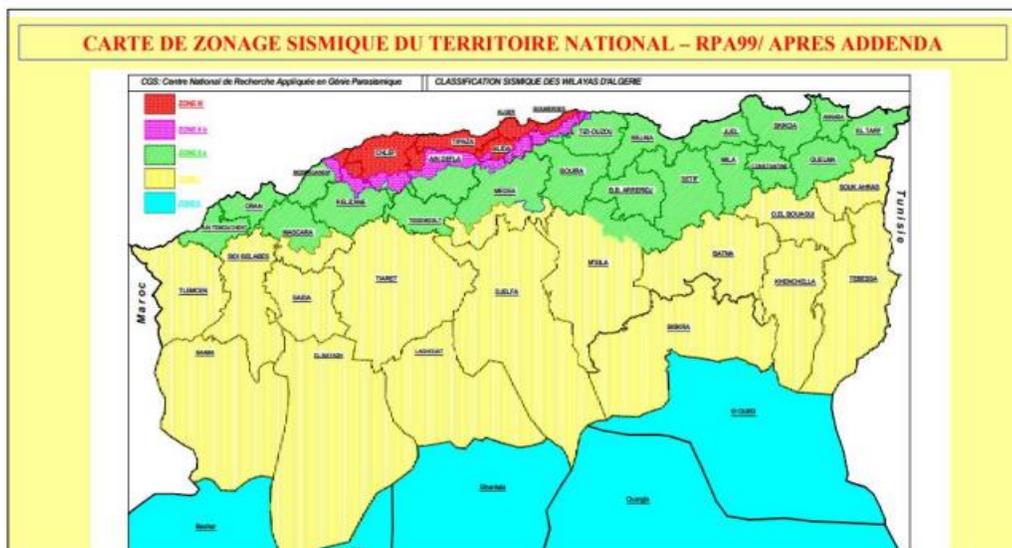


figure I-5 : Classification sismique des wilayas d'Algérie (Addenda, 2003).

I.5 La situation climatologique :

Le climat de l'Algérie est partout méditerranéen caractérisé par une période pluvieuse allant en moyenne de Septembre à Mai et un été sec et ensoleillé. L'Atlas tellien (dont notre zone

fait partie) joue le rôle d'un rempart qui provoque la condensation et les précipitations d'une partie de la vapeur d'eau amenée par les vents soufflant de la mer. L'altitude entraîne une diminution générale de la température, l'éloignement de la mer, une augmentation des amplitudes diurnes et annuelles.

Les données climatologiques sont fournies par différents secteurs spécialisés dans le relevé, le traitement et le stockage des données, tels que :

- La température, la vitesse du vent et l'évaporation sont fournies par l'ONM (Office Nationale de Météorologie).

- La pluviométrie est fournie au niveau de l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydriques) de la wilaya d'Alger

La ville de BOUINAN présente un climat méditerranéen sub-humide à semi-aride. Les mois de janvier et février sont les plus froids de l'année, tandis que juillet et août sont les mois les plus chauds.

I.5.1 II.5.1 La température :

Les mesures de température dans le bassin versant ont un caractère fragmentaire, malgré ça, elles seront esquissées en soulignant plus particulièrement l'importance de la saison sèche et donc l'effet déterminant de l'évapotranspiration, paramètre essentiel du déficit d'écoulement. La connaissance de la saison sèche permet ainsi de connaître la durée durant laquelle les sols sont soumis à l'effet de température qui est un agent de météorisation qui fragilise la consistance des formations superficielles et prépare le matériau pour être érodé. Les stations météorologiques existantes du bassin versant ne fournissent pas les valeurs de la température de l'aire, c'est pourquoi nous avons opté pour la station la plus proche (Houbib, 2012).

➤ Les valeurs de températures moyennes mensuelles et annuelles de la station représentative du bassin versant, avec les minima et les maxima sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau I-1 : Températures max ; min et moyennes mensuelles

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
TMoy °C	23.57	20.12	15.44	12.5	11.13	11.65	13.25	15.05	18.33	22.25	25.2	26.11	17.88
TMin °C	17.6	14.2	10	6.9	5.6	5.1	7.1	9.4	13	16.5	19	20.1	12.04
TMax °C	29.54	26.04	20.88	18.1	16.66	18.2	19.4	20.7	23.66	28	31.4	32.12	23.72

On peut distinguer dans cette série deux périodes :

- Une période froide s'étalant de Novembre jusqu'à Avril .
- Une période chaude s'étalant de Mai jusqu'à Octobre .

- La température à une influence importante sur la viscosité de l'eau

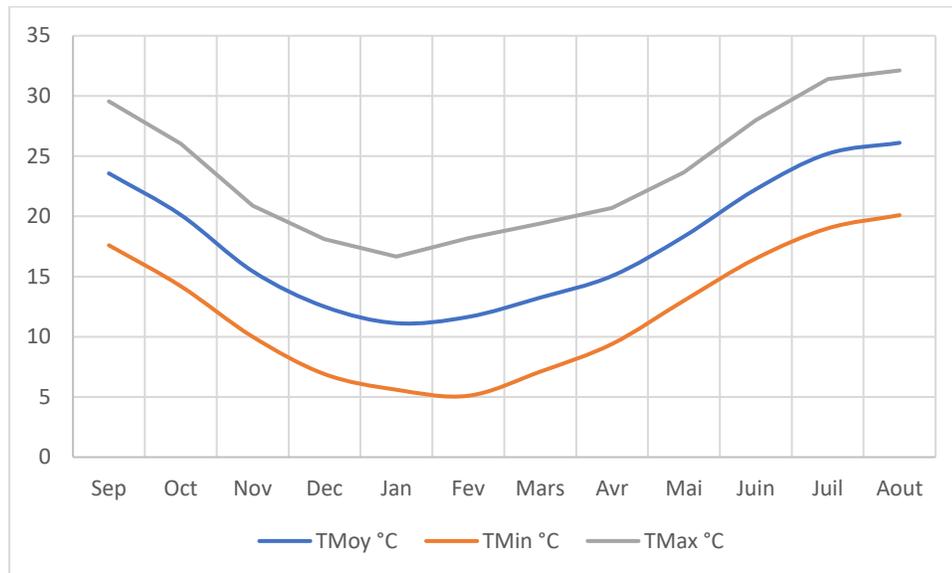


figure I-6 : Courbes de répartition mensuelle des températures.

I.5.2 Humidité :

L'humidité relative de l'air varie entre 77% et 80% dans la zone d'étude d'après les données recueillies.

Tableau I-2 Distribution mensuelle de l'humidité de l'air relative en %.

Mois	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Tmax	98.7	91.3	87.7	86.7	85.2	76.5	66.7	73.3	80.7	85.7	89.4	91.1
Tmin	55	54.4	45.7	42.9	41.9	33.3	26.2	29.5	34.7	43.7	53.4	58.6
Tmoy	74.7	75.6	68.9	67.2	65.4	55.4	45.7	50.9	58.7	66.5	73.3	77.4

L'examen de la répartition mensuelle, montre que l'humidité relative de l'air est généralement plus élevée en saison hivernale. Les valeurs maximales sont atteintes durant les mois d'hiver (74 - 77%), lorsque les températures sont minimales.

Les valeurs d'humidité les plus faibles sont enregistrées en été (45 – 58 %) ce qui prouve encore une fois l'aridité durant la période estivale.

I.5.3 Le vent :

Les vents sont généralement accompagnés d'orage et de pluies. La moyenne annuelle de la vitesse du vent est de 3.1 m/s, donc ils ne sont pas assez puissants. Les vents dominants chargés d'humidité soufflent généralement :

- Dans la direction Ouest Nord-ouest, durant la période allant d'Octobre jusqu'à Mai.
- Dans la direction Est Sud-est, durant la période de Juin jusqu'à Septembre.

Tableau I-3 : Répartition mensuelle de la vitesse des vents

Mois	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
V(m/s)	3.1	3.3	3.2	3.2	3.0	3.2	3.1	3.0	2.8	2.8	2.9	3.2

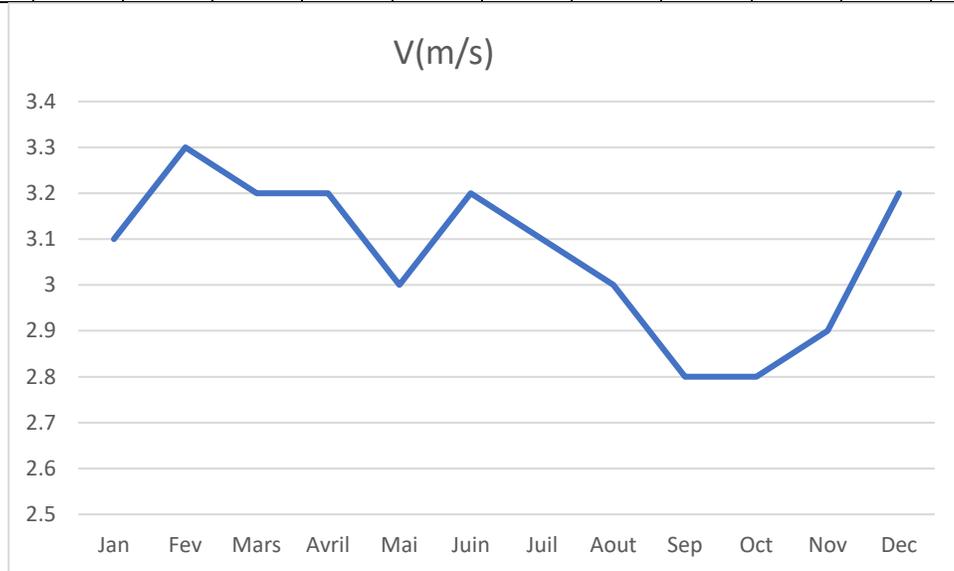


figure I-7 : Répartition des vitesses des vents en m/s .

I.5.4 Les précipitations :

Les précipitations sont définies comme l'ensemble des eaux météorologiques recueillies par un bassin versant ou une surface bien déterminée. La hauteur de précipitation est la hauteur de la lame d'eau précipitée qui s'accumulerait sur une surface horizontale si toutes les précipitations y étaient sous forme liquide (Touaibia, 2015).

Nous avons pris la station pluviométrique Soumaa« 021234 », dont les données sont récupérées de l'ANRH-Alger.

Tableau I-4 Répartition des pluies mensuelles interannuelles de la station pluviométrique Soumaa 021234.

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	annuel
moyenne p(mm)	32.78	51.01	108.93	92.55	102.5	78.387	70.573	74.45	58.08	9.06	1.44	8.12	687.92
p (%)	4.76	7.42	15.83	13.45	14.91	11.39	10.26	10.82	8.44	1.32	0.21	1.18	100

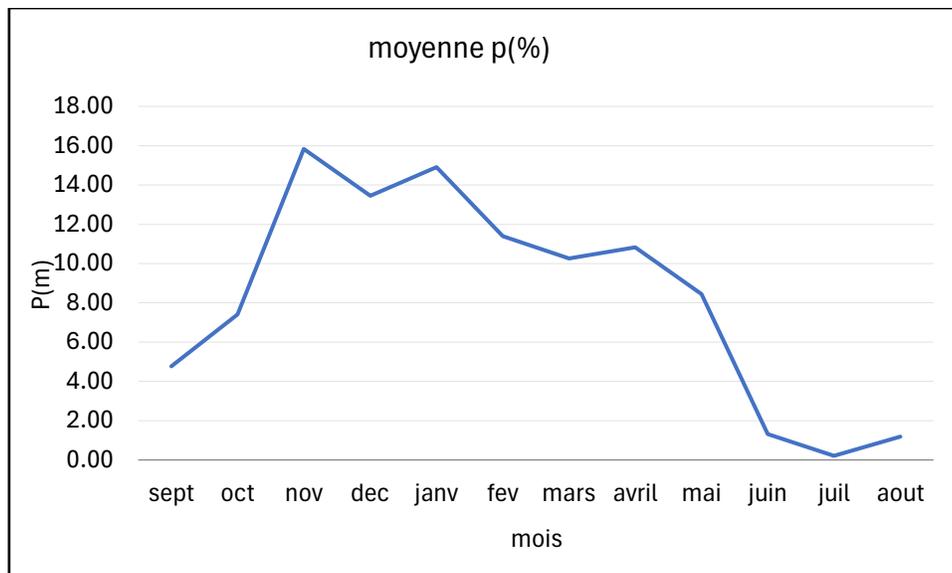


figure I-8 : Evolution de la pluviométrie mensuelle interannuelles.

I.6 ETUDE GEOLOGIQUE

Introduction

Pour réaliser une étude géologique sur la zone de Bouinan à Blida, en Algérie, il faut se pencher sur plusieurs aspects clés : la géologie régionale, les formations géologiques, la tectonique, la sismicité, l'hydrogéologie, et les ressources naturelles. Voici une présentation structurée de ces différents aspects.

I.7 Contexte Géologique Régional :

La région de Bouinane se situe dans la wilaya de Blida, qui fait partie de l'Atlas tellien, une chaîne de montagnes en Algérie. Cette région est caractérisée par une géologie complexe résultant de l'interaction entre la plaque africaine et la plaque eurasiatique.

I.7.1 Formations Géologiques :

Les formations géologiques dans la région de Bouinan peuvent être divisées en plusieurs périodes :

- Mésozoïque (Trias, Jurassique, Crétacé) : Cette période est caractérisée par des sédiments marins, notamment des calcaires, des marnes, et des dolomies.
- Cénozoïque (Tertiaire) : Cette période présente des sédiments plus récents comme des grès, des conglomérats et des argiles.

- Quaternaire : Principalement des dépôts alluviaux et colluviaux qui sont souvent retrouvés dans les vallées et les plaines.

I.7.2 Tectonique et Structure :

La tectonique de la région de Bouinan est influencée par les mouvements compressifs de la plaque africaine contre la plaque eurasiatique. Les principales structures tectoniques comprennent :

- Failles : Plusieurs failles importantes traversent la région, dont certaines sont actives et peuvent provoquer des séismes.
- Pliures : La région montre des exemples de plis géologiques résultant de la compression tectonique, avec des anticlinaux et des synclinaux bien marqués.

I.7.3 Hydrogéologie

L'hydrogéologie de Bouinan est marquée par la présence de plusieurs nappes phréatiques importantes. Les formations perméables comme les grès et les calcaires fracturés jouent un rôle crucial dans la recharge des aquifères. L'eau souterraine est une ressource essentielle pour l'agriculture et l'approvisionnement en eau potable.

I.7.4 Ressources Naturelles :

La région peut posséder diverses ressources naturelles, notamment :

- Eau : Une ressource cruciale pour l'agriculture et l'usage domestique.
- Matériaux de construction : Les carrières de calcaire et de grès sont courantes et fournissent des matériaux pour la construction.
- Potentialités minières : Bien que moins développée, la région pourrait avoir des ressources minières comme les métaux de base ou les minéraux industriels.

I.8 Conclusion

La phase diagnostique de l'étude vise avant tout à obtenir une compréhension approfondie de la zone d'étude sous tous ses aspects, qu'ils soient géologiques, climatiques, hydrologiques, etc. Cette approche permet de saisir les véritables causes des inondations, qu'elles proviennent des oueds, des chaabas, ou de leur interaction. En période de crue, cette analyse permet également une meilleure anticipation de leur comportement. De plus, elle permet d'évaluer les dommages causés et offre une première idée des mesures à envisager avant d'entamer des études hydrologiques et hydrauliques plus approfondies.

Cependant, nos observations sur le terrain ont révélé des constats alarmants. La majorité des oueds présentent des rejets d'eaux usées, ce qui compromet la qualité de l'eau et génère des préoccupations majeures en matière de santé publique et de préservation de l'environnement. Le phénomène de construction de maisons au sein des lits des oueds est inquiétant, exposant les habitants à des risques accrus liés aux inondations, tout en perturbant les régimes d'écoulement naturel.

Les interventions humaines, notamment la modification des sections des oueds pour créer des portions plus larges en amont qu'en aval, ont des répercussions significatives sur la dynamique hydraulique. Les infrastructures des ponts présentent des anomalies, avec des réalisations anarchiques où l'on observe des ponts en amont plus larges que ceux en aval. Cette situation entraîne un impact sur le comportement hydraulique global des oueds.

L'étude géologique de Bouinan à Blida révèle une région riche et complexe, avec une variété de formations géologiques, une tectonique active, une sismicité notable, et des ressources naturelles variées. Ces informations sont essentielles pour le développement durable de la région, la planification urbaine, et la gestion des risques naturels.

CHAPITRE II :

ÉTUDE HYDROLOGIQUE

II. CHAPITRE II :

ÉTUDE HYDROLOGIQUE

II.1 Introduction :

L'hydrologie explore la répartition et l'évolution des eaux de surface et souterraines de la Terre, ainsi que leurs caractéristiques chimiques, biologiques et physiques, en interaction avec leur environnement. Elle permet de comprendre les divers mouvements de l'eau de l'atmosphère vers la Terre et vice versa. Dans le cadre de la planification d'infrastructures hydrotechniques, l'analyse hydrologique revêt une importance capitale. Son objectif principal est d'évaluer les débits maximums pour différentes périodes de retour, telles que 10, 20, 50 et 100 ans. Cette analyse implique la délimitation des bassins versants concernés, l'identification de leurs caractéristiques spécifiques, la localisation des stations pluviométriques pertinentes et le calcul des moyennes annuelles de précipitations, ainsi que des fréquences associées aux différentes périodes de retour. Les débits correspondant à ces périodes sont ensuite calculés à l'aide de formules empiriques.

II.2 Bassin versant

II.2.1 Caractéristiques principales du bassin versant :

Un bassin versant, à la position d'une section de mesure, est défini comme la totalité de la zone topographique drainée par un cours d'eau et ses affluents en amont de cette section. Tous les flux qui prennent leur source à l'intérieur de cette zone doivent obligatoirement traverser la section de mesure pour continuer leur parcours vers l'aval.

Chaque bassin versant est séparé des autres par une ligne de partage des eaux. Cette limite est déterminée sur la carte topographique. En commençant par l'exutoire, en trace à main levée des segments perpendiculairement aux courbes de niveau en passant par les crêtes, aboutissant automatiquement à l'exutoire (Touaibia, 2015)

II.2.2 Caractéristiques géographiques :

Les coordonnées géographiques en coordonnées Lambert de l'exutoire sont les suivantes :

- Longitude : $X = 501\,540$ m ;
- Latitude : $Y = 4044\,442$ m ;
- L'altitude : $Z = 80$ m

II.2.3 Caractéristiques morphologiques :

Les particularités physiographiques d'un bassin versant exercent une influence significative sur sa réaction hydrologique, notamment sur le comportement des débits en

période de crue ou de basses eaux. Le temps de concentration (T_c), qui indique en partie la rapidité et l'intensité de la réponse du bassin versant aux précipitations, est façonné par diverses caractéristiques morphologiques telles que la taille du bassin (sa superficie), sa configuration, son altitude, sa pente et son orientation. En outre, d'autres facteurs tels que le type de sol, le couvert végétal et la configuration du réseau hydrographique viennent également influencer le T_c . Ces paramètres, qu'ils soient d'ordre géométrique ou physique, peuvent être évalués avec précision à partir de cartes appropriées ou en utilisant des techniques numériques et des modèles informatiques.

- **La surface et le périmètre :**

La superficie du bassin versant, mesurée en kilomètres carrés, représente la zone où les précipitations sont recueillies et alimentent les cours d'eau, ce qui influence en partie les débits observés. Elle correspond à l'étendue totale de la surface topographique drainée par un cours d'eau et ses affluents en amont de cette section. En revanche, le périmètre, exprimé en kilomètres, illustre les contours et les variations de la limite du bassin versant. Le contour du bassin est constitué par une ligne cours d'eau au niveau du bassin versant (Faye, 2018).

Les paramètres susmentionnés sont déterminés par le logiciel Autocad sur le carte d'état major de notre zone d'étude.

- **La longueur du thalweg principal :**

Un talweg correspond à la ligne formée par les points ayant la plus basse altitude, soit dans une vallée, soit dans le lit d'un cours d'eau.

Le bassin versant d'Oued El Had couvre une superficie de 15,83 Km², avec une longueur de talweg principale de 11,36 Km, prend naissance au Djebel Marmoucha sur une altitude de 1112 m, et un affluent d'oued Cherif ET Oued El Harrche dans le grand bassin hydrologique de l'Algérois, Il est caractérisé par une forme allongée et un indice de compacité de 1,78.

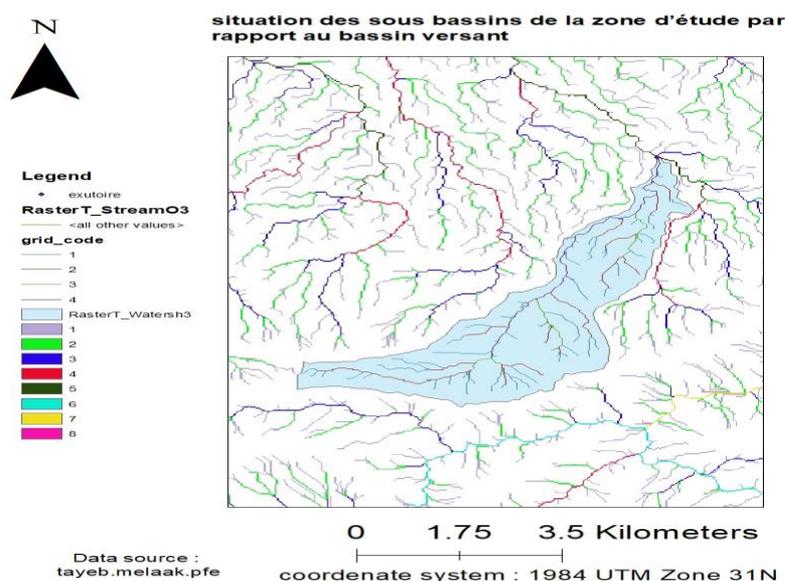


figure II-1 : carte de situation du sous bassin versant de la zone d'étude

II.2.4 Caractéristiques géométriques :

➤ L'indice de compacité de Gravelius (KG) :

L'indice de compacité renseigne sur la forme du bassin versant qui a une influence sur le débit de crue et donc sur l'allure de l'hydrogramme, résultant d'une pluie donnée.

$$K_G = \frac{P}{2\pi\sqrt{\frac{S}{\pi}}} = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{S}} \quad \text{II.1}$$

Avec :

- S : Superficie du bassin (Km²) ;
- P : Périmètre du bassin (Km) ;
- KG : Indice de compacité de Gravelius (1914) dénommé coefficient de compacité (Compactness Coefficient).

Pour

- •KG = 1.3 bassin est compact.
- •1 < KG < 1.3 bassin est moins compact.
- KG > 1.3 bassin est allongé.

Plus le KG est grand, plus le bassin versant sera allongé, plus le temps que met une goutte d'eau tombée sur le point le plus éloigné en amont du bassin versant pour arriver à l'exutoire sera important d'où la crue sera moins violente. Donc l'indice de compacité est proportionnellement lié au temps de concentration Tc.

➤ Le rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius :

La notion de rectangle équivalent a été intégrée à l'analyse géomorphologique des bassins afin de faciliter la comparaison de leur influence sur les écoulements. Ce concept permet de rendre les bassins comparables en termes de forme, en conservant à la fois la même superficie, le même périmètre et donc le même indice de compacité que le bassin d'origine

Le périmètre et la surface du rectangle sont respectivement :

$$P = 2 \times (Lr + lr) \quad \text{II.2}$$

Et

$$S = Lr \times lr$$

La longueur Lr et la largeur lr en Km sont données par la résolution de P et S :

$$K_G = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{S}}$$

De ces relations on obtient une équation de 2ème degré qui admet deux solutions Lr ; lr :

$$Lr = \frac{Kg\sqrt{S}}{1.128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Kg} \right)^2} \right)$$

$$l_r = \frac{K_g \sqrt{S}}{1.128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_g} \right)^2} \right)$$

Avec :

- Lr et lr : la longueur la largeur du rectangle (km)
- S : la surface du bassin versant (km²).
- KG : l'indice de compacité.

➤ **Coefficient d'allongement :**

Ce coefficient est obtenu par la relation suivante :

$$C_a = \frac{L_{cp}^2}{S}$$

Avec :

- Lcp : longueur du talweg principal ;
 - S : la surface du bassin versant (km²).
- Ce coefficient fournit des informations sur le comportement hydrologique de la zone étudiée
Un coefficient d'allongement élevé suggère un bassin versant plus allongé. Ce dernier peut influencer le mode d'écoulement de l'eau à travers le réseau hydrographique, ayant éventuellement un temps de concentration plus court. Cependant, il peut également réagir plus rapidement aux précipitations, entraînant des crues plus rapides.
 - Les paramètres hydro-morphométriques du bassin versant sont résumés dans le tableau suivant

Tableau II-1 : Les paramètres hydro-morphométriques des sous bassins.

Désignation	Symbole	Unité	Valeur	
Superficie	A	Km ²	15.69	
Périmètre	P	Km	24.1	
Longueur du talweg principal	Lcp	Km	11.29	
Indice de compacité de Gravelius	Kg	/	1.70	
Coefficient d'allongement	Ca	/	8.12	
Rectangle équivalent	Longueur	Lr	Km	10.88
	Largeur	lr	Km	1.09

II.2.4.1 Caractéristiques hydrographiques :

➤ Étude du relief :

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

- La courbe hypsométrique ;
- L'altitude moyenne ;
- L'indice de pente globale I_g ;
- L'indice de pente roche I_p ;
- Densité de drainage D_g .

a. Courbe hypsométrique :

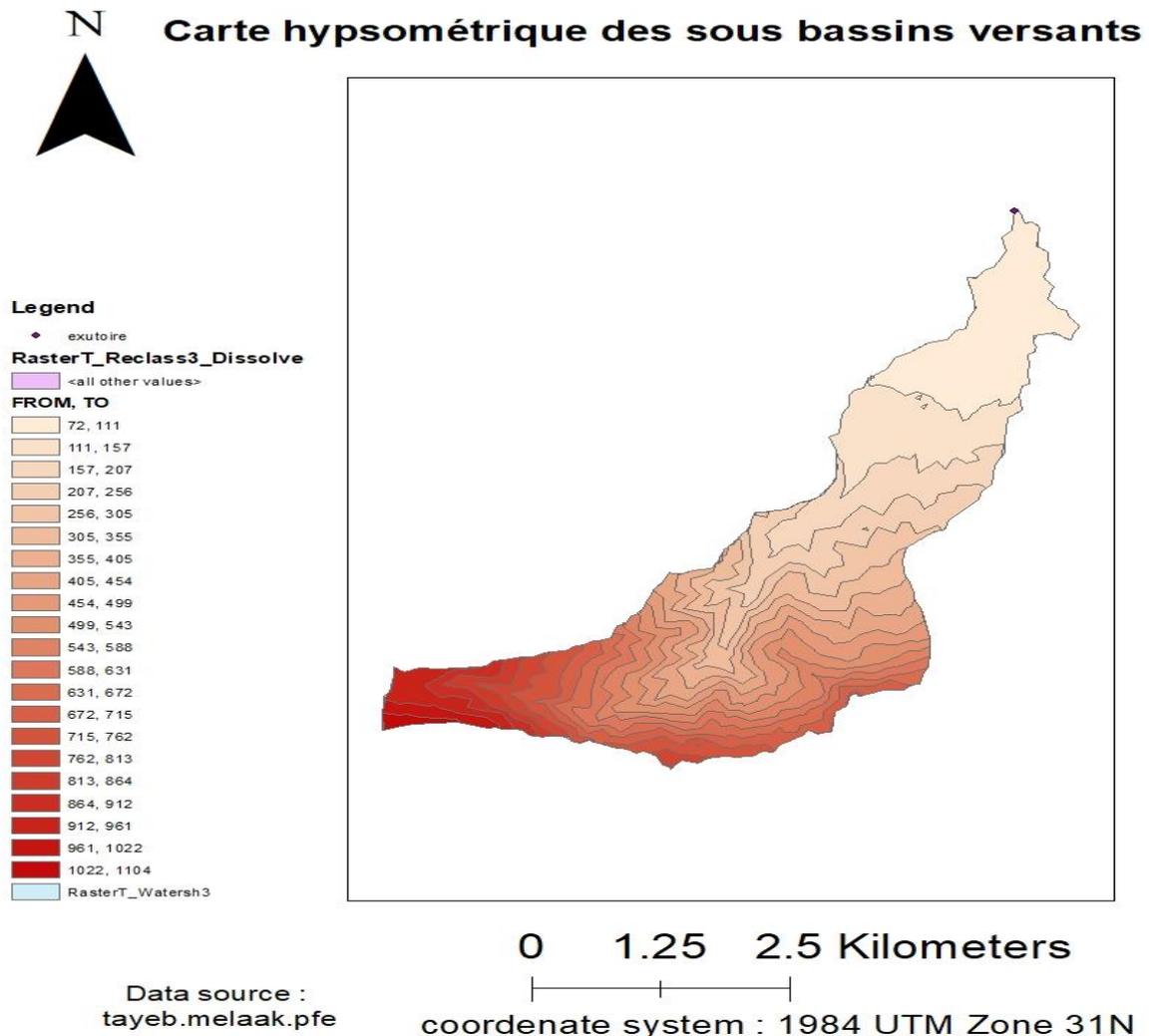


figure II-2: courbe hypsométrique du sous bassin versant

Tableau II-2 : détails de calcul de la courbe hypsométrique

courbe de niveau		altitude moyenne Hi (m)	surface partielle Si (km ²)	surface partielle Si (%)	surface cumulees Si (%)
80	100	90	1.92	12.2	12.2
100	150	125	1.95	12.4	24.7
150	200	175	1.18	7.5	32.2
200	250	225	1.18	7.5	39.7
250	300	275	0.81	5.2	44.9
300	350	325	0.83	5.3	50.2
350	400	375	0.75	4.8	54.9
400	450	425	0.83	5.3	60.2
450	500	475	0.9	5.7	66.0
500	550	525	0.96	6.1	72.1
550	600	575	0.75	4.8	76.9
600	650	625	0.7	4.5	81.3
650	700	675	0.9	5.7	87.1
700	750	725	0.57	3.6	90.7
750	800	775	0.3	1.9	92.6
800	850	825	0.22	1.4	94.0
850	900	875	0.23	1.5	95.5
900	950	925	0.37	2.4	97.8
950	1000	975	0.2	1.3	99.1
1000	1050	1025	0.08	0.5	99.6
1050	1100	1075	0.05	0.3	99.9
1100	1112	1106	0.01	0.1	100.0
			total	15.69	

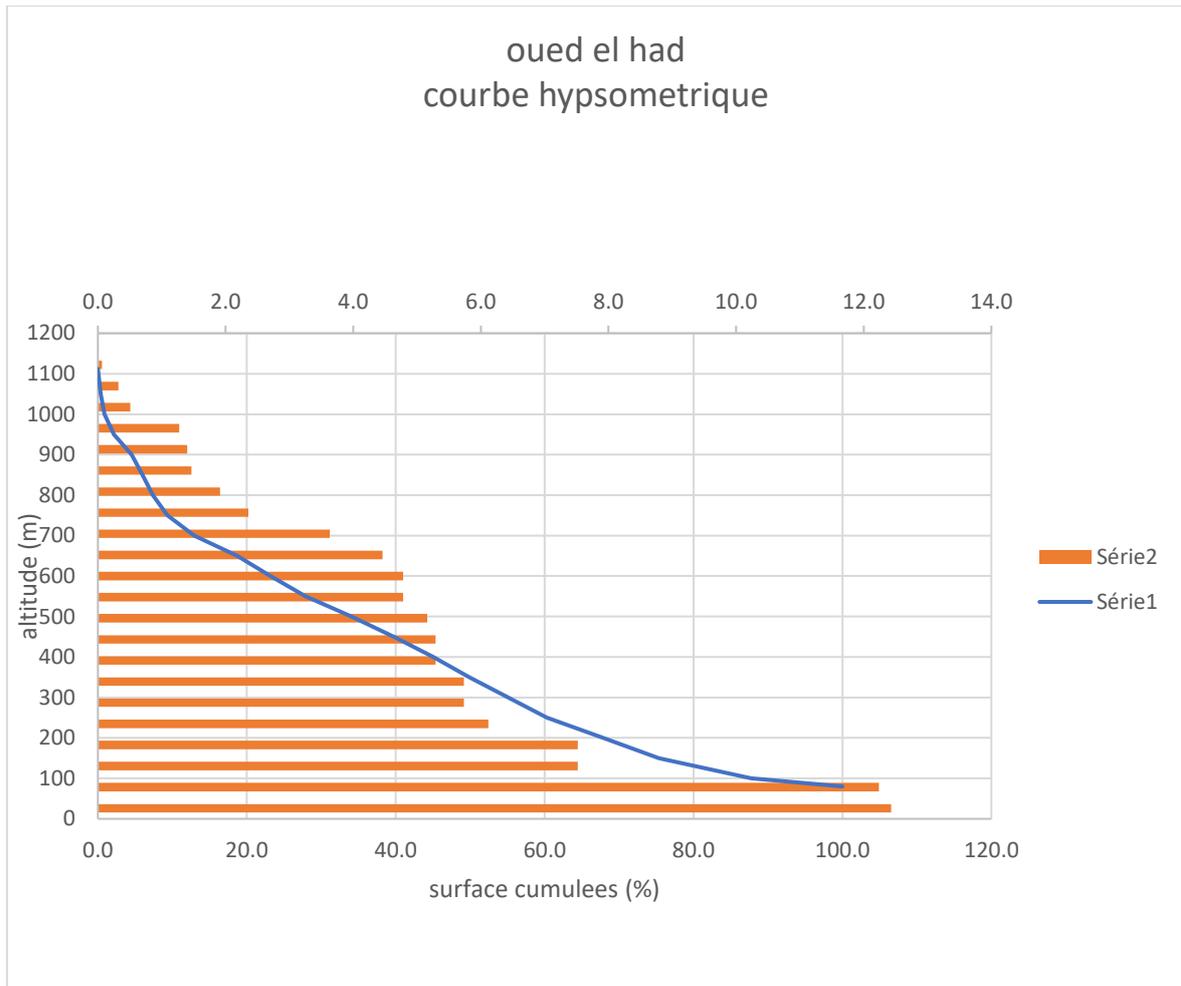


figure II-3 : Répartition des surfaces et la courbe hypsométrique de la zone d'étude

b. Détermination des altitudes :

• **Altitude maximale et minimale « Hmax, Hmin » :**

Elles déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente, déterminés d'après la carte topographique.

• **Altitude moyenne « Hmoy » :**

L'altitude moyenne du bassin est un paramètre crucial qui synthétise l'impact de la variation climatique en altitude. Elle se calcule en additionnant le produit des surfaces partielles (Si) délimitées par les courbes de niveau, et des altitudes moyennes correspondantes (Hi).

Analytiquement :

$$H_{moy} = \sum \frac{S_i \times H_i}{S}$$

- Si : surface partielle entre deux courbes de niveau (Km2) ;
- Hi : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau consécutives n-1 et n en (m) ;
- S : Superficie du bassin versant (Km2).

• **L'altitude médiane « Hméd » :**

- L'altitude médiane H5% : c'est la projection du point qui correspond à 5% de la surface cumulée sur la courbe hypsométrique.
- L'altitude médiane H50% : 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 dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière.
- L'altitude médiane H95% : c'est la projection du point qui correspond à 95% de la surface cumulée sur la courbe hypsométrique.

Tableau II-3 : caractéristiques altimétriques des sous bassins versants.

Sous bassin versant	Hmax	Hmin	Hmoy	H5	H50	H95
Bouinane	1112	80	391.04	840	351	90

c. Les indices de pente :

- L'objectif de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin versant afin de faciliter les comparaisons et les classifications.
- Ces pentes ont un impact direct sur le débit maximal lors de précipitations intenses.
- La carte des pentes offre une vision générale de la topographie de la région, principalement caractérisée par des pentes prononcées. Vers l'exutoire, les pentes deviennent très douces, conduisant à un relief plus plat.
- De même, la carte des courbes de niveau est une représentation topographique où le relief est dépeint à travers un système de courbes de niveau équidistantes.

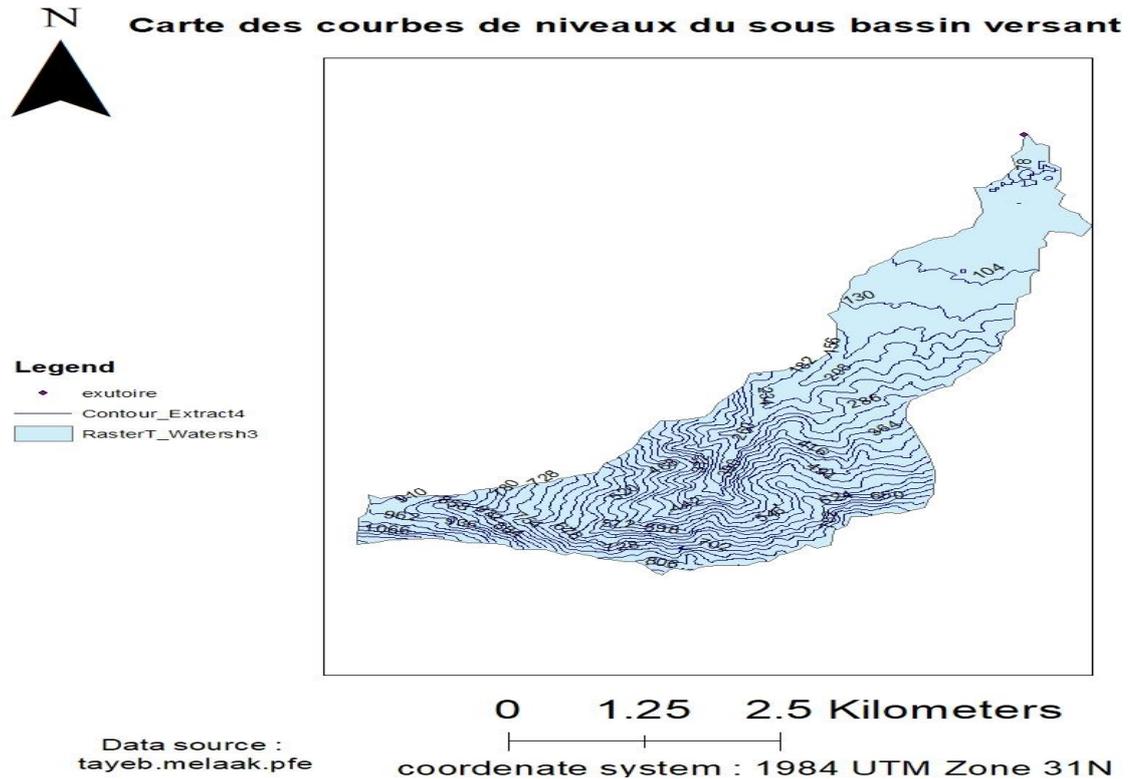


figure II-4 : carte des courbes de niveaux du sous bassin versant

✓ La pente des sous bassins versants :

Elle est définie par la formule suivante :

$$IBV = \frac{(H_{max} - H_{min})}{L_{cp}}$$

Avec :

- L_{cp} : longueur du cours d'eau principal(km).
- H_{max} et H_{min} : Altitudes maximale et minimale (m).

✓ La pente moyenne des sous bassins versants :

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle est considérée comme une variable indépendante. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct (donc sur le temps de concentration T_c) et influe directement sur le débit de pointe lors d'une averse (Touaibia, 2015).

▪La méthode proposée par Carlier et Leclerc (1964) consiste à calculer la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires comprises entre deux altitudes données. Une valeur approchée de la pente moyenne est alors donnée par la relation suivante :

$$ImBV = \frac{\Delta H(0.5L_1 + L_2 + L_3 \dots + 0.5L_n)}{S}$$

Avec

- ΔH : Dénivelés entre deux courbes de niveaux successives (m).
- L1, L2, ..., Ln : Les longueurs des courbes de niveaux (Km).
- S : Superficie du bassin versant (Km²).

Tableau II-4 :pente moyenne de sous bassin El Had.

courbe	longueur	delta h	longueur cumulee	surface bv	pente partielle
80-100	2.36	20	2.36	15629	0.85
100-150	1.86	50	4.22		2.69
150-200	1.33	50	5.55		3.76
200-250	0.88	50	6.43		5.68
250-300	0.59	50	7.02		8.47
300-350	0.47	50	7.49		10.64
350-400	0.44	50	7.93		11.36
400-450	0.26	50	8.19		19.23
450-500	0.26	50	8.45		19.23
500-550	0.27	50	8.72		18.52
550-600	0.25	50	8.97		20.00
600-650	0.27	50	9.24		18.52
650-700	0.29	50	9.53		17.24
700-750	0.26	50	9.79		19.23
750-800	0.19	50	9.98		26.32
800-850	0.45	50	10.43		11.11
850-900	0.23	50	10.66		21.74
900-950	0.39	50	11.05	12.82	
950-990	0.16	40	11.21	25.00	

✓ **Indice de pente M. ROCHE « Ip » :**

Ip est la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent, et pondérée par les surfaces comprises entre 2 courbes de niveau Hi est Hi-1. Il est donné par la Formule suivante :

$$Ip = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_i^n \sqrt{Si(Hi - Hi - 1)}$$

Avec :

- L : longueur de rectangle équivalent (m).
- Si : surface partielle (%) comprise entre 2 courbes de niveau consécutives ;
- Hi et Hi-1 : la distance entre les courbes de niveau appelée aussi dénivelée.

✓ **Indice de pente globale « Ig » :**

Cet indice permet de déduire la nature du relief en se référant à la classification de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre – Mer (ORSTOM) depuis 1998 sous l'appellation de l'Institut de recherche pour le développement (IRD).

Il est défini comme étant le rapport de l'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface du bassin et la longueur du rectangle équivalent. On prend deux points S1, est S2 sur l'axe de l'abscisse telle que 95% de la surface du bassin soit comprise entre ces deux valeurs et que 5% de la surface totale du bassin soit inférieure à S1 et 5% soit supérieure à S2 (Touaibia, 2015). Il est donné par la formule suivante :

$$Ig = \frac{D}{L} = \frac{(H5\% - H95\%)}{L}$$

Avec :

- D : Dénivelée entre H5% et H95% en (m).
- L : Longueur du rectangle équivalent en (m).
- H5% et H95% sont respectivement les altitudes correspondantes à S5% et S95%(m).

Tableau II-5 : Classification ORSTOM du relief à partir de l'indice de pente global.

Relief		Valeur de Ig
1	Relief très faible	Ig < 0.002
2	Relief faible	0.002 < Ig < 0.005
3	Relief assez faible	0.005 < Ig < 0.01
4	Relief modéré	0.01 < Ig < 0.02
5	Relief assez fort	0.02 < Ig < 0.05
6	Relief fort	0.05 < Ig < 0.1
7	Relief très fort	Ig > 0.1

Tableau II-6 : Indice de pente global pour le sous bassin versant

SBV	H5% (m)	H95% (m)	L (m)	Ig (m/m)	Classification
Elhad	840	90	1046	0.07	Relief fort

✓ **Indice de pente moyenne d'un cours d'eau « Ic » :**

La pente moyenne du cours d'eau détermine la rapidité avec laquelle l'eau atteint l'exutoire du bassin, influençant ainsi le temps de concentration et, par extension, le débit observé. Une pente prononcée favorise et accélère l'écoulement en surface, tandis qu'une pente plus douce ou nulle permet à l'eau de s'infiltrer, en partie ou totalement, dans le sol. Le calcul des pentes moyennes et partielles des cours d'eau repose sur le profil en long du cours d'eau principal et de ses affluents. La méthode la plus courante pour évaluer la pente longitudinale consiste à diviser la différence d'altitude entre les points extrêmes du profil par la longueur totale du cours d'eau. (Touaibia, 2015).

Il est donné par la formule suivante :

$$Ic = \frac{\Delta H}{L}$$

Avec :

- ΔH : dénivelée entre deux points suffisamment distants (m).
- ΔL : distance entre ces deux points (km).

✓ **La dénivelée spécifique « Ds » :**

Puisque l'indice de pente globale décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente. La dénivelée spécifique Ds ne présente pas cet inconvénient (Touaibia, 2015).

La dénivelée spécifique est définie par la formule suivante :

$$Ds = Ig\sqrt{S} = D\sqrt{\frac{I}{L}}$$

Avec :

- Ds : Dénivelée spécifique (m) ;
- Ig : Indice de pente globale (m/m) ;
- S : Superficie du bassin versant (Km²).
- La dénivelée spécifique « Ds » permet d'utiliser la classification de l'O.R.S.T.O.M. qui permet définir les différents types de relief des bassins versants quelque soient leurs superficies. La dénivelée spécifique est définie comme suit :

Tableau II-7 : type de relief des bassins versants

Classe	Intervalle	Type de relief
R1	Ds < 10 m	Relief très faible.
R2	10 < Ds < 25 m	Relief faible.
R3	25 < Ds < 50 m.	Relief assez faible.
R4	50 < Ds < 100 m	Relief modéré.
R5	100 < Ds < 250 m	Relief assez fort.
R6	250 < Ds < 500 m	Relief fort.
R7	Ds > 500 m	Relief très fort.

Les résultats de calcul des indices de pente sont compilés dans le tableau ci-après :

Tableau II-8: Résultats de calculs des pentes et la dénivelée spécifique du sous bassin

Paramètres	Symboles	Unités	Valeurs
Pente du bassin versant	IBV	m/Km	89,99
Pente moyenne de bassins versant	ImBV	m/Km	30.37
Indice de pente globale	Ig	m/m	0.72
Indice de pente moyenne du cours d'eau	Ic	m/m	4.42
Indice de pente de Roche	Ip	%	274.07
Dénivelée spécifique	Ds	m	283.87
Relief	/	/	Relief fort.

II.2.5 Étude du réseau hydrographique :

- **Caractéristiques du réseau hydrographique :**

On appelle ainsi l'ensemble des canaux de drainage naturels, permanents ou temporaires, par où s'écoulent les eaux provenant du ruissellement ou restituées par les nappes souterraines, soit sous forme de sources, soit par restitution continue le long du lit du cours d'eau (Roche, 1963).

La forme et la texture du réseau de drainage, sont étudiées pour identifier l'influence exercée par le sol et le substratum sur ces réseaux (Parvis, 1950).

L'analyse des réseaux hydrographiques et ses hiérarchisations, joue un rôle important dans la compréhension des mécanismes de ruissellement et de la genèse des crues. On peut classer les réseaux hydrographiques selon deux facteurs (Belazreg, 2019) :

❖ Hiérarchisation du réseau :

•Classification de Strahler (1957) : Cette classification permet de décrire sans ambiguïté le développement du réseau de drainage d'un bassin de l'amont vers l'aval. Elle se base sur les règles suivantes :

- Tout cours d'eau dépourvu de tributaires est d'ordre 1 ;
- Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau d'ordre différent prend l'ordre du plus élevé des deux ;
- Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau du même ordre est augmenté de 1 ;
- Un bassin versant à l'ordre le plus élevé de ses cours d'eau, soit l'ordre du cours d'eau principal à l'exutoire.

➤Le réseau hydrographique des sous bassins versants est représentée dans la figure
Figure : Réseau hydrographique des sous bassins versants.

• **Formes du réseau hydrographique :**

Les lois de Horton : rapport de confluence et rapport de longueur sont des formules empiriques qui permettent de différencier les formes du réseau hydrographiques.

○ **Rapport de la confluence « Rc » :**

C'est un élément important à considérer pour établir des corrélations d'une région à une autre. Selon Strahler (1964), le Rc varie de 3 à 5 pour une région où la géologie n'a aucune influence, il est défini par :

$$Rc = \frac{Nn}{Nn + 1}$$

Avec :

- Rc : rapport de confluence.
- Nn : nombre de cours d'eau d'ordre n.
- Nn+1 : nombre de cours d'eau d'ordre n+1

▪Rc exprime le développement du réseau de drainage. Lorsque le réseau est bien organisé, les nombres de cours d'eau successifs forment une série géométrique inverse.

Tableau II-9 : calcul du rapport de confluence pour sous bassin versant

ordre	Nombre de talwegs	Rc	Rc
1	109	3.76	3.01
2	29	5.80	
3	5	2.50	
4	2	2.00	
5	1	1.00	
6	1	/	

•Les deux valeurs de Rc sont compris entre $3 < RC < 5$ donc c'est une région où la géologie n'a

aucune influence pour un bassin circulaire c'est un rapport faible avec un réseau dendritique.

▪**Rapport des longueurs « RL » :**

C'est le rapport des longueurs moyennes des cours d'eau d'ordre n aux longueurs moyennes des

cours d'eau d'ordre n -1, donné par :

$$RL = \frac{Ln}{Ln + 1}$$

Avec :

- Ln : longueur de cours d'eau d'ordre n.
- Ln+1 : longueur de cours d'eau d'ordre n+1.

Tableau II-10: calcul du rapport des longueurs pour sous bassin versant

ordre	longueur(km)	RL	RL
1	31.42	1.74	2.20
2	18.08	3.01	
3	6.01	2.44	
4	2.46	0.62	
5	3.95	3.19	
6	1.24	/	

○ **Le profil en long :**

Le profil en long d'un cours d'eau est généralement présenté graphiquement pour illustrer comment l'altitude du lit du cours d'eau change en fonction de la distance de l'exutoire. Cette représentation aide à déterminer la pente moyenne du cours d'eau.

○ **La densité de drainage « Dd » :**

La densité de drainage est un paramètre utilisé pour décrire et estimer le temps de séjour des eaux souterraines. Elle est définie par Horton en 1945 et citée par Coulon en 2015. Cette densité représente le rapport entre la longueur totale du réseau hydrographique et la superficie du bassin versant, qui est un terrain où toutes les eaux s'écoulent vers un même point de sortie, soit :

$$Dd = \frac{\sum_{i=1}^n Li}{S}$$

Avec :

- Dd : Densité de drainage en km/km² ;
- $\sum Li$: La somme des longueurs de tous les cours d'eau considérés pour le bassin versant ;
- n : L'ordre le plus élevé dans la classification.
- S : La surface du bassin versant en km²

•Les résultats du calcul sont dans le tableau suivant :

Tableau II-11 : La densité de drainage de les deux sous bassins versants.

Sous bassin versant	n	S (Km ²)	$\sum Li$ (Km)	Dd (Km/km ²)
elhad	6	15.69	63.16	4.03

• **La densité hydrographique des thalwegs élémentaires « F1 » :**

La densité hydrographique représente le nombre de canaux d'écoulement par unité de surface.

Elle se définit par la formule suivante :

$$F1 = \frac{\sum N1}{S}$$

Avec :

- F1 : Densité hydrographique (Km⁻²) ;
- N1 : Nombre de cours d'eau d'ordre 1 ;
- A : Superficie du bassin versant (Km²).

• **Le coefficient de torrentialité « Ct » :**

Le coefficient de torrentialité est le produit de la densité de drainage par la fréquence des talwegs élémentaires. Il est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$Ct = Dd \times F1$$

Avec

- Dd : Densité de drainage en km/km² ;
- F1 : Densité hydrographique (Km⁻²).

•Les résultats de calcul sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II-12: La densité hydrographiques et le coefficient de torrentialité pour le sous bassin versant.

Sous bassin versant	S(Km ²)	N1	F1 (Km ⁻²)	Ct
elhad	15.69	109	6.95	27.97

La valeur du coefficient de torrentialité est grande ce qui montre que l'écoulement dans les talwegs d'ordre 1 est de grande torrentialité.

- **Le temps de concentration « Tc » :**

Le temps de concentration est le temps écoulé entre le début d'une précipitation et l'atteinte du débit maximal à l'exutoire du bassin versant. Il correspond au temps nécessaire pour permettre à l'eau de ruisseler du point le plus reculé du bassin versant jusqu'à l'exutoire (Nicolas, 2007). Il est composé de trois termes différents :

Th : Temps d'humectation, c'est le temps nécessaire à l'imbibition du sol par l'eau qui tombe avant qu'elle ne ruisselle ;

Tr : Temps de ruissellement, ou d'écoulement, c'est le temps qui correspond à la durée d'écoulement de l'eau à la surface ou dans les premiers horizons de sol jusqu'à un système de collecte (cours d'eau naturel, collecteur) ;

Ta : Temps d'acheminement, c'est le temps mis par l'eau pour se déplacer dans le système de collecte jusqu'à l'exutoire. Tel que :

$$Tc = \max(\sum(T_h + T_r + T_a))$$

Les méthodes et les formules utilisées reflètent un caractère régional, étant déterminées par des paramètres spécifiques à la région où ces formules ont été développées. Il est généralement nécessaire de choisir la formule la plus adaptée au type de bassin versant analysé, en privilégiant celle qui semble applicable et qui a été élaborée dans des conditions physiogéographiques similaires à celles de la partie Nord de l'Algérie (Bennis, 2004). Pour estimer le temps de concentration, on se base sur les formules empiriques suivantes :

- **Formule de Kirpich 1940 :**

Cette méthode est adaptée aux bassins versants dont la superficie varie entre 0,4 ha et 81 ha, dont les sols sont argileux et dont la pente moyenne est comprise entre 3% et 10% (Bennis, 2004). Le temps de concentration est alors calculé à partir de l'équation suivante :

$$Tc = 0.0663 \frac{Lcp^{0.77}}{I_g^{0.385}}$$

Avec :

- Tc : Temps de concentration (h).
- Lcp : Longueur du cours d'eau principal (m).
- Ig : Indice de pente globale (%)

- **Formule de Giandotti 1937 :**

La formule est donnée par :

$$Tc = \frac{4\sqrt{S} + 1.5 \times Lcp}{0.8 \times \sqrt{(H_{moy} - H_{min})}}$$

Avec :

- Tc : Temps de concentration (h) ;

- Hmoy et Hmin : Altitudes moyenne et minimale du bassin versant (m) ;
- S : Surface du bassin versant (km²) ;
- Lcp : Longueur du cours d'eau principal (km).
- **Formule de ANRH (1986/1989) :**

La formule est donnée par :

$$Tc = \left(\frac{0.87 \times Lcp^3}{Hmoy - Hmin} \right)^{0.385}$$

Avec :

- Tc : Temps de concentration (h) ;
 - Hmoy et Hmin : Altitudes moyenne et minimale du bassin versant (m) ;
 - Lcp : Longueur du cours d'eau principal (km)
-
- **Formule de Solovsky (1968) :**

La formule est donnée par :

$$Tc = 4 \times \left(\frac{S \times Lcp^{0.333}}{\sqrt{IBV}} \right)^{0.75}$$

Avec :

- Tc : Temps de concentration (h) ;
- Ibv : Pente du bassin versant (m/km) ;
- S : Surface du bassin versant (km²) ;
- Lcp : Longueur du cours d'eau principal (km).

Pour les petits cours d'eau, la vitesse du ruissellement selon l'auteur est de 1,5m/s

- **Formule de Ventura :**

La formule est donnée par :

$$Tc = 0.1275 \times \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{IBV}}$$

Avec :

- Tc : Temps de concentration (h) ;
- Ibv : Pente du bassin versant (m/km) ;
- S : Surface du bassin versant (km²).

- **Formule de Turazza :**

La formule est donnée par :

$$T_c = \frac{0.108 \times (S \times L_{cp})^{1/3}}{I_c^{0.5}}$$

Avec :

- T_c : Temps de concentration (h) ;
- S : Surface du bassin versant (km²) ;
- I_c : Pente du cours d'eau principal (m/m).
- L_{cp} : Longueur du cours d'eau principal (km).

• **Formule Espagnole :**

La formule est donnée par :

$$T_c = 0.126 \times 60 \times \left(\frac{L_{cp}}{I_c^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Avec :

- T_c : Temps de concentration (h) ;
- I_c : Pente moyenne du cours d'eau principale ;
- L_{cp} : Longueur du cours d'eau principal (km).

• Les résultats obtenus pour le sous bassin versant étudié sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau II-13: Résultats du calcul du temps de concentration en heure pour le sous bassin étudié.

formule	T _c (h)
kiripich	0.90
sokolovsky	3.76
giandotti	2.32
sogreah-anrh	2.27
turazza	0.16
ventura	0.05
espagnole	28.76

En observant les données, on remarque une variation significative des temps de concentration entre les différentes formules. Certains temps de concentration sont assez courts, comme ceux associés aux formules "turazza" et "ventura", tandis que d'autres sont beaucoup plus longs, comme celui de la formule "espagnole". Nous avons sélectionné les valeurs associées aux formules de Sokolovsky, Giandotti et Sogreah-ANRH, une justification possible de ce choix est que ces trois formules présentent des valeurs de temps de concentration relativement proches les unes des autres.

•Le tableau suivant donne les valeurs du temps de concentration retenus :

Tableau II-14: les valeurs du temps de concentration retenus

Formules .	Tc (h)
sokolovsky	3.76
giandotti	2.32
sogreah-anrh	2.27
Valeur retenue moyenne	2.78

• **Vitesse de ruissellement « Vr » :**

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 météorologiques qui ont échappé à l'infiltration, à l'évaporation et au stockage superficiel. C'est, tout simplement, le rapport entre la longueur parcourue par le temps de concentration :

$$Vr = \frac{Lcp}{Tc} \quad (III.30)$$

Avec :

- Vr : vitesse de ruissellement (km/h) ;
- Lcp : Longueur du cours d'eau principal (km) ;
- Tc : Temps de concentration (h).

On résume les résultats de calcul des paramètres hydrographiques dans le Tableau n° (III.21) :

Tableau II-15: Paramètres hydrographiques du sous bassin versant

Paramètres	Symbole	Unités	Sous bassin
Densité de drainage	Dd	Km/km2	4.03
Densité hydrographique	F1	Km-2	6.95
Coefficient de torrentialité	Ct	-	27.97
Temps de concentration	Tc	heures	2.78
Vitesse de ruissellement	Vr	Km/h	4.05

•Ci-dessous le tableau qui résume les caractéristiques géomorphologiques des deux sous bassins versants.

Tableau II-16: Caractéristiques géomorphologiques des deux sous bassins versants

Paramètres		Symbole	Unités	Sous bassin
Surface		S	Km ²	15.69
Périmètre		P	Km	24.1
Longueur du thalweg principal		L _{CP}	Km	11.29
Indice de compacité		K _G	/	1.70
Coefficient d'allongement		C _a	/	8.12
Rectangle équivalent	Longueur	L	Km	10.47
	Largeur	l		1.50
Altitude	Maximale	H _{MAX}	m	1106
	Moyenne	H _{MOY}		391.04
	Minimale	H _{MIN}		90
	Médiane	H _{5%}		840
		H _{50%}		351
H _{95%}		90		
Pente du bassin versant		I _{BV}	m/Km	89.99
Pente moyenne de bassin versant		I _{mBV}	m/Km	30.37
Indice de pente globale		I _g	m/m	0.07
Indice de pente moyenne du cours d'eau		I _c	m/m	4.43
Indice de pente de Roche		I _p	%	14.34
Dénivelée spécifique		D _s	m	283.87
Densité de drainage		D _d	Km/km ²	4.03
Densité hydrographique		F ₁	Km-2	6.95
Coefficient de torrencialité		C _t	/	27.97
Temps de concentration		T _c	Heures	2.78
Vitesse de ruissellement		V _r	Km/h	4.05

II.3 Etude des crues

Dans le cadre d'un projet de protection contre les inondations, calculer le débit de pointe constitue une étape cruciale. Ce calcul est essentiel pour sélectionner les aménagements appropriés et délimiter les zones inondables. Après avoir identifié et étudié les bassins versants de la zone concernée, cette étape vise à estimer les débits lors de crues pour des périodes de retour variant de 10 à 100 ans.

II.3.1 L'analyse fréquentielle des pluies des crues maximales annuelles avec la station hydrométrique Bouinane :

L'analyse fréquentielle d'une longue série de débits maximaux permet d'évaluer la périodicité d'un événement particulier. Cette prédiction repose sur l'élaboration et l'application d'un modèle fréquentiel, qui consiste en une équation représentant le comportement statistique d'un processus. Ces modèles décrivent la probabilité d'occurrence d'un événement d'une valeur donnée. La validité des résultats de l'analyse fréquentielle dépend en grande partie du choix du modèle fréquentiel, en particulier de son type. Dans cette étude, nous avons choisi d'utiliser une loi d'ajustement statistique. Ces lois sont largement utilisées pour ajuster les séries de pluies maximales et les débits correspondants.

II.3.1.1 Présentation de la station hydrométrique

La première étape dans l'étude de l'aménagement consiste à réaliser une étude des précipitations maximales annuelles, en vue de déterminer les pluies extrêmes correspondant à différentes périodes de retour. Pour ce faire, il est indispensable de disposer d'une série pluviométrique contenant les données des précipitations maximales annuelles sur la période la plus longue possible.

La figure suivante montre la situation de la station choisie :



figure II-5 situation de la station

La station hydrométrique dispose d'une série d'observations de (21) années, allant de 1972/1973 à 1993/1994 et elle n'enregistre aucune lacune.

➤ Les caractéristiques de la station sont montrées dans le tableau suivant :

Tableau II-17 Les caractéristiques de la station hydrométrique

station	code	coordonnees			N d'annees
		X(m)	Y(m)	Z(m)	
Rocher des pigeons	021301	742	328.6	1030	21

➤ Le tableau suivant représente la répartition des débits maximaux annuels de la station prise :

Tableau II-18 : Série des débits maximaux annuels prise de la station 021301 (Source : ANRH Blida)

N	Année	Qmax(m ³ /s)
1	1973	203.03
2	1974	541.16
3	1975	41.56
4	1976	112.63
5	1977	69.82

6	1978	57.72
7	1979	61.77
8	1980	90.87
9	1981	57.72
10	1982	29.23
11	1983	29.46
12	1984	20.68
13	1985	48.18
14	1986	114.23
15	1987	100.17
16	1988	27.99
17	1989	299.89
18	1990	62.44
19	1991	227.33
20	1992	560.651
21	1993	13.30
22	1994	251.05

➤ Les caractéristiques de la série pluviométrique sont déterminées à l'aide de logiciel HYFRAN PLUS, représentées dans le tableau suivant :

Tableau II-19 : Caractéristiques de la série des débits de la station 021301.

Caractéristiques	Valeurs
Moyenne des Qmax en (m ³ /s)	137
Écart type « σ_x » ; Pour n >30 ans	156
Coefficient de variation « Cv »	1.13

II.3.1.2 Choix du modèle fréquentiel :

La fiabilité des résultats d'une analyse fréquentielle repose essentiellement sur la sélection appropriée du modèle fréquentiel, en particulier de son type. Bien qu'il existe plusieurs approches pour aider à faire ce choix, aucune méthode universelle et infaillible n'a malheureusement été identifiée.

À partir d'un échantillon de n observations, on construit un histogramme de fréquence d'apparition ainsi qu'une courbe de fréquence cumulée de non-dépassement. Lorsque le nombre n devient important, on cherche à déterminer la loi de distribution de la population. À ce stade, les fréquences sont converties en densités de probabilité, ce qui permet une analyse plus précise et plus sophistiquée des données.

- Parmi les lois d'ajustement on a :
 - Loi normale : est un modèle fréquentiel où les valeurs observées pour une population donnée tournent autour de la moyenne de l'échantillon. Par conséquent, les valeurs s'écartant de cette dernière sont très peu fréquentes, dépend des variables suivantes : Précipitations annuelles, Débits, Volume de stockage des réservoirs.
 - Log normale : La loi log-normale est un cas particulier de la loi normale. Les conditions de formation de la loi log-normale sont identiques à celles de la loi normale, à la différence que les facteurs agissent de manière multiplicative et non additive, dépend des variables suivantes : Débits maximum annuels, Précipitations journalières, Précipitations annuelles, Volume du ruissellement mensuel, Volume du ruissellement annuel.
 - Loi de Gumbel : Appelée aussi loi double exponentielle, Cette loi est asymétrique et sert à l'estimation des valeurs extrêmes des variables hydrologiques. Elle est très appréciée vu sa simplicité, dépend du débit maximum annuel.
 - Pearson type III (Gamma) : elle dépend des variables suivantes : Débits maxima annuels, Précipitations journalières, Précipitations annuelles, Volume du ruissellement mensuel, Volume du ruissellement annuel.
 - Loi de Goodrich : elle dépend des Valeurs moyennes annuelles (débits, précipitations...).
- Les lois d'ajustement choisies sont :
 - La loi de Gumbel (droite de Henry) ;
 - La loi de log-normale (droite de Galton).
- Dans notre étude on suit les étapes suivantes :
 - a. Classer la série des précipitations par ordre croissant ;
 - b. Calcule de la fréquence expérimentale ;
 - c. Calcule des caractéristiques empiriques de la série de donnée ;
 - d. Ajuster graphiquement la loi choisie ;
 - e. Calculer le quantile et son intervalle de confiance ;
 - f. La loi de log-normale (droite de Galton).

a. Ajustement de la série par la loi de Gumbel :

C'est une loi à décroissance exponentielle, elle s'ajuste, pour des durées de 1 heure à quelques jours, sur les maxima de 10 ou 15 jours, maxima mensuels, maxima saisonniers ou maxima annuels. Son avantage est d'étirer l'échelle de distribution au-delà de la probabilité 0,90. C'est une fonction double exponentielle (Layan et al., 2007).

$$F(x) = \exp^{-\exp\left(\frac{-(x-x_0)}{a}\right)}$$

Avec :

a : est le Gradex, qui signifie le gradient de l'exponentiel (paramètre d'échelle) ;

x₀ : est le paramètre de position (le mode) ;

a et x₀ ont la même dimension que la variable ;

$$U = -\ln(-\ln(F(x))) = \frac{x - x_0}{a} \quad (III.32)$$

U : est appelée variable réduite de Gumbel.

➤ L'ajustement de la série à la loi de Gumbel a été établi par le logiciel Hyfran, les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II-20 : Résultats d'ajustement à la loi de Gumbel de la station 021301

Période de retour (ans)	Probabilité de fréquence (q)	Qmaxj (m3 /s)	Écart type	Intervalle de confiance
1000	0.999	905	192	529 - 1280
200	0.995	710	149	418 - 1000
100	0.99	625	130	370 - 881
50	0.98	541	112	322 - 760
20	0.95	428	87.5	256 - 599
10	0.9	340	69.3	205 - 476
5	0.8	249	51.3	149 - 350

La représentation des observations sur du papier normal est présentée dans la figure suivante

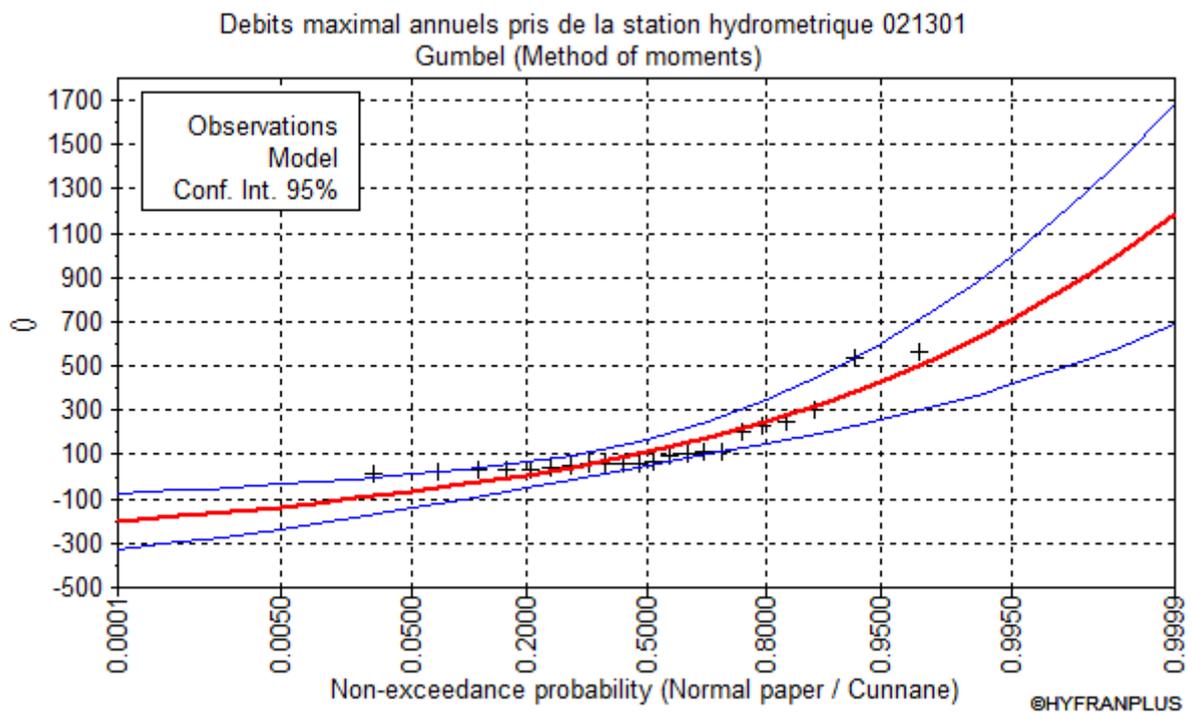


figure II-6 : Représentation graphique de la loi de Gumbel de la station (021301).

➤ Les résultats de la comparaison des caractéristiques de la loi de Gumbel et de l'échantillon, sont montrés dans le tableau suivant :

Tableau II-21 : : Comparaison des caractéristiques de la loi de Gumbel et de l'échantillon

Paramètres	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	Aucun	13.3
Maximum	Aucun	561
Moyen	137	137
Écart type	156	156
Médiane	112	66.1
Coefficient de variation Cv	1.13	1.13
Coefficient d'asymétrie Cs	1.14	1.91
Coefficient d'aplatissement Ck	2.40	4.71

b. Ajustement de la série par la loi log normale « loi de Galton » :

On dit qu'une Variable aléatoire x a une distribution log normal lorsque : $v = \ln x$ est normal. La loi de Galton résulte de la loi normale mais rendue dissymétrique par un changement de variable.

➤ L'ajustement de la série à la loi de Log-Normal a été également établi par le logiciel Hyfran, les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II-22 : Résultats d'ajustement à la loi log normale de la station 021301.

Période de retour (ans)	Probabilité de fréquence (q)	Qmaxj (m ³ /s)	Écart type	Intervalle de confiance
1000.0	0.9990	1950	1040	N/D
200.0	0.9950	1150	531	N/D
100.0	0.9900	891	381	N/D
50.0	0.9800	674	263	158 - 1190
20.0	0.9500	444	150	149 - 739
10.0	0.9000	306	91.0	128 - 485
5.0	0.8000	195	49.8	97.5 - 293

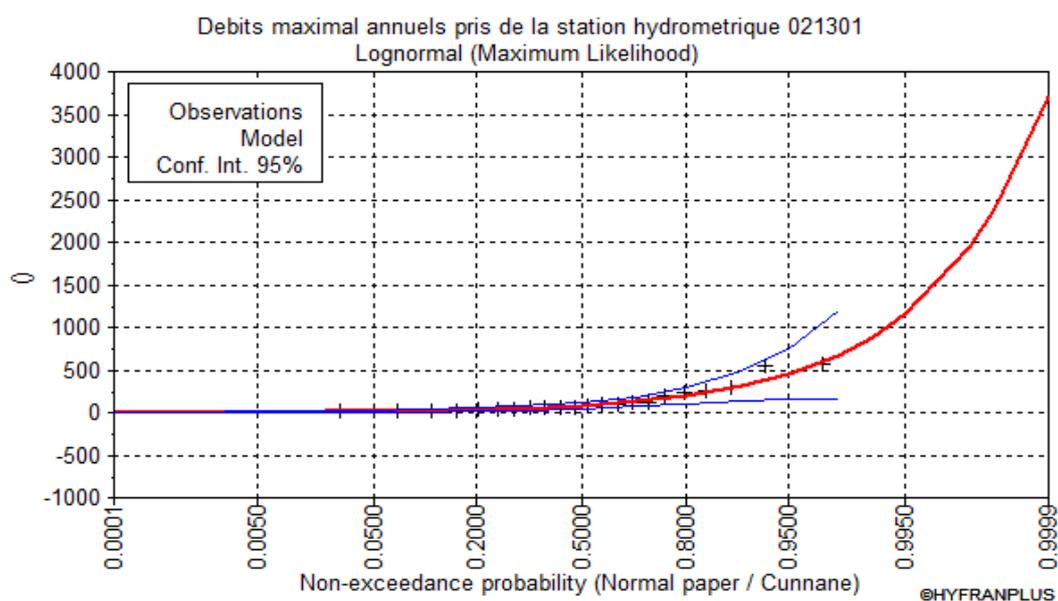


figure II-7 Représentation graphique de la loi log normale de la station 021301.

La représentation des observations sur du papier normal est présentée dans la figure suivante :

➤ La comparaison entre les caractéristiques de la loi de Log Normal et de l'échantillon, est montrée dans le tableau suivant :

Tableau II-23: Comparaison des caractéristiques de la loi log normale et de l'échantillon.

Paramètres	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	0	13.3
Maximum	Aucun	561
Moyen	139	137
Écart type	189	156
Médiane	82.5	66.1
Coefficient de variation Cv	1.16	1.13
Coefficient d'asymétrie Cs	6.58	1.91
Coefficient d'aplatissement Ck	133	4.71

c. Choix de la loi d'ajustement :

Il existe toujours des écarts entre les fréquences expérimentales des valeurs observées et les fréquences des mêmes valeurs calculées à partir d'une fonction de répartition quelconque. L'ajustement graphique est la première étape mais reste insuffisante pour le choix définitif de la loi théorique. Le test statistique d'adéquation consiste à comparer l'adéquation de plusieurs lois afin d'adopter le moins mauvais ajustement(Touaibia, 2015).

Le test le plus utilisé c'est le test de χ^2

- {Ajustement graphique visuelle (la méthode visuelle) :

La figure II.07, montre les graphiques des résultats obtenus. Ils représentent les probabilités empiriques et théoriques des distributions Gumbel et Log Normale à l'aide du logiciel Hyfran-Plus.

Visuellement, on ne peut pas choisir l'ajustement le plus adéquat c'est pour cela on procède à l'analyse statistique.

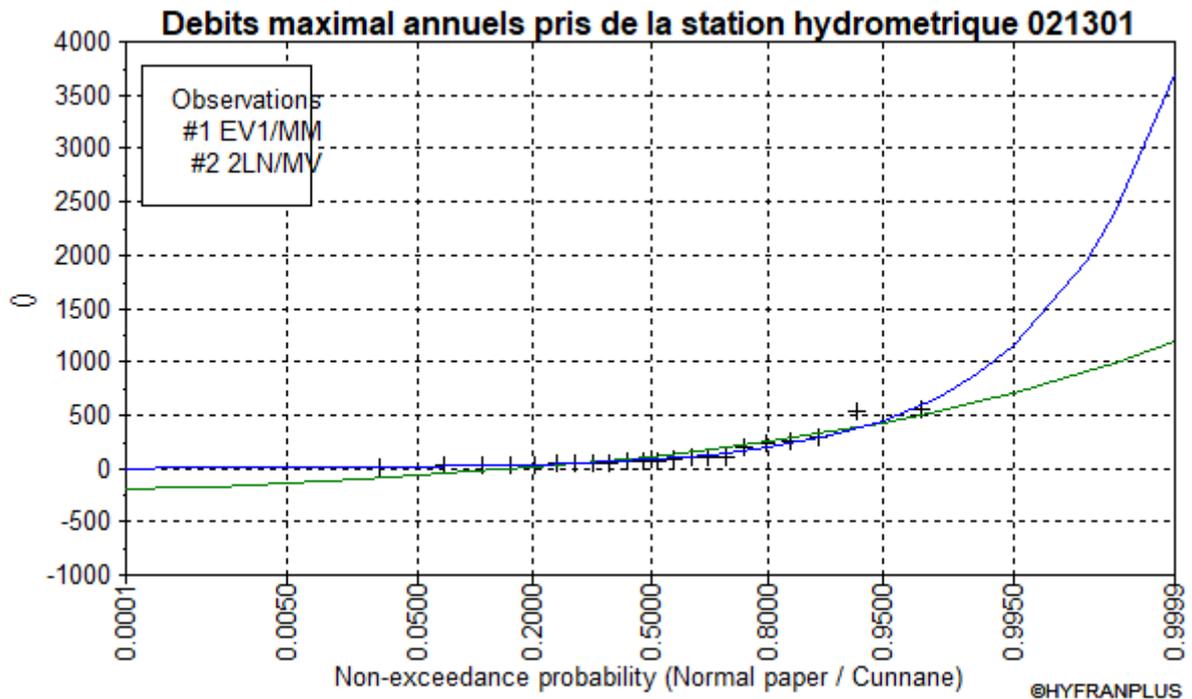


figure II-8: Graphe comparatif des résultats d'ajustement par la méthode de Gumbel et Log normale pour la station 021301.

Le test d'adéquation de χ^2 :

Le but d'un test d'adéquation (d'ajustement) est de vérifier que le modèle choisi est cohérent avec les données, plus exactement nous allons construire une procédure de test afin de vérifier si l'hypothèse que les observations sont issues d'une loi donnée est valide. Le test le plus usuel est celui du khi carré (χ^2) (Touaibia, 2015).

Le test de Khi carré (χ^2) est utilisé pour un seuil de signification α imposé en général à 5%, et un degré de liberté « γ » : $\gamma = k - m - 1$: tel que k c'est le nombre de classe et m c'est le nombre de paramètre de la loi.

La variable aléatoire χ^2 , dont la répartition a été étudiée par Person, est définie par l'expression suivante :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - \mu_i)^2}{\mu_i}$$

Avec :

- n_i : Nombre d'observation contenue dans la classe i ;
- μ_i : Nombre d'observation théorique calculée dans la classe i.

- Ce test n'est significatif que si $\mu_i > 5$.

On compare χ^2 calculé avec la valeur tabulée (théorique), χ^2 tabulé fonction du nombre de degré de liberté et du seuil de signification α et γ représentée dans l'annexe n° 03 :

- ✓ Si χ^2 calculé $>$ χ^2 tabulé, μ : on rejette l'hypothèse nulle.
- ✓ Si χ^2 calculé \leq χ^2 tabulé, μ : la loi d'ajustement sera retenue.

➤ Les résultats obtenus par le test de khi carré ont été faits par logiciel Hyfran-plus et sont représentés dans le tableau ci-dessus :

Tableau II-24: Résultats du test de χ^2 de la station Hydrométrique 021301

Loi de distribution	Degré de liberté γ	Nombre de classe	χ^2 calculé	χ^2 théorique
Gumbel	3	6	10.73	10.52
Log Normal	3	6	4.18	4.23

Selon les résultats obtenus du test khi carré et d'ajustement, la série des débits maximums annuels présente un ajustement adéquat à la loi Log Normale.

II.3.2 Détermination des débits maximums fréquentiels par la méthode du Gradex :

II.3.2.1 Description de la méthode :

La méthode du Gradex est considérée comme étant une approche hydro pluviométrique probabiliste inhérente au calcul des débits de crues extrêmes d'un cours d'eau pour des périodes de retour allant de 100 à 10000 ans, elle est développée par (Guillot & Durand, 1969).

Elle s'applique à des bassins versants de quelques dizaines à plusieurs milliers de km² (jusqu'à 5000 km²), recevant des pluies relativement homogènes du point de vue spatial.

La méthode du GRADEX, en s'appuyant sur l'information pluviométrique, constitue une amélioration substantielle des méthodes de prédétermination des crues basées sur le traitement statistique des seules valeurs de débits observés (Garavaglia, 2011).

II.3.2.2 Principe de la méthode :

La méthode part du principe que lorsque le débit dépasse une certaine valeur, le sol est saturé. Cette valeur, nommée débit seuil (ou point pivot), peut varier du débit décennal au débit cinquantennal, selon les sols et les caractéristiques du bassin versant. Ainsi, pendant le temps de base de ruissellement D (assimilé à la durée caractéristique), tout accroissement de pluie induit le même accroissement en débit (Egis Eau, 2013).

Le principe de cette méthode, qui s'appuie sur les observations climatologiques historiques, est de déduire le comportement asymptotique de la loi de probabilité des volumes de crues rares de la loi de probabilité des cumuls des pluies extrêmes. En effet la

valeur moyenne de la capacité de rétention du bassin tend à devenir constante pour les crues du période de retour décennal (Lang et al., 2009).

La méthode du Gradex fournit un support de calcul cohérent et vraisemblable en s'appuyant sur une approche fréquentielle des précipitations locales ou régionales intenses, Cette approche se fait essentiellement par l'intermédiaire d'un paramètre proportionnel à l'écart type des fortes précipitations (P_{jmax}). On nomme ce paramètre fondamental le Gradex (gradient des valeurs extrêmes). Le Gradex est invariant climatologique local dépendant de la situation géographique.

II.3.2.3 Hypothèses de la méthode :

Le postulat de base de la méthode est l'existence d'une relation entre la distribution des débits et celle des pluies génératrices. Cette méthode repose sur trois hypothèses suivantes (Garavaglia, 2011) :

- ✓ Hypothèse 1 : La fonction de répartition des précipitations tombant sur le bassin est asymptotiquement, décrite par une loi de Gumbel ou par une loi exponentielle selon le type d'échantillonnage utilisé. Le Gradex correspond à la pente de la fonction de répartition sur un graphique représentant la pluie en fonction du logarithme de la période de retour.
- ✓ Hypothèse 02 : Le déficit d'écoulement, défini comme la différence entre le volume d'eau précipité et le volume d'eau écoulé à l'exutoire du bassin versant pendant un pas de temps équivalent, n'augmentent plus, en valeur moyenne, au-delà d'une certaine valeur de pluie. En d'autres termes, nous pouvons dire que, à partir d'un certain état de saturation du bassin versant, la distribution du déficit d'écoulement ne dépend plus de la valeur de pluie ou de débit. Cette hypothèse se traduit graphiquement par un parallélisme entre la fonction de répartition des précipitations et celle des écoulements au pas de temps équivalent point de départ de cette extrapolation, nommé point pivot, est fixé à une période de retour T_p comprise, le plus souvent, entre 10 et 50 ans selon le bassin versant considéré.
- ✓ Hypothèse 03 : Quelle que soit sa fréquence ou durée de retour, le débit de pointe de crue (valeur maximale observée) peut être calculé à partir du volume écoulé (sur le pas de temps considéré) en utilisant un coefficient multiplicatif moyen caractéristique du bassin versant. Ce coefficient, nommé coefficient de forme ou coefficient d'affinité, peut être estimé à partir des hydrogrammes de crues enregistrées sur le bassin versant.

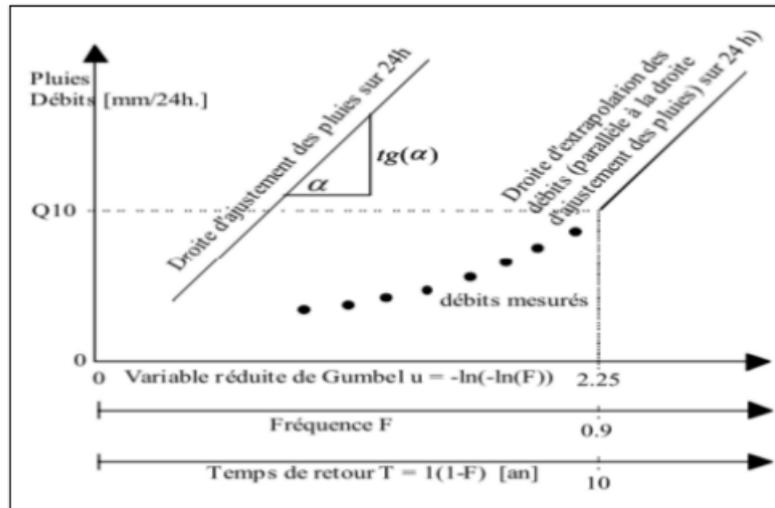


figure II-9 : Graphe représente ajustement graphique pour les pluies et droite d'extrapolation pour les débits (Laborde, 2000).

II.3.2.4 Les étapes de la méthode :

Choisir le pas de temps n heures (généralement égale à la moyenne des temps de base des hydrogrammes de crues disponibles, Pour la commodité des calculs on retiendra une valeur très arrondie, par exemple 2, 4, 6 ... 48 heures.).

Ajuster par la loi de Gumbel des pluies maximales journalières.

↓ Calculer le Gradex des précipitations « a » (pente de la droite de Gumbel).

$$p(mm) = a\mu + b \quad (III.33)$$

Avec :

- μ : Variable réduite de Gumbel.

Ajustement de la série des débits observés à la loi de Gumbel et déterminer le débit décennal (point pivot de l'extrapolation des débits).

Exprimer le débit décennal en lame d'eau équivalente par la formule :

$$R(mm) = \frac{Q(m^3 s /) \times 3.6 \times n(heures)}{S(Km^2)} \quad (III.34)$$

{ Extrapoler la distribution des débits au-delà de 0.9 (T=10 ans) par une droite de pente égale au Gradex de la pluie.

$$Q(\mu\%) = a * \mu + b' \quad (III.35)$$

Avec :

- ✓ a : Gradex de la pluie ;
- ✓ μ : Variable réduite de Gumbel.

$$\mu = -\ln(-\ln(F)) \quad (III.36)$$

$$F = \frac{1}{1-T} \quad (III.37)$$

▪Pour T=10 ans :

$$b' = Q_{10ans} - a\mu \text{ (III.38)}$$

▪Tracer la droite de l'équation $Q(\mu\%) = a * \mu + b'$ sur le même graphe que l'ajustement de P_{jmax} .

▪Ensuite tirer les Q pour chaque période de retour (en mm). Puis Exprimer ces débits en m³/s par la formule :

$$Q(m^3 / s) = S \frac{(Km^2) \times Q(mm)}{3.6 \times n(h)} \text{ (III.39)}$$

Calcul de débit de pointe :

▪Calculer sur les hydrogrammes des crues observées le rapport « CP » « coefficient de pointe » :

$$Cp = \frac{Q_{max}}{Q_{moy}}$$

$$QP(m^3 / s) = Cp * Q(m^3 / s)$$

▪Remarque : Si on n'a pas d'enregistrements des crues dans le bassin étudié, on estime par analogie avec d'autre bassins voisins et de même grandeur le temps de base et le débit décennal

II.3.2.5 Application de la méthode :

On a pris trois stations pluviométriques pour les observations des séries de pluies maximales journalières.

▪Les caractéristiques des stations sont montrées dans le Tableau n° III.31 :

Tableau II-25: Caractéristique des stations pluviométriques (Source : ANRH Alger).

station	code	coordonnees			N d'annees
		X(m)	Y(m)	Z(m)	
SOUMAA	021234	517.45	355.9	177	30

Tableau II-26: Répartition des précipitations maximales journalières prise de la station Soumaa.

Année	P _{jmax} (mm)
1993	68.6
1994	53.3
1995	94.4
1996	53.1
1997	68.5
1998	33.7

ÉTUDE HYDROLOGIQUE

1999	39.5
2000	39.2
2001	35.3
2002	60.5
2003	63.4
2004	54.1
2005	89.5
2006	39.2
2007	49.1
Année	Pjmax (mm)
2008	72
2009	41
2010	49.4
2011	68.6
2012	108
2013	50
2014	47
2015	48.5
2016	60
2017	81
2018	63
2019	63
2020	23.5
2021	73
2022	40

a. Ajustement de la série à la loi du Gumbel :

Les équations de la droite de Gumbel pour chaque station pluviométrique en utilisant le logiciel Hyfran-Plus sont données ci-dessous :

La station de Soumaa :

$$p(mm) = 14.93 \mu + 49.03$$

Donc le Gradex $a=14.93$.

b. Choix du pas de temps :

Après l'examen des enregistrements de la crue de la station de Soumaa, on a estimé le temps de base $n=24h$.

c. On n'avait pas d'enregistrements des crues dans la zone étudiée, alors on estime par analogie avec le bassin versant d'Oued Bou Sellam, de même grandeur le temps de base et le débit décennal,

tel que :

$$\frac{Q}{S} = \frac{Q'}{S'}$$

- $Q'_{10 \text{ ans}} = 5.27 \text{ m}^3/\text{s}$;
- $S' = 387 \text{ km}^2$.

$$\frac{Q}{15.69} = \frac{5.27}{387}$$

Donc :

- $Q_{10 \text{ ans}} = 0.21 \text{ m}^3/\text{s}$.

d. On exprimer le débit décennal en lame d'eau équivalente :

Par la formule :

$$R(mm) = \frac{Q(m^3 s /) \times 3.6 \times n(heures)}{S(Km^2)}$$

On n'avait pas d'enregistrements des crues dans le bassin étudié, alors on estime par analogie avec le bassin versant d'Oued , de même grandeur le temps de base et le débit décennal,

tel que :

$$R(mm) = \frac{0.21(m^3 s /) \times 3.6 \times 24h}{15.69 (Km^2)}$$

$$R(mm) = 0.05mm/24h$$

- e. Extrapoler de la distribution des débits au-delà de 0.9 (T=10 ans) par une droite de pente égale au Gradex de la pluie :

$$Q_{10ans} = a * \mu + b'$$

$$b' = Q_{10ans} - a * \mu$$

$$\mu_{10ans} = -\ln(-\ln(F)) = -\ln(-\ln(0.9)) = 2.25$$

μ

$$10ans = 2.25$$

Variable réduite de Gumbel :

$$\mu_{10ans} = 2.25$$

On calcule maintenant les b' :

Tableau II-27: Résultats de calcul de b' pour la station prise

Station	Variable réduite de Gumbel " μ "	R10ans	a	b'
Soumaa	2.25	21.4	14.93	59.65

Donc :

$$Q_{\mu\%} = 14.93 * \mu\% + 59.65$$

- f. On trace cette équation sur même graphique que celui de l'ajustement des Pjmax, Pour chaque période de retour, on tire on tire le débit en (mm) et on les exprime en (m3 /s).

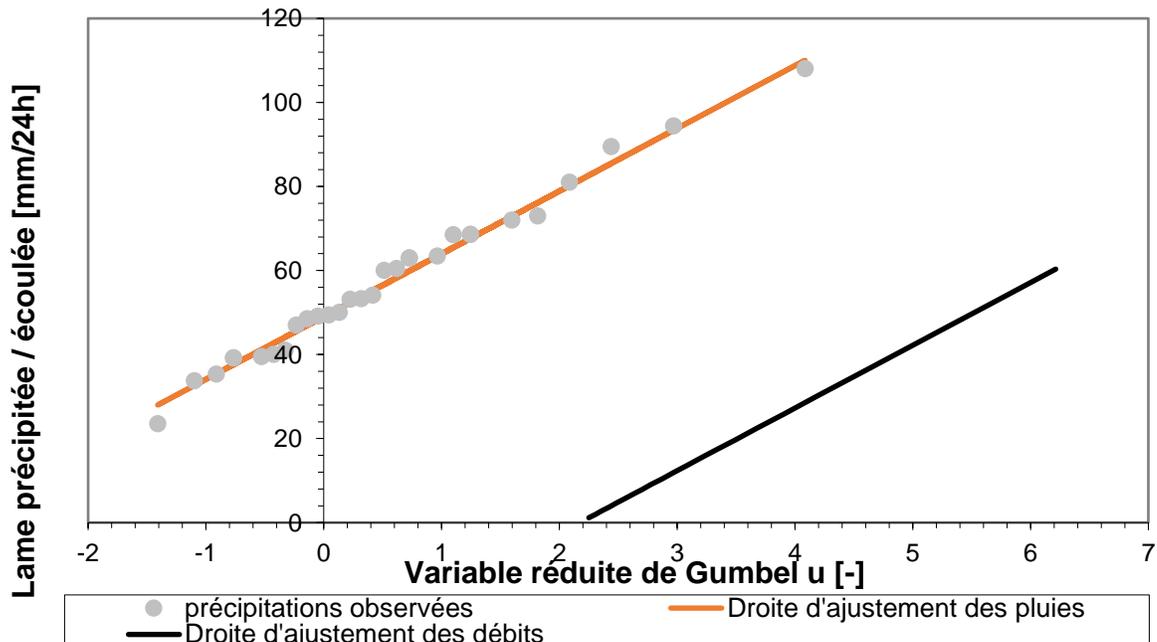


figure II-10: Graphe de l'ajustement des pluies et la droite d'extrapolation des débits

▪ **Calcul des débits de pointe :**

▪ On prend le coefficient de pointe $C_p=1$, car on a utilisé les débits maximums pour calculer le débit décennal. Les résultats sont regroupés dans le Tableau n° III.37.

▪ Les résultats de l'ajustement pour les différentes périodes de retours sont résumés dans le

Tableau II-28: résultats de l'ajustement pour les différentes périodes de retours

Période de retour	Variable réduite de gumbel	pj max	Q (m ³ /s)
1000.0	6.91	152	13
100.0	4.6	118	7
50.0	3.9	107	5
20.0	2.97	93.4	2
10.0	2.25	82.6	0.21

Interprétation :

Après avoir appliqué la méthode du Gradex et observé des débits plus faibles que prévu, on complète l'analyse avec des formules empiriques. Ces formules, plus adaptées aux conditions hydrologiques locales du bassin versant étudié, ont permis d'obtenir des résultats plus cohérents avec les observations historiques. Cette approche hybride démontre l'importance de croiser plusieurs méthodes pour garantir la robustesse des estimations hydrologiques.

II.3.3 Pluies de durée Tc (pluies de courte durée)

Les pluies de courte durée ont été calculées sur la base des données relatives aux pluies maximales journalières en utilisant la relation de Body:

avec

- Ptf : Pluie de durée t et de fréquence « f% » en mm;
- PJf: pluie maximale journalière de fréquence « f% »;
- t : durée de l'averse en heure;
- b : Exposant climatique $b = 0,41$ (source ANRH).

Les valeurs des pluies de courtes durées (inférieur à 24 heures) sur le bassin versant Bouinan sont présentées dans le tableau suivant

Tableau II-29 pluies fréquentielles de courte duree en mm sur le bassin versant de Bouinane

Duree de l'averse (h)	Période de retour (ans)									
	10		20		50		100		1000	
	p% (mm)	Intensité (mm/h)	p% (mm)	Intensité (mm/h)	p% (mm)	Intensité (mm/h)	p% (mm)	Intensité (mm/h)	p% (mm)	Intensité (mm/h)
0	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
0.25	13.39	53.56	15.22	60.89	17.55	70.18	19.39	77.57	25.24	100.97

0.5	17.79	35.58	20.22	40.45	23.31	46.63	25.77	51.53	33.54	67.08
0.75	21.01	28.01	23.88	31.84	27.53	36.71	30.43	40.57	39.60	52.80
1	23.64	23.64	26.87	26.87	30.98	30.98	34.24	34.24	44.56	44.56
1.25	25.90	20.72	29.45	23.56	33.94	27.15	37.52	30.01	48.83	39.06
1.5	27.91	18.61	31.73	21.16	36.58	24.39	40.43	26.95	52.62	35.08
2.05	31.73	15.48	36.07	17.59	41.58	20.28	45.95	22.42	59.81	29.18
2.5	34.42	13.77	39.13	15.65	45.10	18.04	49.85	19.94	64.88	25.95
3	37.09	12.36	42.16	14.05	48.60	16.20	53.72	17.91	69.92	23.31
4	41.73	10.43	47.44	11.86	54.68	13.67	60.44	15.11	78.67	19.67
6	49.28	8.21	56.02	9.34	64.57	10.76	71.37	11.90	92.90	15.48
12	65.48	5.46	74.43	6.20	85.80	7.15	94.83	7.90	123.43	10.29
25	87.00	3.63	98.90	4.12	114.00	4.75	126.00	5.25	164.00	6.83

Les courbes Intensité-Durée-Fréquence du bassin versant Bouinan sont présentées dans la figure :

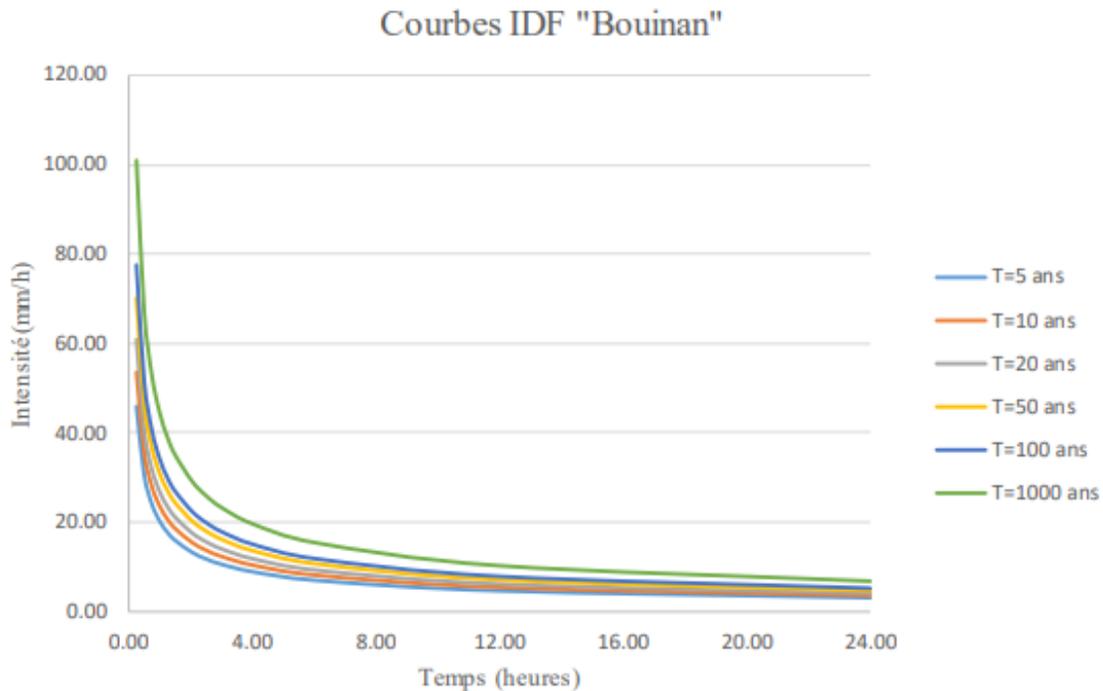


figure II-11 : Les courbes Intensité-Durée-Fréquence du bassin versant Bouinan

II.4 Détermination des crues de bassin versant de bouinan par les diverses méthodes utilisées en Algérie :

Pour cela, nous avons choisi les formules les plus utilisées dans les études de crues sur les cours d'eau de l'Algérie. Parmi ces formules, on trouve :

- La formule de Maillet-Gauthier.

- La formule de Sokolovsky.
- Turraza
- Giandotti.

A. Formule de Mallet-Gautier

La méthode de Mallet – Gautier est couramment utilisée pour les calculs des débits de crues en Algérie. Elle est donnée par la relation suivante :

$$QT = [2 K \text{Log} (1 + A * P) * \frac{S}{\sqrt{L}}] * \sqrt{(1 + 4\text{Log}T - \text{Log}S)}$$

Où:

- K : représente la géomorphologie du bassin versant comprise entre 1 et 3 prise 2
- P : moyenne des pluies annuelles en m ;
- S : surface du bassin versant en km² ;
- L : longueur du cours d'eau principal en Km ;
- T : période de retour, en années.
- A : représente les conditions climatiques compris entre 20 et 30 prises 20.

B. Méthode de Sokolovsky

Selon cet auteur, la crue est considérée comme un débit max généré par une averse (une pluie) de courte durée correspondant au temps de concentration. Le temps de montée de la crue est donc pris égal au temps de concentration.

$$Q_f \% = \frac{(0,28 * P_{tcf\%} * \alpha_T * k * S}{T_c}$$

Où :

- Q_f % : débit de point d'une fréquence « f » en m³ /s ;
- P_{tcf} % : pluie de courte durée correspondant au temps de concentration « TC » et à une fréquence « f » en mm ;
- S : surface du bassin versant en Km² ;
- t_c : temps de concentration en heures. .
- α_T : coefficient de ruissellement de la crue fonction de la période de retour (T).
- (α₅ = 0.27 ; α₁₀ = 0.30 ; α₂₀ = 0.35 ; α₅₀ = 0.40 ; α₁₀₀ = 0.45, α₁₀₀₀ = 0.50).
- k : coefficient de forme de l'hydrogramme de crue. Il est égal à : k = 12 / (4 + 3φ) ;

C. Giandotti :

$$Q_{maxP\%} = C \frac{.S\sqrt{(H_{moy} - H_{min})}}{1,5L + 4\sqrt{S}} P_{Tc}$$

- Q_{max P} % : Débit maximum de crue en (m³/s) de même fréquence que celle de la pluie de courte durée P_{Tc} ;
- S : surface du bassin versant en Km² ;

- L : Longueur du talweg principal en Km ;
- PTc : Pluie fréquentielle de courte durée correspondant au temps de concentration (m) ;
- H moy : Altitude moyenne en m ;
- H min : Altitude minimale en m.
- C : coefficient qui dépend de la topographie du bassin et qui varie entre 66 et 166 ; On prend 166.

D. Turraza :

$$Q_{max} = \frac{PTc SC_T}{3,6 Tc}$$

- CT : Coefficient de ruissellement ; On prend Ct 0.6.
- TC : le temps de concentration

Tableau II-30 : récapitulatif des résultats de calcul des débits de crues fréquents par les différentes méthodes .

Oued El Had	Période de retour T	Mallet-Gautier	Turraza	Sokolovsky	Giandotti	Max
	1000	75.02	72.89	72.31	107.90	107.90
	100	61.00	47.71	52.59	78.47	78.47
	50	56.10	35.59	44.14	65.86	65.86
	10	42.59	21.01	34.75	51.85	51.85

II.5 L’hydrogramme de crue :

C’est une courbe représentant l’évolution des débits en fonction du temps pendant la crue, il permet d’estimer quelques caractéristiques relatives à la crue telle que, la forme, le volume, temps de montée et temps de base, pour le tracé de l’hydrogramme, on utilise la méthode de SOKOLOVSKY (Touaibia, 2015).

Cette méthode qui consiste à tracer la courbe à partir de deux équations paraboliques l’une pour la montée de la crue et l’autre pour la décrue :

- **Branche de crue (montée) :**

$$Q(t) = Q_{max} \left(\frac{t}{Tc} \right)^n \text{ (III. 41)}$$

Tm = Tc (pour les petits bassins versants) ;

Avec :

- T_c : le temps de concentration du bassin versant (heures) ;
- Q_m : Débit instantané de montée (m^3/s).

- **Branche de décrue (descente) :**

$$Q(t) = Q_{max} \left(\frac{T_b - t}{T_d} \right)^m \quad (III.42)$$

$$T_b = T_m + T_d$$

Avec :

- Q_t : Débit à l'instant t (m^3/s) ;
- Q_{max} : Débit maximal de la crue (m^3/s) ;
- T_m : Temps de montée de la crue (h) ;
- T_d : Temps de décrue (h) ;
- T_b : Temps de base (h) ;
- m, n : puissance des paraboles ($m=3, n=2$).

▪ Pour les crues d'averses, c'est à dire les crues engendrées par la pluie, cette méthode prend :

- $T_m = T_c$,

ou T_c : temps de concentration.

- $T_d = \delta \cdot T_m$,

ou δ c'est le coefficient de forme de l'hydrogramme de crue.

Tableau II-31 : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue " δ ".

Description du cours d'eau	Valeur de " δ "
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants dénudés et faiblement perméables.	2,0 – 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	3,0 – 4,0
Grands et moyens cours d'eau avec des terrasses de débordements étendues.	4,0 – 7,0

On prend : $\delta = 2.5$

➤ Les valeurs sont montrées dans le tableau suivant :

Tableau II-32 : les valeurs du temps de base, montée et décrue.

Sous bassins versants	Temps de montée (h)	Temps de décrue (h)	Temps de base (h)
Bouinane	2.78	6.95	9.73

Les valeurs du débits centennales en fonction du temps pour la station prise sont montrées dans les tableaux ci-dessous :

Tableau II-33: Valeurs du débits centennales en fonction du temps pour la zone d'étude.

Temps (h)	Qmax (m ³ /s) pour période de retour 100 ans
	Stations pluviométriques
0	0.0
0.2	0.0
0.4	0.1
0.6	0.3
0.8	0.6
1	0.9
1.2	1.3
1.4	1.8
1.6	2.3
1.8	2.9
2	3.6
2.2	4.4
2.4	5.2
2.6	6.1
2.78	7.0
0.2	6.27
0.4	5.60
0.6	4.97
0.8	4.39
1	3.86
1.2	3.38
1.4	2.93
1.6	2.53
1.8	2.16
2	1.84
2.2	1.54
2.4	1.29

2.6	1.06
2.8	0.86
3	0.68
3.2	0.54
3.4	0.41
3.6	0.31
3.8	0.22
4	0.15
4.2	0.10
4.4	0.06
4.6	0.04
4.8	0.02
5	0.01
5.2	0.00

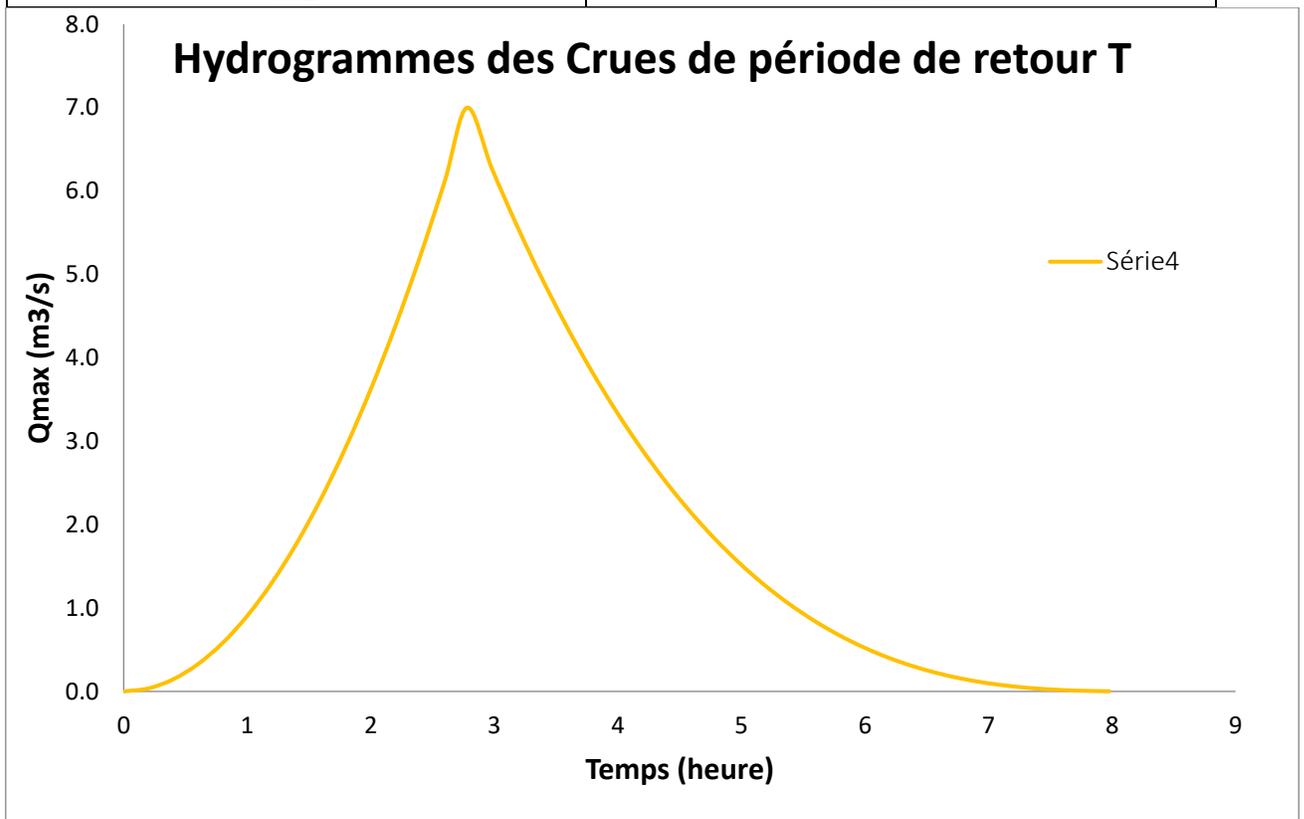


figure II-12: Hydrogramme de crue pour période de retour 100 ans.

II.5.1 Hydrogramme de crue par les formules empirique

Tableau II-34: Valeurs du débits centennales en fonction du temps pour la zone d'étude.

Temps (h)	Qmax (m ³ /s) pour période de retour 100 ans
	Stations pluviométriques
0	0.0
0.2	0.4
0.4	1.6
0.6	3.7
0.8	6.5
1	10.2
1.2	14.6
1.4	19.9
1.6	26.0
1.8	32.9
2	40.6
2.2	49.1
2.4	58.5
2.6	68.6
<u>2.78</u>	78.5
0.2	70.30
0.4	62.72
0.6	55.71
0.8	49.24
1	43.29
1.2	37.84
1.4	32.87
1.6	28.35
1.8	24.27
2	20.60
2.2	17.32
2.4	14.41
2.6	11.84
2.8	9.60
3	7.66
3.2	6.00
3.4	4.60
3.6	3.44
3.8	2.49
4	1.73
4.2	1.15
4.4	0.71
4.6	0.40
4.8	0.20
5	0.08
5.2	0.02
5.4	0.00

5.6	0.00
-----	------

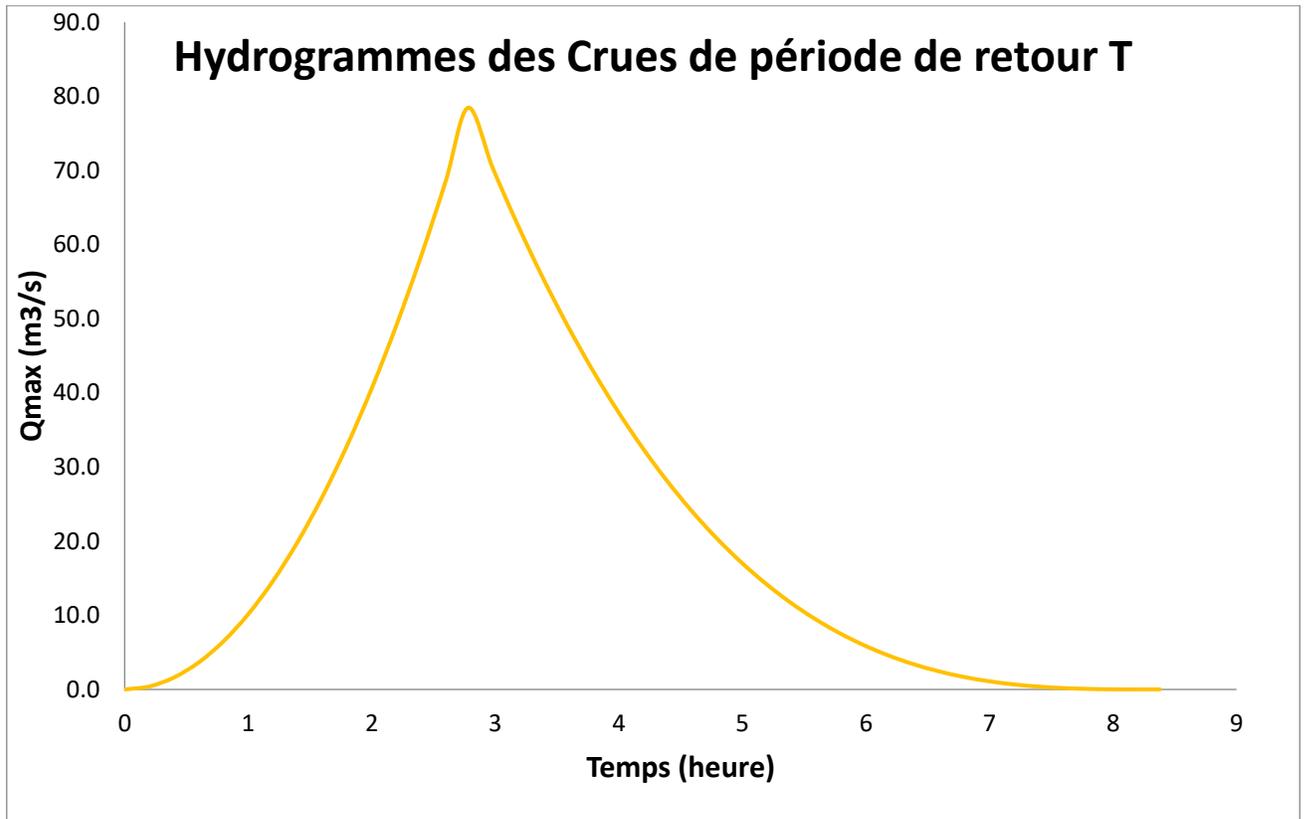


figure II-13 : Hydrogramme de crue pour période de retour 100 ans .

II.5.2 Choix de la crue de projet :

La crue de projet désigne le niveau de crue maximal que la structure doit être capable à l'évacuer pour une probabilité donnée. Le choix de la crue dépend principalement de l'importance de la construction à réaliser, des éventuelles conséquences en aval et des considérations technicoéconomiques liées à l'aménagement et à l'environnement.

Tableau II-35: crue de projet recommandée selon la classification du comité national australien des grands barrages (CNAGB)

Catégories des dommages	Crue de projet recommandé de probabilité de dépassement annuelle
Élevés : Perte de vie, dommage considérable.	1/100000 à 1/10000
Importants : Pas de perte de vie, dommages importants.	1/10000 à 1/1000
Faibles : Pas de perte de vie, dommages légers.	1/1000 à 1/100

•Comme on a une étude de protection contre les inondations on prend la période de retour 100ans.

$$Q_{\text{projet}} = 78.47 \text{ m}^3 / \text{s},$$

II.6 Étude de transport solide :

•Le transport des matières solides en suspension est un phénomène qui a suscité d'énormes efforts de la part des nations, en matière de lutte contre la dégradation des terres arables, l'envasement des barrages et l'effet dévastateur des cycles d'inondation et de désertification, qu'il est capable de générer (De Ploey et al., 1991) in (Bouguerra et al., 2016).

•En Algérie le transport solide dans les cours d'eau est très élevé. Cependant, il est mal quantifié dans certains oueds à cause de l'absence et du manque de données concernant surtout la concentration en particules fines et même l'indisponibilité des stations de jaugeage(Bouchelkia & Remini, 2003), donc l'estimation du transport solide a été réalisée sur la base des formules empiriques les plus utilisées à savoir :

- La formule de Tixeront (1960) ;
- La formule de Fournier (1960) ;
- Formule de Sogreah (1969) ;
- La formule de Gavrilovich (1992) ;
- Formule de Kasoul et al. (1997) ;
- Formule de Touaïbia et Achite (2003) ;
- Formules de Meddi (2015).

- **Méthode de Tixeront (1960) :**

Elle s'exprime par la formule suivante :

$$Ta = \alpha Le^{0.15} \text{ (III. 43)}$$

Avec :

- Ta : la dégradation spécifique en (T /Km² /an).
- Le : le ruissellement moyen en (m).
- α : le coefficient de perméabilité fixé comme suit :

Tableau II-36: Estimation du coefficient de perméabilité.

Perméabilité du bassin versant	Valeur de α
Perméabilité élevée	8.5
Moyenne à élevée	75
Faible à moyenne	350
Faible	1400

Imperméable	3200
-------------	------

- « Le » se calcule par les formules empiriques :

∅ La formule de Samie :

$$Le = P (293 - 2.2 \times \sqrt{S}) \text{ (III.44)}$$

Avec :

- P : Pluie moyenne annuelle (m),
- S : Surface du bassin versant (Km²) ;
- Le : Lamme d'eau écoulée (mm).

∅ La formule de Mallet et Gauthier :

$$Le = 600P(1 - 10^{-0.36P^2}) \text{ (III.45)}$$

∅ La formule de Turc :

$$Le = P - \frac{P}{\sqrt{\frac{P^2}{L} + 0.9}} \text{ (III.46)}$$

Avec :

- L : coefficient de la température, tel que : $L = 300 + 25T + 0.05T^3$
- T : Température moyenne annuelle.

➤ Les résultats de calcul se résument dans le tableau suivant :

Tableau II-37: Résultats de calcul de la lame d'eau écoulée.

Le (mm)	Pmoy annuelle(mm)	Formule		
		Samie	Mallet et Gauthier	Turc
Sous bassin	687.92	134533622	412752	686.46

Tableau II-38: Résultats de calcul de la dégradation spécifique.

	Le (mm)	α	Ta (T /Km ² /an).
Sous bassin	412752	8.5	521.69

- **Méthode d'estimation au nord Algérien :**

$$Ds = 328.624Q^{-0.234}S^{-0.197} \text{ (III.47)}$$

Avec :

- D_s : le transport solide en (T/Km² /an) ;
- Q : Débit maximum (m³ /s);
- S : Surface du bassin versant (Km²) ;

➤ Les résultats des apports solides sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II-39: Résultats de calcul des apports solides

	Q(m ³ /s)	S(km ²)	Ds (T/Km ² /an)
El had	59.14	15.69	73.54

II.7 Conclusion

L'étude hydrologique représente une phase primordiale la plus délicate dans une étude de protection contre les inondations. Le choix du débit de pointe est l'essentiel dans toute la modélisation hydraulique du cours d'eau ce qui permet de prédire les inondations et de déterminer le type d'aménagement nécessaire pour assurer la protection, ainsi que les coûts associés à leur mise en œuvre. D'après ce chapitre, on peut conclure que :

- L'étude hydromorphologique de la zone d'étude montre que le sous bassin de Bouinane est d'une forme allongée ,il est caractérisé par un relief très fort et un temps de concentration très faible, ce qui favorise plus les crues.
- Le réseau hydrographique du sous bassins est développé en termes de densité et de ramification ce qui explique le caractère intrinsèque fragile des reliefs vis à vis des forçages externes et un régime hydrologique turbulent.
- Le débit de crue a été établi par application de la méthode de Gradex à la station hydrométrique 021301 située au bassin versant sur une surface de 10.5km² , qui s'ajuste à loi de Galton avec un débit décennale de m³ /s, par analogie de notre bassin avec ce dernier on a pu calculer la lame d'eau équivalente qui est de 87 mm, puis on a ajusté une série pluviométrique prises d'une station situées sur le bassin 02, sous bassin 013 et une station sur le bassin 01 , ce qui nous a permis de calculer les débit max de différentes périodes de retour, et donc établir l'hydrogramme de crue du projet pour la période de retour 100 ans car il s'agit d'une étude d'aménagement.
- Le transport solide est estimé à 73.54 T/Km² /an pour le sous bassin versant

CHAPITRE III :

ETUDE HYDRAULIQUE

III. CHAPITRE III

ETUDE HYDRAULIQUE

Introduction

Dans le cadre de la protection des communes de Bouinane contre les risques des inondations d'oued El Had, et après la détermination du débit de projet il est nécessaire de passer par l'étude hydraulique pour la bonne détermination des dimensions de l'aménagement de l'oued El Had.

Dans ce chapitre dédié à l'étude hydraulique, nous approfondirons les principes fondamentaux de l'hydraulique et acquerrons les notions de base, ainsi que les lois et les équations nécessaires pour calculer les caractéristiques hydrauliques et géométriques des aménagements. Ce chapitre nous permettra d'évaluer les risques d'inondation dans la zone d'étude et de concevoir et dimensionner des mesures de protection adéquates pour réduire ces risques.

III.1 Notions hydrauliques :

Les notions hydrauliques présentées ci-dessous sont essentielles pour comprendre les cours d'eau naturels et artificiels. Elles permettent de réaliser des calculs et des simulations afin de déterminer les caractéristiques d'écoulement. Ces notions se divisent en deux catégories : les paramètres hydrauliques et les paramètres géométriques.

III.1.1 Paramètres hydrauliques

Les paramètres hydrauliques sont des variables ou caractéristiques décrivant l'écoulement de l'eau dans un système hydraulique. Ils sont utilisés pour analyser et évaluer les performances hydrauliques d'un système. Voici quelques-uns des paramètres hydrauliques couramment utilisés :

- **Débit (Q)** : Le débit représente la quantité d'eau s'écoulant à travers un canal par unité de temps. Il s'agit d'un paramètre fondamental pour comprendre la quantité d'eau traversant un système hydraulique, généralement exprimé en mètres cubes par seconde (m^3/s) ou en litres par seconde (l/s).
- **Vitesse de l'écoulement (V)** : La vitesse de l'écoulement est la vitesse à laquelle l'eau se déplace dans le système. Elle peut varier en fonction de la géométrie du canal, de la pente, de la rugosité de la surface, etc. La vitesse de l'écoulement est cruciale pour évaluer les performances hydrauliques et le transport des sédiments, et elle est généralement mesurée en mètres par seconde (m/s).
- **Pente hydraulique (i)** : La pente hydraulique représente la déclivité du terrain sur lequel l'eau s'écoule. Elle influence la vitesse de l'écoulement et est utilisée pour évaluer les caractéristiques et les performances hydrauliques d'un système. Elle est souvent exprimée en pourcentage.

On calcule la pente par la relation suivante :

$$I = \frac{\Delta Z}{L}$$

Où :

- ΔZ : c'est la différence de niveau entre les altitudes (Z1-Z2).
 - L : c'est la longueur.
- **Coefficient de Manning (n)** : Le coefficient de Manning représente un paramètre décrivant la rugosité de la surface d'écoulement ou du lit d'un cours d'eau. Généralement obtenu par des méthodes expérimentales, ce coefficient varie en fonction du type de surface, qu'il s'agisse de béton, d'herbe, de graviers, etc. Il est habituellement noté "n" et ne possède pas d'unité de mesure.

Tableau III-1: caractéristiaue du lit ou du revêtement

Caractéristiques du lit ou du revêtement	Valeur de la rugosité n
Canal avec revêtement en béton.	0.014
Canal en terre	0.022
Canal en enrochement	0.025
Canal en Gabion	0.030

- **Profondeur critique (hc)** : La profondeur critique est la hauteur d'eau correspondant à un débit spécifique, au-delà de laquelle l'écoulement passe d'un régime subcritique à un régime supercritique, ou inversement.
- **Pression** : La pression est la force exercée par l'eau sur une surface donnée. Elle se mesure généralement en Pascals (Pa) ou en bars. À la surface libre d'un canal, la pression est approximativement égale à la pression atmosphérique, soit 1 bar.
- **Poids volumique (γ_w)** : Le poids volumique de l'eau est représenté par :

$$\gamma_w = g\rho_w$$

où :

- ρ_w : est la masse volumique de l'eau, égale à 1000 kg/m³
- g est l'accélération due à la pesanteur, égale à 9.81 m/s².

III.1.2 Paramètres géométriques :

Les paramètres géométriques concernent les caractéristiques physiques et dimensionnelles des éléments constitutifs d'un système hydraulique, tels que les canaux, les rivières, les réservoirs et les conduites. Ils incluent la forme, la taille et la configuration géométrique du système. Voici quelques exemples de paramètres géométriques :

- **Largeur au miroir (B)** : Il s'agit de la distance horizontale entre les parois du canal, mesurée à la surface de l'eau. Cette mesure est exprimée en mètres.
- **Profondeur de l'eau (y)** : Il s'agit de la distance verticale entre la surface libre de l'eau et le fond du canal. Cette mesure est exprimée en mètres.
- **Surface mouillée transversale (S)** : C'est la zone de la section transversale du canal occupée par l'eau.
- **Périmètre mouillé (P)** : C'est la longueur de la bordure de la section transversale du canal en contact avec l'eau.
- **Rayon hydraulique (R)** : Le rayon hydraulique est déterminé en divisant la surface mouillée transversale (S) par le périmètre mouillé (P). Il est souvent utilisé pour évaluer l'efficacité hydraulique d'une section transversale de canal. Il est exprimé en mètres.

$$R = \frac{S}{P}$$

- **Pente longitudinale (i)** : La pente longitudinale indique la déclivité du fond du canal dans la direction de l'écoulement.
- **Largeur au fond (b)** : C'est la distance horizontale entre les deux parois ou les extrémités inférieures d'un canal.

III.2 Les cours d'eau

Dans les oueds et les rivières, l'eau s'écoule librement en surface, généralement à ciel ouvert. Son écoulement est influencé par divers facteurs tels que la pente, la géométrie du canal et la rugosité du profil hydraulique. En fonction du type d'aménagement, on distingue deux types de cours d'eau.

III.2.1 Cours d'eau naturels :

Les cours d'eau naturels sont des voies d'eau formées par des processus naturels, généralement par l'érosion ou par des cours d'eau préexistants comme les rivières, les fleuves ou les lacs. Ces cours d'eau, façonnés par les forces de la nature, existent souvent depuis longtemps.

III.2.2 Cours d'eau artificiels :

Les cours d'eau artificiels sont des voies aménagées par l'homme pour transporter de l'eau vers un exutoire spécifique. En fonction de la forme géométrique de leur section transversale, on distingue plusieurs types d'aménagements, notamment trapézoïdaux et rectangulaires.

Selon le matériau de construction, on distingue plusieurs type d'aménagement :

III.2.3 Aménagements en matériaux minéraux :

- **Enrochement** : Cette technique d'ingénierie et de construction utilise des roches, des pierres ou des blocs de béton pour stabiliser ou protéger les rives d'un cours d'eau



figure III-1: Canal en enrochement (Source : Google).

- **Gabions** : Similaire à l'enrochement, cette technique utilise des conteneurs rectangulaires, généralement fabriqués à partir de treillis métalliques ou de grillage, remplis de pierres.



figure III-2 : Canal en gabion (Source : Google).

III.2.4 Aménagements en béton ou en métal :

- **Béton** : L'aménagement d'un cours d'eau en béton est une méthode de génie civil qui consiste à construire des structures en béton le long des berges ou du lit d'un cours d'eau. Cette méthode vise à canaliser le cours d'eau ou à le protéger contre l'érosion et les inondations. Le béton est un matériau de construction composé d'un mélange de granulats, de sable et d'eau.



figure III-3: Canal en Béton (source :Google)

- **Palplanches** : Ce sont des panneaux métalliques enfoncés dans le sol le long des berges pour créer une barrière contre l'érosion.



figure III-4 : Canal en Palplanches (source :Google)

III.2.5 Aménagements en matériaux synthétiques :

- **Géotextiles** : Les géotextiles sont des matériaux synthétiques spécialement conçus pour des applications géotechniques. Ils sont utilisés pour stabiliser les sols et renforcer les talus.



figure III-5: Canal en Géotextile (source :Google)

- **Géogrilles** : Les géogrilles sont des structures synthétiques en forme de grille utilisées pour renforcer les sols et stabiliser les talus le long des berges.



figure III-6: Canal en Géogrille (source :Google)

III.3 Modes d'écoulement des oued

En hydraulique fluviale, les différents modes d'écoulement à surface libre sont :

1. **Écoulement permanent** : C'est un écoulement stable et continu avec des caractéristiques constantes de débit et de niveau d'eau. Typique des rivières à débit régulier et des canaux bien entretenus.
2. **Écoulement transitoire** : Il s'agit d'un écoulement temporaire qui varie en réponse à des changements de débit ou à des conditions environnementales fluctuantes, comme les crues ou les marées.

3. **Écoulement torrentiel** : C'est un écoulement à haute vitesse et turbulent qui se produit sur des pentes raides, souvent lors de pluies intenses, caractérisé par des débits élevés, des crues soudaines et des risques d'érosion.
4. **Écoulement uniforme** : Dans ce mode, la vitesse et la profondeur de l'eau sont uniformes le long d'une section transversale du cours d'eau. Cela se produit dans des canaux bien conçus avec des pertes de charge minimales et un débit uniforme.
5. **Écoulement non uniforme** : Contrairement à l'écoulement uniforme, ce mode se caractérise par des variations de vitesse et de profondeur le long de la section transversale du cours d'eau, influencées par la rugosité du lit, la géométrie du canal ou les variations de débit.

III.3.1 Régime d'écoulement

Le terme "régime d'écoulement à surface libre" désigne la catégorisation des flux dans les canaux où le liquide est en contact direct avec l'atmosphère. Ces régimes sont principalement définis par des caractéristiques hydrauliques telles que le nombre de Froude, qui permet une classification précise du mode d'écoulement.

L'écoulement dans un canal à surface libre est influencé par plusieurs forces, notamment :

- Gravité
- Force de pression
- Force de traînée
- Force d'inertie

L'équation utilisée pour représenter le nombre de Froude est :

$$f_r = \frac{V}{\sqrt{g * h}}$$

Où :

- V : est la vitesse du fluide,
- g : est l'accélération due à la gravité,
- h : est la profondeur du fluide.

Lorsque :

- $F = 1$: le régime est critique (supercritique) ;
- $Fr < 1$: le régime est fluvial (subcritique) ;
- $Fr > 1$: le régime est torrentiel.

Le nombre de Reynolds est un autre paramètre adimensionnel employé dans l'analyse hydraulique. Il est fréquemment associé au nombre de Froude pour caractériser le régime d'écoulement d'un fluide. Le nombre de Reynolds (Re) représente le rapport entre les forces inertielles et les forces visqueuses dans un écoulement :

$$Re = \frac{VL}{\vartheta}$$

Où :

- V : la vitesse d'écoulement.
- L : la longueur caractéristique
- ϑ : la viscosité cinématique du fluide

Lorsque :

- $Re < 500$: écoulement laminaire.
- $Re > 2000$: écoulement turbulent.
- $500 < Re < 2000$: écoulement de transition

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

- $Fr < 1, Re < 500$: écoulement fluvial-laminaire.
- $Fr < 1, Re > 2000$: écoulement fluvial-turbulent.
- $Fr > 1, Re < 500$: écoulement torrentiel-laminaire.
- $Fr > 1, Re > 2000$: écoulement torrentiel-turbulent.

III.4 Modélisation d'écoulement

La modélisation d'écoulement cherche à étudier le comportement des cours d'eau durant les crues en utilisant des outils informatiques et des données hydrologiques pour simuler leur réponse lors d'événements extrêmes. Cette approche permet d'évaluer et de gérer les risques d'inondation en recommandant des aménagements pour les réduire. Nous appliquerons cette méthode au cas spécifique de l'oued El Had en utilisant le logiciel HEC-RAS, avec un débit de projet de 78.47 m³/s.

III.4.1 Étapes de la simulation :

La modélisation implique plusieurs étapes dans la simulation avec le logiciel HEC-RAS.

a. Importation des données géométriques du terrain

Une fois que notre projet HEC-RAS est lancé et que les unités et les paramètres sont configurés, nous procédons à l'importation de la géométrie de l'oued El Had, y compris ses sections en travers tout au long du cours d'eau, à partir de Civil 3D vers HEC-RAS.

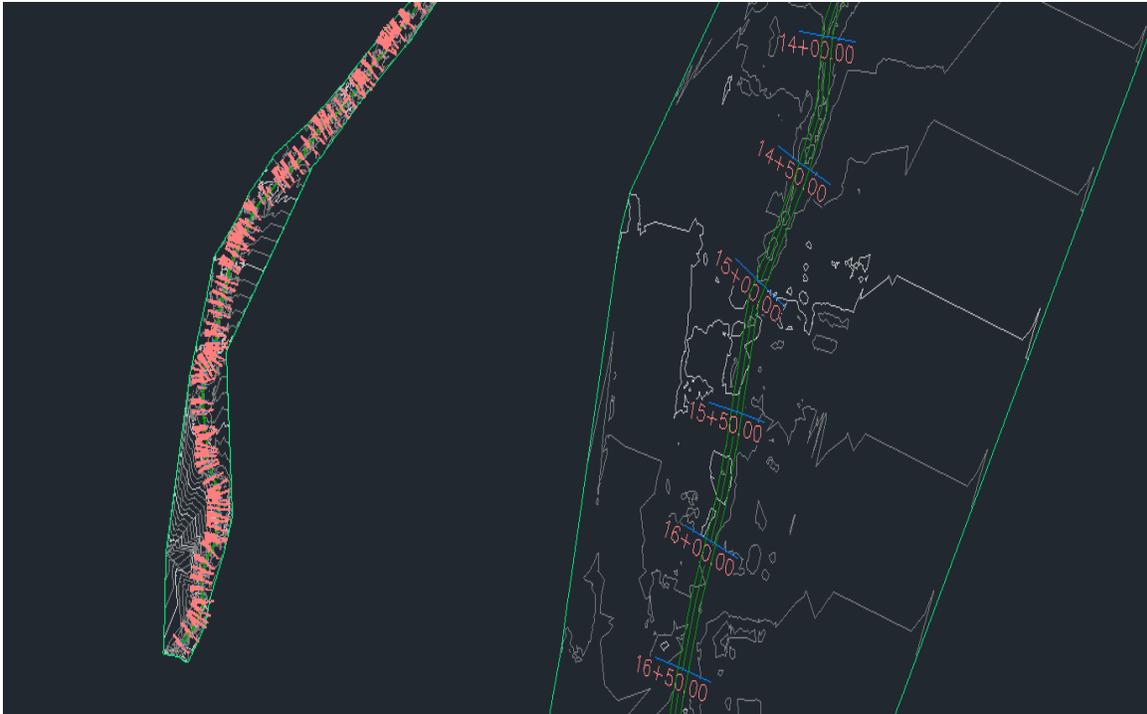


figure III-7 : représentation de la géométrie sur Civil3d.

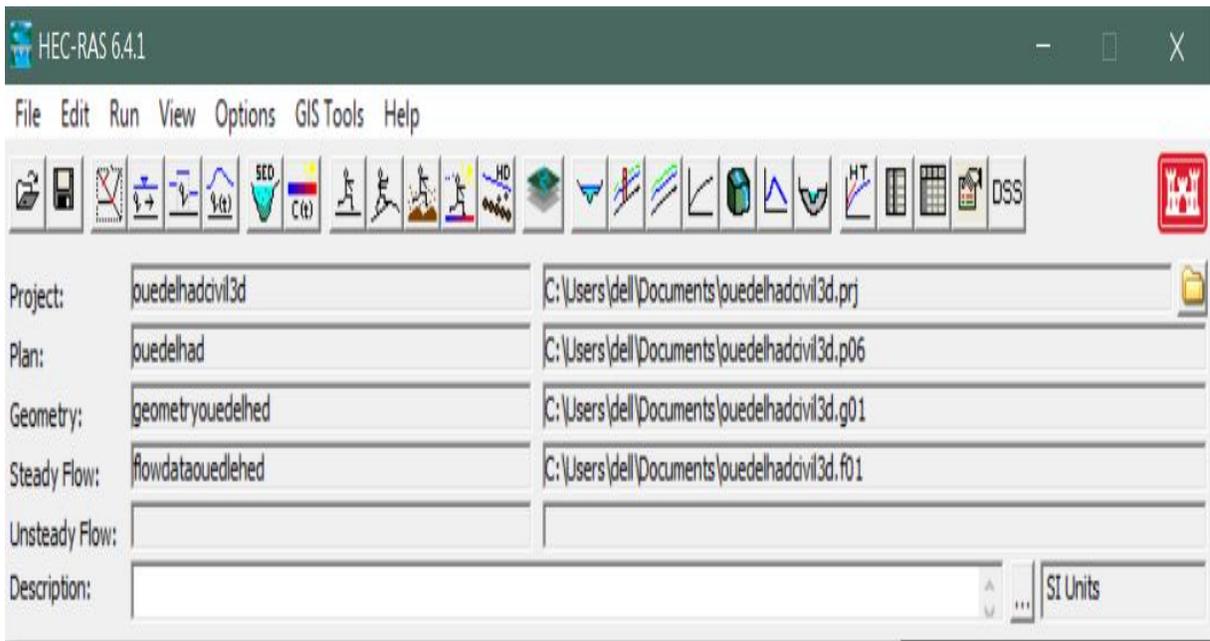


figure III-8: Importation des données sur HEC-RAS.

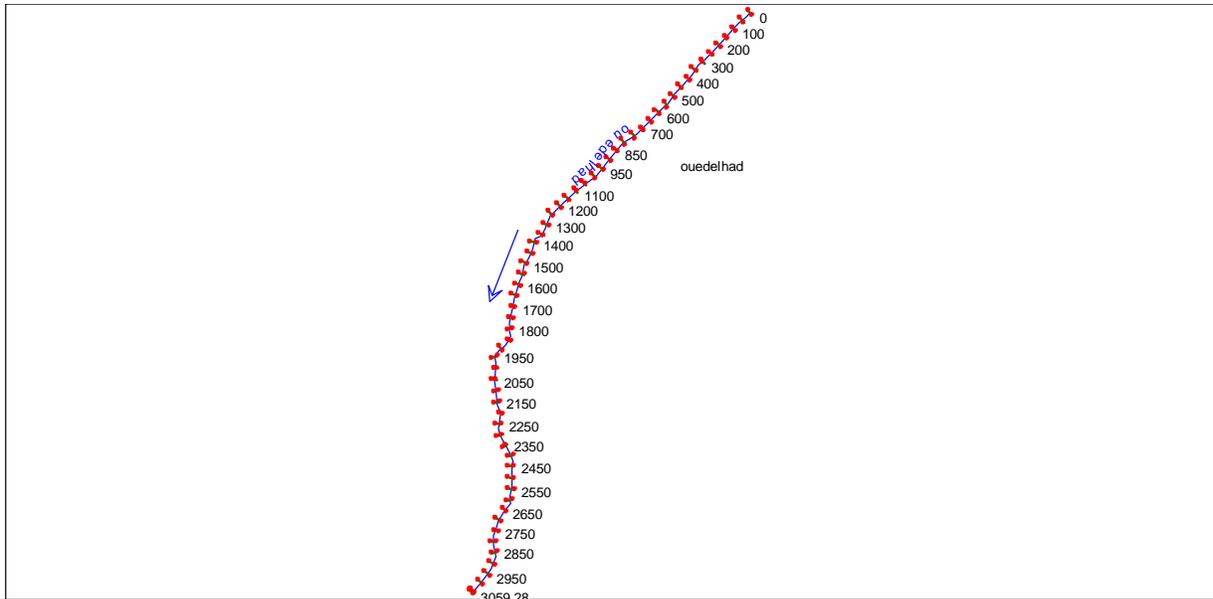


figure III-9: Importation des données géométriques dans HEC-RAS.

b. Condition aux limites (Boundary condition)

Les conditions aux limites (Boundary Conditions) dans le contexte de la modélisation hydraulique définissent les paramètres qui influencent le comportement de l'eau aux frontières de la zone de modélisation.

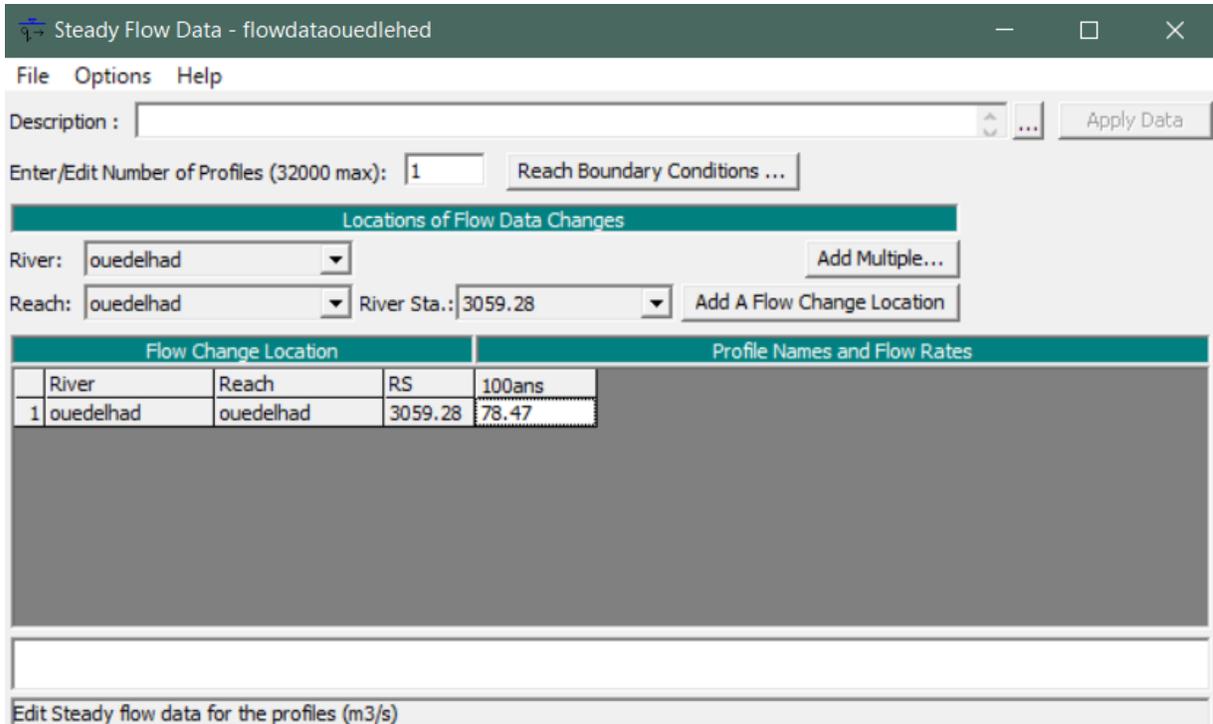


figure III-10: Introduction du débit de projet (crues centennales).

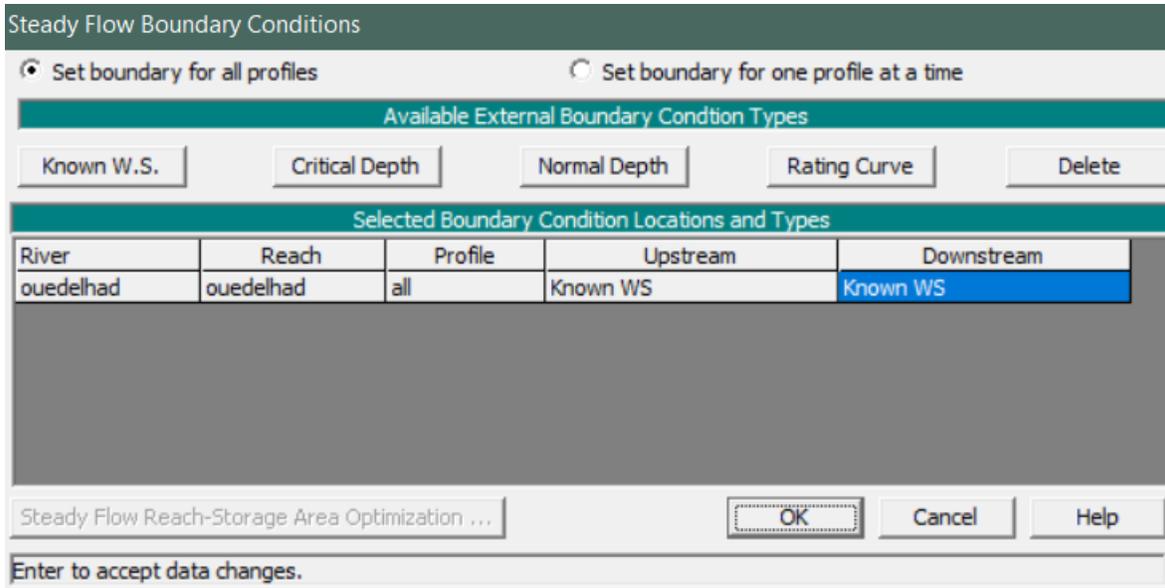


figure III-11 : Conditions aux limites.

c. Simulation

On lance la simulation après la vérification de tous les données .

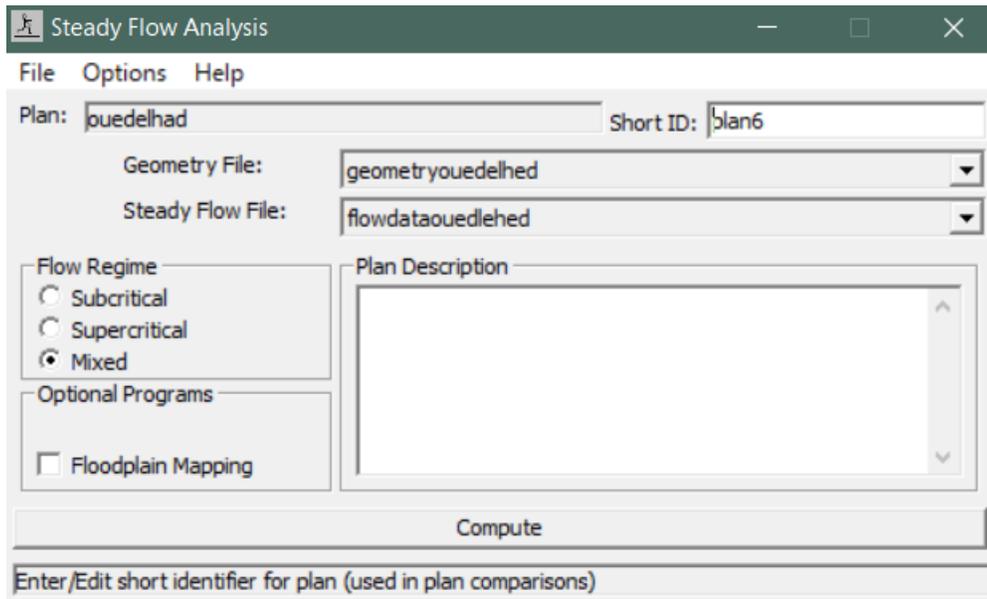


figure III-12: Lancement de la simulation.

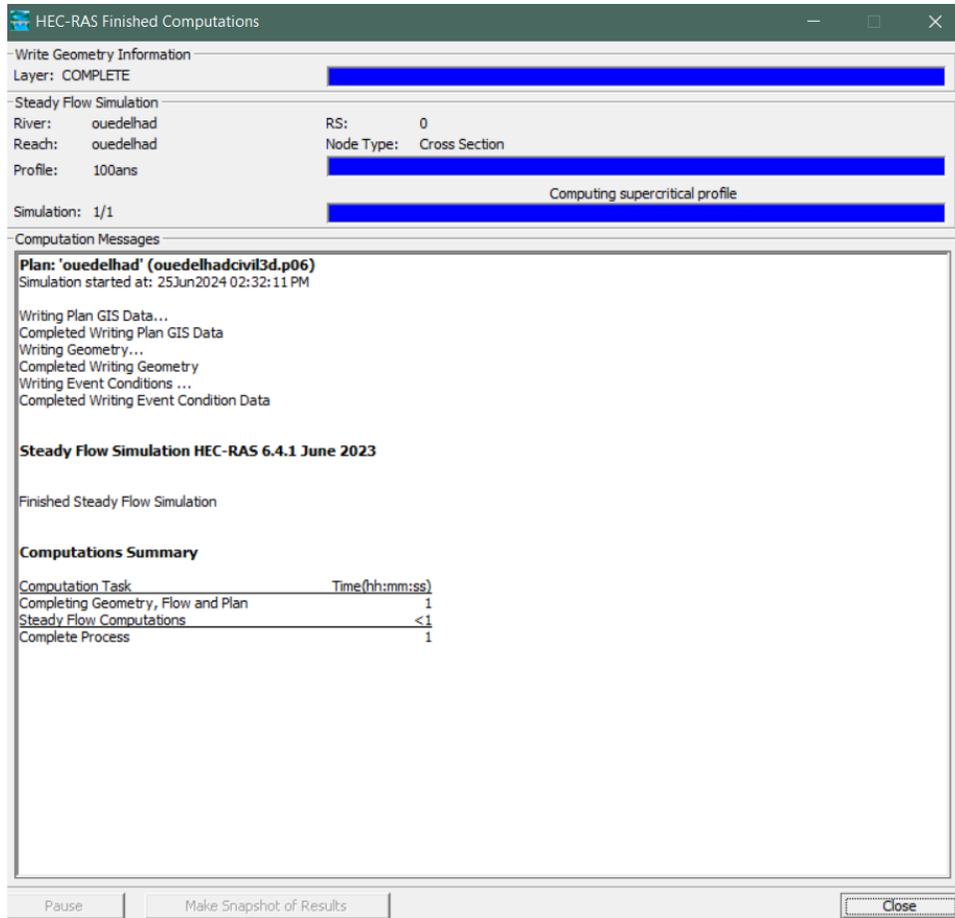


figure III-13 : Fin de simulation.

III.4.2 Résultats de la simulation

Les résultats de la simulation avec HEC-RAS offrent une compréhension précieuse de l'écoulement permanent dans un système fluvial ou hydraulique donné. Cette simulation permet d'analyser en détail la répartition des vitesses, des niveaux d'eau et des débits à travers le réseau hydrographique, ce qui aide à prévoir les risques d'inondation.

a. Vue 3D de l'oued avant l'aménagement

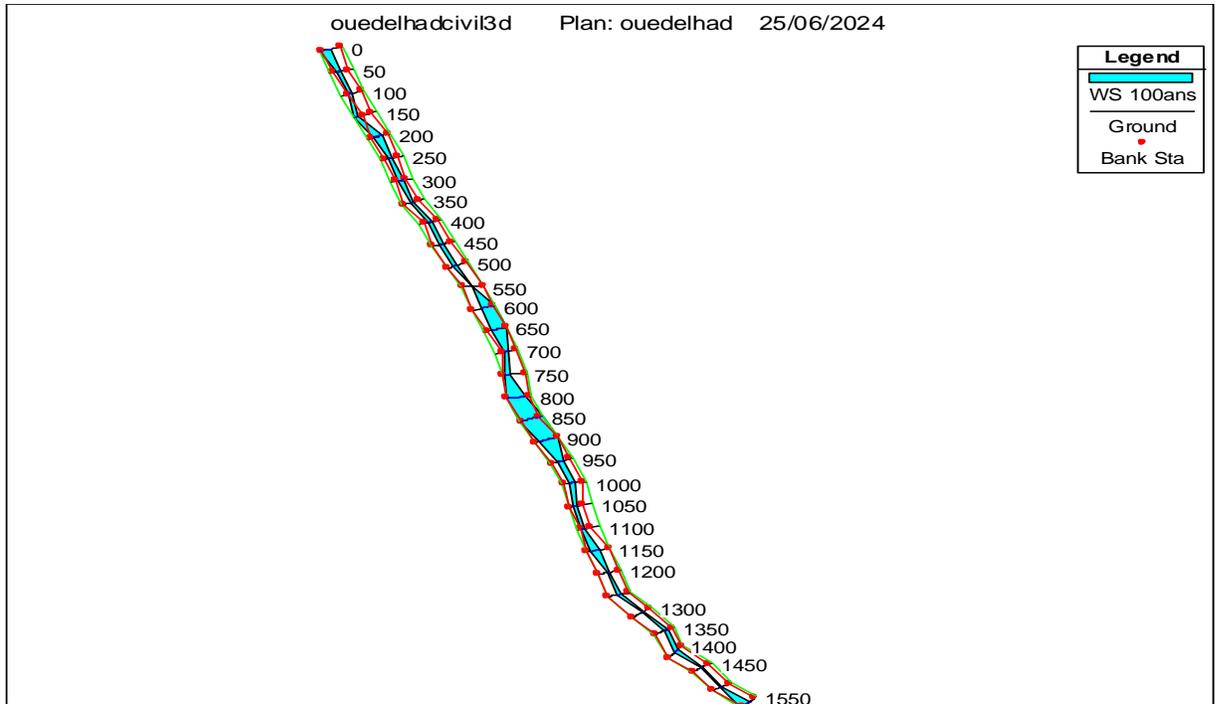


figure III-14 : vue en 3d de l'oued avant l'aménagement

b. Profil en travers

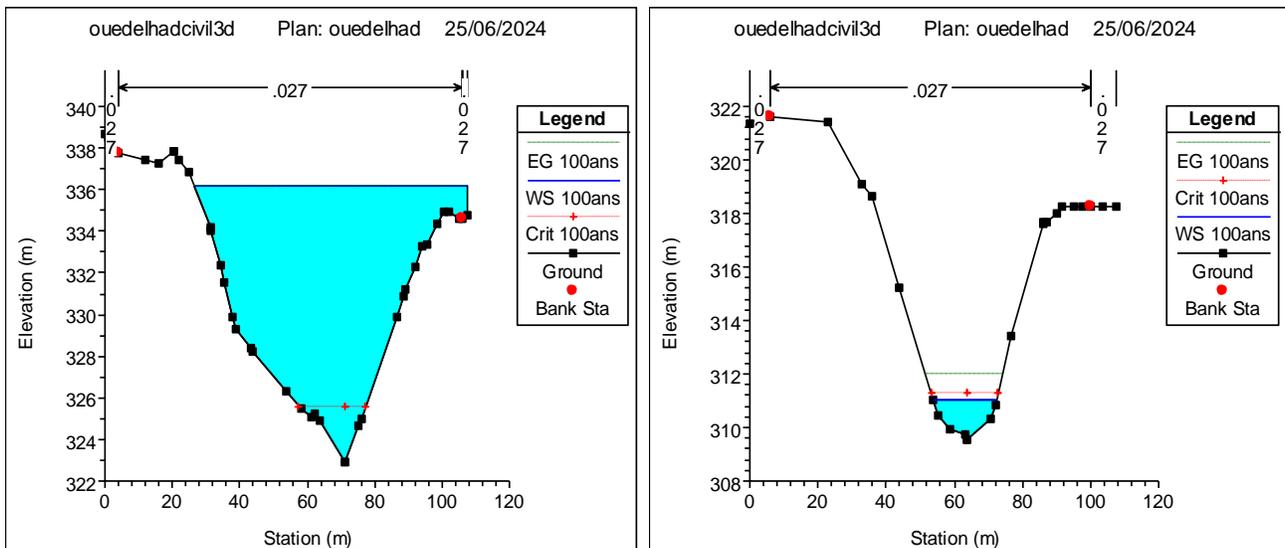


figure III-15 : plan en travers de 2 station .

Le logiciel HEC-RAS donne des tableaux récapitulatifs contenant les paramètres hydrauliques pour tous les stations (sections en travers).

Avec :

- Min Ch. El : Altitude du radier du canal (m).
- W.S Elev : Altitude du plan d'eau calculé (m).
- Crit W.S : Altitude du plan d'eau critique (m).
- E.G Elev : Altitudes de la ligne d'énergie (m).
- E.G Slope : Pente de la ligne d'énergie (m/m).
- Vel Ch : Vitesse d'écoulement (m/s).
- Flow Area : Section mouillée (m²).
- Top Width : Largeur au miroir (m).
- Froude #Ch1 : Nombre de Froude.

Tableau III-2: récapitulatifs contenant les paramètres hydrauliques pour tous les stations

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
ouedelhad	2050	100ans	78.47	431.86	433.53	434.24	435.88	0.035296	6.78	11.57	11.41	2.15
ouedelhad	2000	100ans	78.47	433.66	434.48	434.45	434.80	0.007375	2.45	31.38	44.27	0.95
ouedelhad	1950	100ans	78.47	430.94	433.04	433.04	433.55	0.007730	3.17	24.78	25.11	1.02
ouedelhad	1900	100ans	78.47	423.82	424.03	424.42	428.82	0.849796	9.79	8.20	57.43	7.97
ouedelhad	1850	100ans	78.47	417.36	418.47	418.74	419.30	0.016441	4.23	20.67	33.05	1.46
ouedelhad	1800	100ans	78.47	415.45	416.55	416.63	416.93	0.011377	3.02	29.83	57.21	1.18
ouedelhad	1750	100ans	78.47	406.86	416.12	409.50	416.12	0.000002	0.18	485.33	96.42	0.02
ouedelhad	1700	100ans	78.47	414.40	415.70	415.70	416.08	0.006504	3.02	30.54	40.30	0.94
ouedelhad	1650	100ans	78.47	395.74	396.53	397.75	411.11	0.692329	16.91	4.64	11.20	8.37
ouedelhad	1600	100ans	78.47	393.70	396.90	396.13	397.15	0.001888	2.21	35.45	20.73	0.54
ouedelhad	1550	100ans	78.47	394.42	396.33	396.33	396.60	0.007330	1.99	35.33	60.30	0.90
ouedelhad	1500	100ans	78.47	386.22	387.98	389.06	393.13	0.102641	10.05	7.81	9.35	3.51
ouedelhad	1450	100ans	78.47	374.64	376.25	377.25	380.05	0.060266	8.64	9.09	9.09	2.76
ouedelhad	1400	100ans	78.47	367.85	372.55	370.01	372.64	0.000334	1.32	59.55	18.76	0.24
ouedelhad	1350	100ans	78.47	369.09	371.78	371.78	372.43	0.007210	3.56	22.02	17.23	1.01
ouedelhad	1300	100ans	78.47	364.37	366.23	367.12	369.55	0.061495	8.07	9.73	10.53	2.68
ouedelhad	1250	100ans	78.47	357.45	359.11	359.89	361.69	0.036430	7.12	11.02	9.95	2.16
ouedelhad	1200	100ans	78.47	353.54	355.90	356.35	357.37	0.017395	5.37	14.62	11.28	1.50
ouedelhad	1150	100ans	78.47	352.36	354.54	353.72	354.63	0.000730	1.27	61.87	42.87	0.34
ouedelhad	1100	100ans	78.47	351.54	353.75	353.75	354.30	0.007272	3.29	23.83	21.58	1.00
ouedelhad	1050	100ans	78.47	340.09	341.40	342.46	349.87	0.308999	12.88	6.09	11.44	5.64
ouedelhad	1000	100ans	78.47	332.12	339.49	335.29	339.52	0.000076	0.71	111.19	31.06	0.12
ouedelhad	950	100ans	78.47	335.50	339.46		339.50	0.000134	0.85	92.44	31.02	0.16
ouedelhad	900	100ans	78.47	326.48	339.49		339.49	0.000002	0.18	443.60	63.19	0.02
ouedelhad	850	100ans	78.47	338.35	339.20	339.20	339.46	0.005499	1.31	39.60	77.78	0.73
ouedelhad	800	100ans	78.47	322.93	336.21	325.59	336.21	0.000001	0.14	573.33	81.12	0.02
ouedelhad	750	100ans	78.47	333.89	335.70	335.70	336.16	0.007594	3.00	26.15	28.55	1.00
ouedelhad	700	100ans	78.47	327.82	329.07	329.93	332.84	0.089658	8.60	9.12	12.85	3.26
ouedelhad	650	100ans	78.47	314.37	322.92	316.56	322.93	0.000014	0.35	222.10	50.04	0.05
ouedelhad	600	100ans	78.47	320.08	322.57	322.57	322.89	0.008623	2.55	31.51	49.70	1.00
ouedelhad	550	100ans	78.47	311.52	313.08	314.32	318.93	0.103061	10.71	7.33	7.71	3.51
ouedelhad	500	100ans	78.47	309.55	311.00	311.30	312.03	0.016201	4.49	17.49	18.49	1.47
ouedelhad	450	100ans	78.47	307.74	309.84	309.84	310.43	0.007176	3.40	23.08	19.98	1.01
ouedelhad	400	100ans	78.47	303.84	304.76	305.38	307.46	0.080594	7.28	10.77	18.52	3.05
ouedelhad	350	100ans	78.47	303.41	305.28	305.29	306.01	0.007031	3.78	20.77	14.29	1.00
ouedelhad	300	100ans	78.47	300.23	303.67	302.20	303.74	0.000382	1.18	66.66	30.93	0.26
ouedelhad	250	100ans	78.47	300.39	302.84	302.84	303.52	0.006947	3.66	21.45	15.78	1.00
ouedelhad	200	100ans	78.47	297.44	300.65	299.14	300.71	0.000428	1.14	69.01	37.28	0.27
ouedelhad	150	100ans	78.47	301.71	299.97	299.97	300.48	0.007947		24.64	23.85	0.00
ouedelhad	100	100ans	78.47	296.10	298.14	298.31	298.98	0.010287	4.05	19.40	16.80	1.20
ouedelhad	50	100ans	78.47	292.75	293.78	294.36	295.80	0.043546	6.30	12.46	16.72	2.33
ouedelhad	0	100ans	78.47	292.55	293.66	293.66	294.14	0.007434	3.08	25.64	27.11	1.00

III.4.3 Interprétation

La modélisation de l'écoulement est une étape essentielle pour comprendre le comportement hydraulique de l'oued Boughegal et les risques d'inondation associés, en utilisant des outils informatiques. En analysant le niveau d'eau le long du cours de l'oued El Had, nous observons des débordements dans la plupart des sections.

- La vitesse d'écoulement le long de l'oued El Had varie entre 0.14 et 12.88 m/s.
- Le nombre de Froude oscille entre 0.32 et 1.86, ce qui indique une variation du régime d'écoulement tout au long de l'oued.

Selon la simulation, les habitants établis le long de l'oued Boughegal, dans la ville de Baghai, sont vulnérables aux risques d'inondation. Il est donc nécessaire de prendre des mesures d'aménagement hydraulique appropriées pour prévenir ces risques.

CHAPITRE IV :

ETUDE DES VARIANTES D'AMENAGEMENT

IV. CHAPITRE IV

ETUDE DES VARIANTES D'AMENAGEMENT

IV.1 Etude des aménagements

L'étude des aménagements pour protéger la ville de Bouinane contre les crues centennales se concentre sur la réduction des risques d'inondation de l'oued El Had. L'objectif est de concevoir et dimensionner des ouvrages hydrauliques adaptés pour minimiser les dangers et assurer un passage sécurisé des crues centennales. Cette étude proposera plusieurs variantes d'aménagement pour l'oued El Had, parmi lesquelles une sera choisie pour une analyse approfondie, garantissant ainsi la protection de Bouinane contre les inondations de l'oued El Had.

IV.1.1 Hypothèses de calculs

Lors du dimensionnement des canaux à surface libre, l'écoulement est généralement considéré comme uniforme sur toute la longueur du canal. Un écoulement est qualifié d'uniforme lorsque ses caractéristiques restent constantes dans le temps et l'espace. Pour qu'un écoulement soit uniforme, les conditions suivantes doivent être remplies :

- Le débit de l'eau dans le canal doit être constant ($Q = \text{constant}$).
- Le canal doit être prismatique.
- La profondeur de l'eau dans le canal doit être constante sur toute sa longueur.
- La pente du canal doit être constante.
- La rugosité du fond et des parois doit être constante sur toute la longueur ($n = \text{constant}$).

Nous avons observé que la longueur du cours d'eau est estimée à 2108 mètres

IV.1.2 Formule de dimensionnement

La formule suivante, connue sous le nom de Manning-Strickler, est utilisée pour le dimensionnement et s'applique à toutes les formes géométriques des sections ouvertes.

$$Q = \frac{1}{n} * S * R_h^{2/3} * \sqrt{i}$$

Avec :

- Q : Débit de dimensionnement (m^3/s).
- n : Rugosité du canal.
- S : Section mouillée (m^2).
- I : pente du fond du canal (m/m).
- R : Rayon hydraulique (m)

Voici les formules des éléments géométriques pour les différents types de sections de canaux :

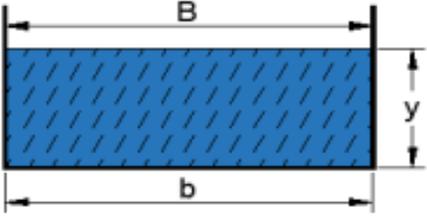
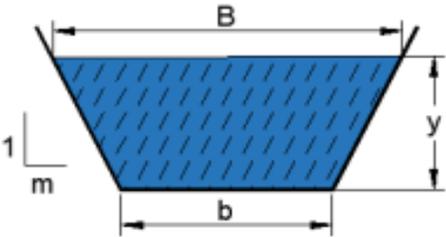
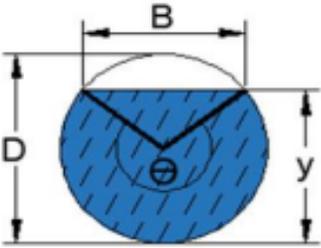
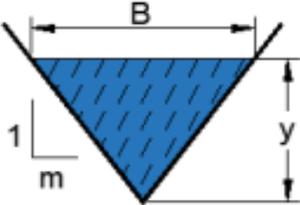
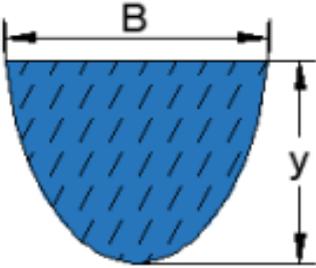
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Type</th> <th>Rectangulaire</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Largeur au miroir B</td> <td>b</td> </tr> <tr> <td>Surface S</td> <td>$b * y$</td> </tr> <tr> <td>Périmètre P</td> <td>$b + 2y$</td> </tr> <tr> <td>Rayon hydraulique R</td> <td>$\frac{b * y}{b + 2y}$</td> </tr> </tbody> </table>	Type	Rectangulaire	Largeur au miroir B	b	Surface S	$b * y$	Périmètre P	$b + 2y$	Rayon hydraulique R	$\frac{b * y}{b + 2y}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Type</th> <th>Trapézoïdale</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Largeur au miroir B</td> <td>$b + 2m * y$</td> </tr> <tr> <td>Surface S</td> <td>$(b + my) * y$</td> </tr> <tr> <td>Périmètre P</td> <td>$b + 2y\sqrt{1 + m^2}$</td> </tr> <tr> <td>Rayon hydraulique R</td> <td>$\frac{(b + my) * y}{b + 2y\sqrt{1 + m^2}}$</td> </tr> </tbody> </table>	Type	Trapézoïdale	Largeur au miroir B	$b + 2m * y$	Surface S	$(b + my) * y$	Périmètre P	$b + 2y\sqrt{1 + m^2}$	Rayon hydraulique R	$\frac{(b + my) * y}{b + 2y\sqrt{1 + m^2}}$
Type	Rectangulaire																					
Largeur au miroir B	b																					
Surface S	$b * y$																					
Périmètre P	$b + 2y$																					
Rayon hydraulique R	$\frac{b * y}{b + 2y}$																					
Type	Trapézoïdale																					
Largeur au miroir B	$b + 2m * y$																					
Surface S	$(b + my) * y$																					
Périmètre P	$b + 2y\sqrt{1 + m^2}$																					
Rayon hydraulique R	$\frac{(b + my) * y}{b + 2y\sqrt{1 + m^2}}$																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Type</th> <th>Circulaire</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Largeur au miroir B</td> <td>$2\sqrt{y(D - y)}$</td> </tr> <tr> <td>Surface S</td> <td>$\frac{1}{8}(\theta - \sin \theta)D^2$</td> </tr> <tr> <td>Périmètre P</td> <td>$\frac{1}{2}\theta D$</td> </tr> <tr> <td>Rayon hydraulique R</td> <td>$\frac{1}{4}\left[1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right]D$</td> </tr> </tbody> </table>	Type	Circulaire	Largeur au miroir B	$2\sqrt{y(D - y)}$	Surface S	$\frac{1}{8}(\theta - \sin \theta)D^2$	Périmètre P	$\frac{1}{2}\theta D$	Rayon hydraulique R	$\frac{1}{4}\left[1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right]D$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Type</th> <th>Triangulaire</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Largeur au miroir B</td> <td>$2my$</td> </tr> <tr> <td>Surface S</td> <td>my^2</td> </tr> <tr> <td>Périmètre P</td> <td>$2y\sqrt{1 + m^2}$</td> </tr> <tr> <td>Rayon hydraulique R</td> <td>$\frac{my}{2\sqrt{1 + m^2}}$</td> </tr> </tbody> </table>	Type	Triangulaire	Largeur au miroir B	$2my$	Surface S	my^2	Périmètre P	$2y\sqrt{1 + m^2}$	Rayon hydraulique R	$\frac{my}{2\sqrt{1 + m^2}}$
Type	Circulaire																					
Largeur au miroir B	$2\sqrt{y(D - y)}$																					
Surface S	$\frac{1}{8}(\theta - \sin \theta)D^2$																					
Périmètre P	$\frac{1}{2}\theta D$																					
Rayon hydraulique R	$\frac{1}{4}\left[1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right]D$																					
Type	Triangulaire																					
Largeur au miroir B	$2my$																					
Surface S	my^2																					
Périmètre P	$2y\sqrt{1 + m^2}$																					
Rayon hydraulique R	$\frac{my}{2\sqrt{1 + m^2}}$																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Type</th> <th>Parabolique</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Largeur au miroir B</td> <td>$\frac{3S}{2y}$</td> </tr> <tr> <td>Surface S</td> <td>$\frac{2}{3}By$</td> </tr> <tr> <td>Périmètre P</td> <td>$B + \frac{8y^2}{3B}$</td> </tr> <tr> <td>Rayon hydraulique R</td> <td>$\frac{2B^2y}{3B^2 + 8y^2}$</td> </tr> </tbody> </table>	Type	Parabolique	Largeur au miroir B	$\frac{3S}{2y}$	Surface S	$\frac{2}{3}By$	Périmètre P	$B + \frac{8y^2}{3B}$	Rayon hydraulique R	$\frac{2B^2y}{3B^2 + 8y^2}$											
Type	Parabolique																					
Largeur au miroir B	$\frac{3S}{2y}$																					
Surface S	$\frac{2}{3}By$																					
Périmètre P	$B + \frac{8y^2}{3B}$																					
Rayon hydraulique R	$\frac{2B^2y}{3B^2 + 8y^2}$																					
																						
																						

figure IV-1: Formules des éléments géométrique

IV.2 Principe de conception de l'aménagement d'oued El Hamiz :

Dans la conception de l'aménagement d'un cours d'eau, il est essentiel de respecter et de suivre certains principes et normes. Pour notre étude de cas concernant l'aménagement de l'oued El Had à la nouvelle ville de Bouinane, il est nécessaire de prendre en compte les paramètres hydrauliques tels que le débit aménagé (Q aménagé), la pente et la rugosité. Il est également important de considérer les ouvrages d'art existants, dont les paramètres ne peuvent être modifiés, tout en respectant la norme de sécurité représentée par la marge de sécurité (revanche).

IV.2.1 La pente

La pente est définie comme le rapport entre la différence de niveau et la longueur du cours d'eau. Avant d'effectuer le calcul hydraulique, le choix de la pente du projet est crucial. Dans notre cas, nous avons opté pour deux pentes différentes, chacune étant uniforme sur le tronçon concerné.

Sur le lève topographie sur autocad on a calculer la pent par la formule

$$I = \frac{Z1 - Z2}{L} = \frac{897,74 - 876,81}{2108} = 0,01$$

IV.2.2 Marge de sécurité dans les canaux (Revanche)

Dans les canaux à surface libre, il est essentiel de prévoir une marge de sécurité au-dessus de la ligne d'eau calculée pour éviter toute élévation imprévue de la surface libre et minimiser le risque de débordement. Cette marge permet de prendre en compte divers facteurs tels que l'accumulation de dépôts solides, la croissance de la végétation, les vagues générées par le vent, et d'autres circonstances similaires.

La valeur de cette marge de sécurité dépend généralement de la taille du canal. Pour les petits canaux, une marge d'environ 0,30 m est souvent suffisante, tandis que pour les grands canaux, elle peut varier entre 0,60 m et 1,20 m.

IV.2.3 Vitesse d'érosion

Afin d'éviter les ruptures du fond et des berges des canaux sous l'effet dynamique du courant d'eau, il est crucial que la vitesse de celui-ci ne dépasse pas la vitesse limite maximale. Les valeurs de la vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés sont présentées dans le tableau ci-dessous (Degoutte, 2012).

Tableau IIV-1 : Valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits.

Matériau du lit du canal	Vitesse limite maximale d'érosion
Sable fin	1,2 - 1,5 m/s
Sable moyen	1,5 - 1,8 m/s
Sable grossier	1,8 - 2,2 m/s
Gravier	2,0 - 2,5 m/s
Roches moyennes	2,2 - 2,5 m/s
Roches grossières	2,5 - 3,0 m/

IV.3 La cartographie du risque d'inondation

- Après avoir généré les profils d'inondation à l'aide du logiciel HEC-RAS, la prochaine étape consiste à délimiter et cartographier les zones à risque d'inondation. Pour cela, il est nécessaire de connaître les hauteurs d'eau dans différentes sections des oueds.
- Afin d'identifier les points de débordement et les zones à risque d'inondation, nous avons simulé l'état du cours d'eau en cas de crue centennale en utilisant l'outil RAS-MAPPER intégré dans HEC-RAS. Cette simulation a permis de produire les cartes qui seront présentées dans les étapes suivantes.
- La cartographie des risques consiste à localiser les principaux risques en fonction de divers paramètres, tels que l'impact potentiel, la probabilité d'occurrence, ou le niveau actuel de maîtrise des risques.
- La gestion des risques peut être définie comme l'ensemble des actions et des moyens permettant de se préparer à une crise, de la gérer lorsqu'elle survient, et de faciliter la prise de décision.

IV.3.1 La carte de l'alea inondation

- La carte des risques d'inondation est un outil essentiel pour évaluer le niveau de risque auquel un bien situé dans une zone spécifique peut être exposé, et pour déterminer les mesures de prévention et de protection à mettre en place pour les biens, les personnes et l'environnement. Cette carte identifie deux types principaux de risques d'inondation :
- L'inondation causée par le débordement d'un cours d'eau (désignée comme zone de risque d'inondation) ;
- L'intensité du risque d'inondation est classée en quatre niveaux : très faible, faible, modéré ou élevé. Elle est déterminée par la combinaison de deux facteurs :
 - La fréquence (période de retour ou occurrence) de l'inondation ou des pluies à l'origine du ruissellement ;
 - L'ampleur de l'inondation (profondeur de submersion ou débit de pointe) (SPW, 2021).

IV.3.2 Cartes des profondeurs

- La submersion liée à une inondation est principalement définie par son étendue et sa profondeur. Pour la déterminer, on utilise des modèles hydrauliques qui reproduisent numériquement la topographie des lits mineurs et majeurs des cours d'eau (Graguid, 2011).
- En conséquence, trois catégories de submersion sont distinguées selon leur profondeur :
 - ◆ Submersion faible : profondeur inférieure à 0,5 mètre ;
 - ◆ Submersion moyenne : profondeur comprise entre 0,5 et 1 mètre ;
 - ◆ Submersion élevée : profondeur supérieure à 1 mètre (Graguid, 2011).

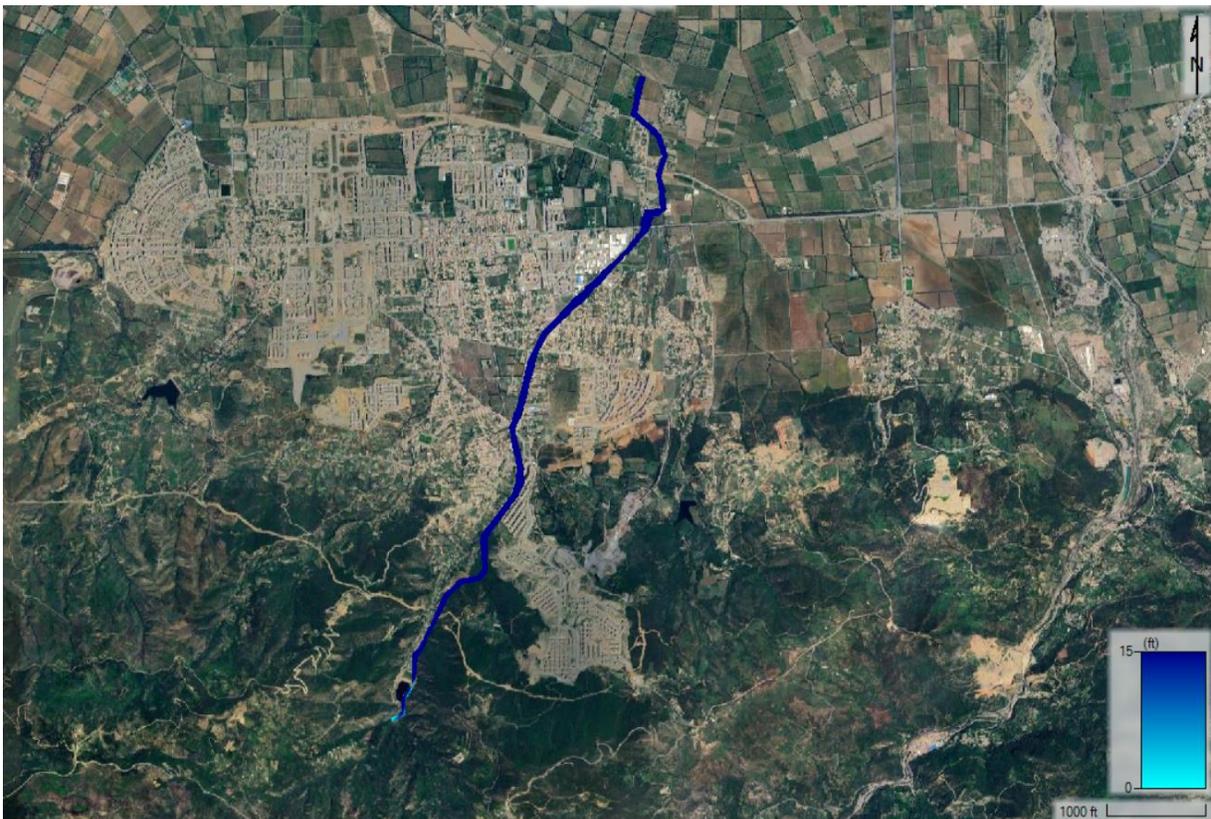


figure IV-2 : carte de profondeur d'eau pour la période de retour de 100ans

IV.3.3 Carte des vitesses

Les vitesses d'écoulement de l'eau sont classées en trois classes :

- Vitesse faible : dont la vitesse est inférieure a 0.2 m/s ;
- Vitesse modérée : dont la vitesse se situe entre 0.2 et 0.5 m/s
- Vitesse forte : dont la vitesse dépasse 0.5 m/s



figure IV-3 : carte de vitesse d'eau pour la periode de 100ans

- La carte des vitesses d'eau fournit des informations cruciales sur les caractéristiques de l'écoulement dans notre région. Les zones à vitesse élevée, principalement situées le long de l'oued El Had , reflètent la topographie de cet affluent, qui se distingue par des pentes abruptes et des sections étroites du cours d'eau. Ces conditions favorisent des vitesses d'écoulement élevées, mettant en évidence la corrélation directe entre la topographie et le régime d'écoulement.

IV.4 Etude des variantes

Dans cette étude, nous proposons trois variantes pour l'aménagement de l'oued El Had afin de protéger la ville de Bouinane contre les crues centennales. Ces variantes sont conçues pour évacuer un débit de projet de $Q = 78.47 \text{ m}^3/\text{s}$.

Les trois variantes proposées :

- Variante 1 : Canal trapézoïdale en béton .
- Variante 2 : Canal trapézoïdale en enrochement .
- Variante 3 : Canal en gabion avec fond en matelas renos

IV.4.1 Variante 1 : Canal trapézoïdale en béton .

IV.4.1.1 Canal trapézoïdale

La première variante proposée consiste en la construction d'un canal en béton à profil trapézoïdal. Sa géométrie a été choisie pour sa grande capacité à évacuer les eaux et à permettre le passage des crues sans problème. Pour cette variante, nous avons opté pour une largeur de fond de $b = 10$ m et un coefficient de rugosité de $n = 0,015$ (béton).

FlowMaster nous permet d'effectuer des calculs hydrauliques pour divers types d'éléments, incluant les conduites, les canalisations à écoulement libre, les bouches d'égout, et les déversoirs. Il permet de résoudre les propriétés inconnues et de concevoir selon les caractéristiques souhaitées.

Le processus de calcul comprend les étapes habituelles : création d'un nouveau projet, attribution d'un titre au projet, et sauvegarde. Ensuite, il faut choisir la forme du canal à calculer et entrer les données relatives au tronçon 1. La figure suivante illustre le choix de la formule de Manning, avec la largeur du fond sélectionnée comme paramètre à calculer pour un régime uniforme.

Cross Section for Trapezoidal Channel - 1	
Project Description	
Friction Method	Manning Formula
Solve For	Roughness
Input Data	
Roughness Coefficient	0.015
Channel Slope	0.027
Normal Depth	1.0
Left Side Slope	1.000
Right Side Slope	1.000
Bottom Width	10.00
Discharge	78.74

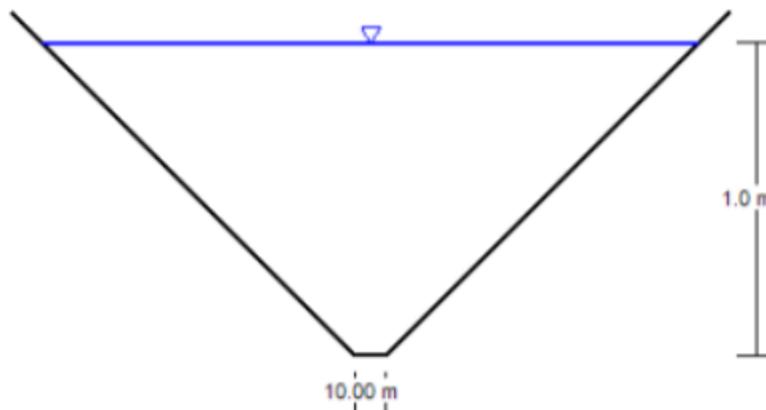


figure IV-4: Les dimensions du canal trapézoïdale en béton armé (Source : logiciel Flow-master).

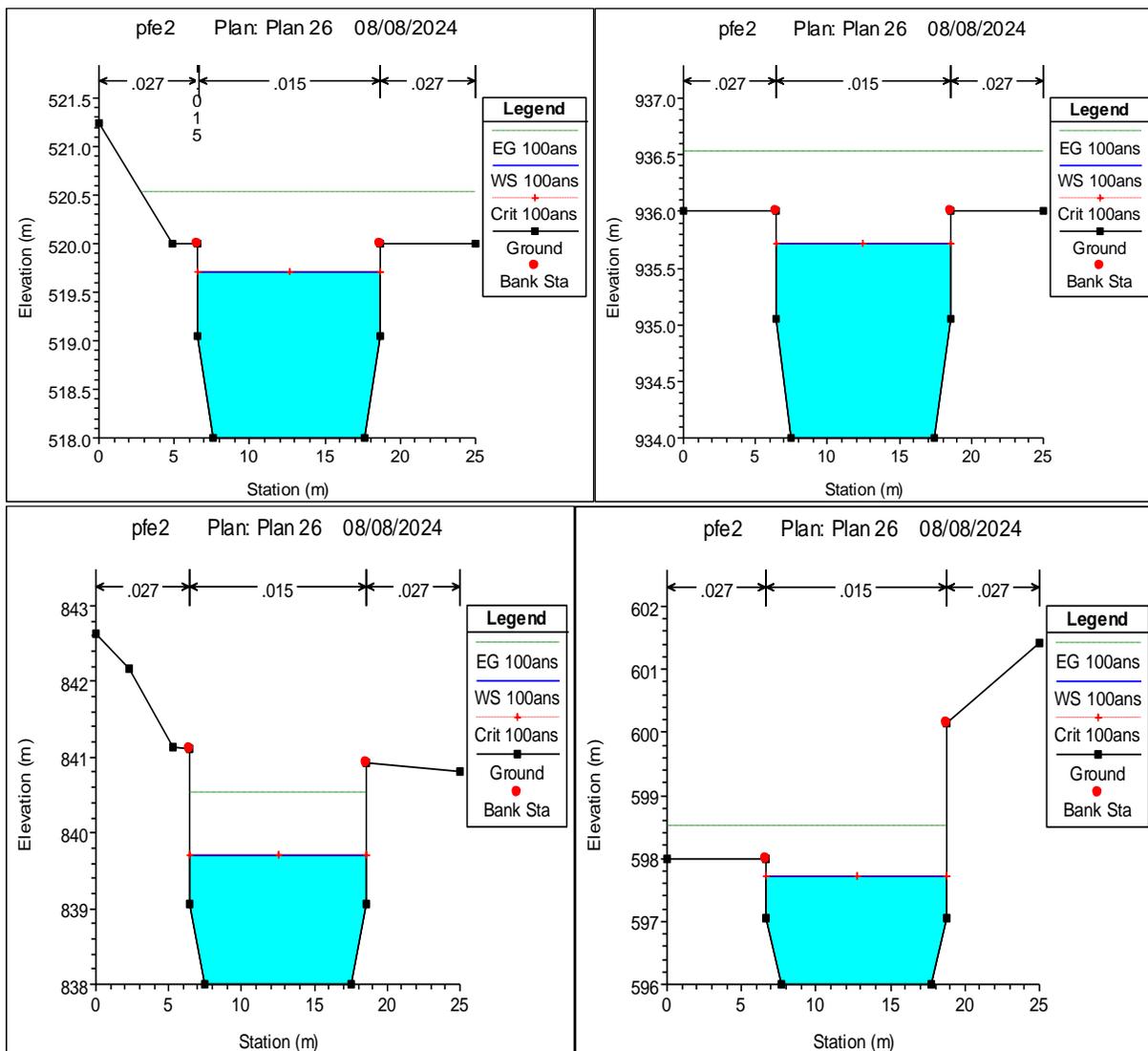


figure IV-5 : Profil en travers de 4 station avec le canal en béton

IV.4.1.2 Caractéristique du canal trapézoïdale en béton

Tableau IV-2: caractéristique de canal trapézoïdale en béton

Paramètre	Symbole	Valeur
Type de section	/	Trapézoïdale
Largeur au fond	b	10
Fruit de talus	m	2
Tirant d'eau (m)	Y	1
La pente(%)	I	1
La rugosité	n	0.015
Débit(m ³ /s)	Q	78.47

- Résultats de calcul de la variante 1

Tableau IV-3: résultat de calcul de la variante 1

Paramètres	Valeur
Débit Q (m ³ /s)	78.47
Largeur au miroir B (m)	12.10
Section S (m ²)	19.59
Hauteur critique y _c (m)	1.62
La vitesse V (m/s)	4
Nombre de Froude Fr	1.01
Régime d'écoulement	Torrentiel

En se basant sur les résultats du tableau, on peut remarquer que :

- ✓ Selon les valeurs du nombre de Froude, il est notable que le régime d'écoulement est torrentiel lorsque $Fr > 1$.
- ✓ La vitesse d'écoulement ne dépasse pas 6.83 m/s, ce qui élimine tout risque d'érosion du béton.
- ✓ Sur le plan technique, le canal en béton armé de forme trapézoïdale offre une protection satisfaisante.

IV.4.1.3 Conception du canal en béton

Dans cette variante, le béton est l'élément principal du canal trapézoïdal. L'épaisseur du béton pour le radier et les côtés du canal est de 30 cm, tandis que l'épaisseur du béton de propreté est de 10 cm. La figure suivante illustre les dimensions d'une section transversale d'un canal trapézoïdal.

Tableau IIV-4: les épaisseurs du béton .

	Epaisseur	Unité
Béton e _b	0.3	m
Béton de propreté e _{bp}	0.1	m

Calcul des sections du béton

$$A=L \cdot l$$

$$L_{\text{talus}}= Y\sqrt{1 + m^2}$$

$$\text{Hauteur de béton : } Y=y_c+R = 1.62 + 0.3 = 1.92 \text{ m}$$

Tableau IIV-5: section du béton du canal

		L (m)	l(m)	A(m ²)
Béton	Fond	3000	10	30000
	Talus droit	3000	6.07	18210
	Talus gauche	3000	6.07	18210

Béton de propreté	Fond	3000	10	30000
-------------------	------	------	----	-------

Tableau IV-6: volume de béton

		A (m2)	e	V (m3)	Vtotale (m3)
Beton	Fond	30000	0.3	9000	19926
	Talus droit	18210	0.3	5463	
	Talus gauche	18210	0.3	5463	
Béton de propreté	Fond	30000	0.1	3000	3000

- **Volume des déblais et remblais**

Pour calculer les volumes de déblai et de remblai d'un canal trapézoïdal en enrochement avec HEC-RAS, configurez d'abord les conditions aux limites en amont et en aval, puis exécutez la simulation hydraulique pour déterminer les hauteurs d'eau, les vitesses, et les débits. Cela permettra à HEC-RAS de calculer automatiquement les volumes de déblai et de remblai nécessaires, assurant ainsi une analyse précise et une planification efficace des travaux de terrassement.

Tableau IV-7: Volume des déblais et remblais

	Volume
Déblais	93797
Remblai	92

IV.4.1.4 Estimation du cout de la variante 1

Tableau IV-8: devis quantitatif estimatif de la variante 1

N	Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix Unitaire (DA)	Montant (DA)
1	Déblais	m ³	93797	300	27 539 100
2	Remblai	m ³	92	700	64 400
3	Beton	m ³	19926	30000	597 780 000
4	Béton de propreté	m ³	3000	8000	24 000 000
				HT (DA)	649 383 500
				TVA (%)	19
				TTC (DA)	772 766 365

Interprétation des résultats :

Cette variante proposée concerne la conception d'un canal trapézoïdale en béton avec une largeur de fond de 10 m. En utilisant l'équation de Manning-Strickler, nous avons calculé

les dimensions afin de gérer un débit de $78.47 \text{ m}^3/\text{s}$. La profondeur de projet pour cette variante est de $1,41 \text{ m}$. La vitesse de l'eau est de 4m/s , et le régime d'écoulement est torrentiel, avec un nombre de Froude est de 1.01 . Les résultats montrent que les dimensions calculées permettent le passage de la crue en régime d'écoulement torrentiel, en raison de la rugosité du canal en béton, ce qui se reflète dans la vitesse et le nombre de Froude.

IV.4.2 Variante 2 : canal trapézoïdale en enrochement

IV.4.2.1 Canal trapézoïdale

La deuxième variante proposée consiste en la construction d'un canal en enrochement à profil trapézoïdal. Sa géométrie a été choisie pour sa grande capacité à évacuer les eaux et à permettre le passage des crues sans problème. Pour cette variante, nous avons opté pour une largeur de fond de $b = 10 \text{ m}$ et un coefficient de rugosité de $n = 0,035$ (enrochement).

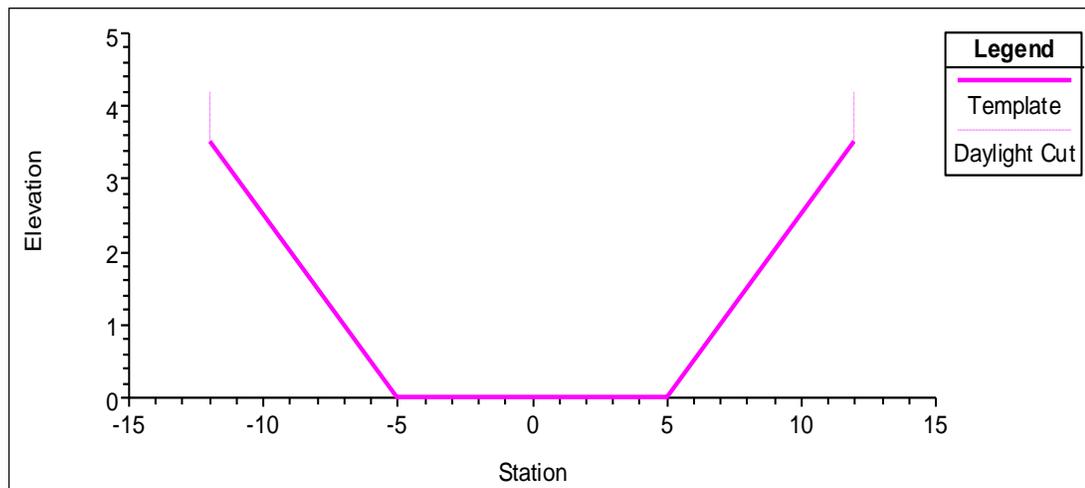


figure IV-6 : Schéma en travers du canal en enrochement

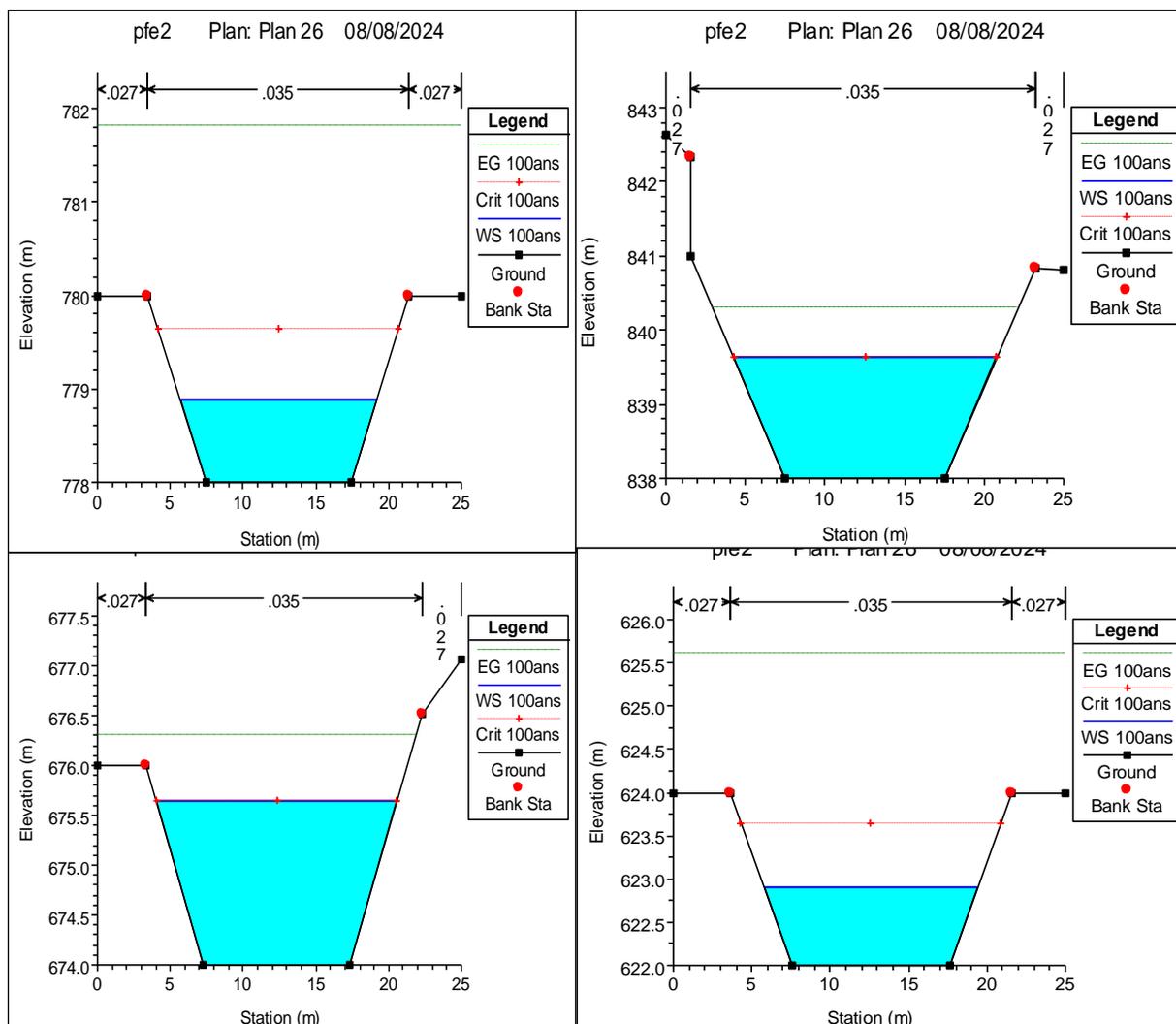


figure IV-7: profil en travers de 4 stations avec le canal en enrochement

Les tableaux suivants présentent les dimensions et les résultats des calculs pour le canal de la variante 2.

Tableau IIV-9: caracteristique du canal en enrochement

Paramètre	Symbole	Valeur
Type de section	/	Trapézoïdale
Largeur au fond	b	10
Fruit de talus	m	2
Tirant d'eau (m)	Y	3.01
La pente(%)	I	1
La rugosité	n	0.035
Débit(m3/s)	Q	78.47

- Résultats de calcul de la variante 2

Tableau IV-10: résultat de calcul de la variante 2

Paramètres	Valeur
Débit Q (m ³ /s)	78.47
Largeur au miroir B (m)	16.55
Section S (m ²)	21.75
Hauteur critique y _c (m)	1.31
La vitesse V (m/s)	3.61
Nombre de Froude Fr	1
Régime d'écoulement	Torrentiel

IV.4.2.2 Conception du canal en enrochement

L'enrochement est une technique couramment employée pour stabiliser les berges et le fond d'un canal. Elle consiste à empiler des roches de carrière, en formant une pente de talus relativement douce, généralement comprise entre 3/2 et 2/1, pour les enrochements libres sans liaison en béton. Le tonnage estimé nécessaire pour le projet d'enrochement de oued El Had, visant à protéger la ville de Bouinane contre les crues, varie entre 1 et 1.5 tonnes. Les roches enrochées ont un diamètre médian D50 d'environ 1 mètre .

Calcul des sections d'enrochement

Epaisseur orthogonale théorique t_d (m) :

$$T_d = n \cdot D_{50}$$

Volume globale de dimensionnement $\vartheta b \cdot d$ (m³) :

$$\vartheta b \cdot d = A \cdot t_d$$

Avec :

- ✓ n: nombre de couche n = 1.
- ✓ D50 : Diamètre médian D50 = 1 m.
- ✓ A : Aire (surface) (m²).

$$A = L \cdot l$$

$$L_{\text{talus}} = Y \sqrt{1 + m^2}$$

$$\text{Hauteur de l'enrochement : } Y = y_c + R = 1.31 + 0.3 = 1.61 \text{ m}$$

Tableau IV-11: sections d'enrochement du canal de la variante 2

	L(m)	L(m)	A(m ²)
Fond	3000	10	30000
Talus droit	3000	5.1	15300

Talus gauche	3000	5.1	15300
--------------	------	-----	-------

Calcul des volumes d'enrochement de la variante 2

Tableau IIV-12: volume d'enrochement de la variante 2

	n	D50(m)	Td(m)	A(m2)	V(m3)
Fond	1	1	1	30000	30000
Talus droit	1	1	1	15300	15300
Talus gauche	1	1	1	15300	15300

Calcul des sections du géotextiles de la variante 2

Tableau IV-13: section du geotextile de la variante 2

	A(m2)	Totale (m2)
Fond	30000	606000
Talus droit	15300	
Talus gauche	15300	

- **Volume des déblais et remblais**

Tableau IV-14: volume des déblais et remblais

	Volume (m3)
déblais	104283
remblais	0

IV.4.2.3 Estimation du cout de la variante 2

Tableau IV-15: devis quantitatif estimatif de la variante 2

N	Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix Unitaire (DA)	Montant (DA)
1	Déblais	m ³	104283	300	31 284 900
2	Remblai	m ³	0	700	0
3	Enrochement	m ³	606000	10000	606 000 000
4	Géotextile	m ³	606000	3000	181 800 000
				HT (DA)	7 909 284 900
				TVA (%)	19
				TTC (DA)	2 163 420 000

IV.4.2.4 Interprétation de la variante 2

La deuxième variante proposée consiste en la conception d'un canal trapézoïdal en enrochement, avec une largeur de fond b de 10 m. En utilisant l'équation de Manning-Strickler,

nous avons calculé ses dimensions pour un débit de 78.47 m³/s. La profondeur de projet pour la variante 2 est de 3.01 m, et la vitesse de l'eau est de 3.61 m/s, indiquant un régime d'écoulement torrentiel. Les calculs montrent que cette configuration assure le passage de la crue avec un régime torrentiel, et les dimensions calculées pour le canal trapézoïdal proposé à l'oued El Had sont les plus adéquates pour la protection contre les crues centennales.

IV.4.3 Variante 3 : canal en gabion avec fond en matelas reno

La troisième variante consiste en la conception d'un canal en escalier fait de gabions avec un fond en matelas Reno.

Les gabions sont des cages rectangulaires ou cylindriques en treillis métallique remplies de pierres ou de galets. Les dimensions de ces cages sont de 1x1x1 m, et le diamètre des roches varie entre 10 et 40 cm. Ils sont utilisés pour diverses applications, notamment :

- **Stabilisation des pentes** : Empêcher l'érosion des pentes ou des talus.
- **Renforcement des berges** : Protéger les rives des cours d'eau contre l'érosion.
- **Murs de soutènement** : Servir de murs de soutien pour des remblais ou des infrastructures routières.
- **Applications paysagères** : Améliorer l'esthétique et la fonctionnalité des aménagements paysagers.
- **Matelas Reno**

Les matelas Reno sont similaires aux gabions, mais ils sont beaucoup plus minces et plus larges, formant ainsi une structure plate. Ils sont utilisés pour :

- **Revêtement de protection** : Couvrir les surfaces exposées pour prévenir l'érosion, souvent sur les lits de rivières ou les berges.
- **Contrôle de l'érosion** : Protéger les talus contre l'érosion superficielle.
- **Stabilisation de fondations** : Utiliser dans les lits de rivières ou les zones humides pour stabiliser le sol.

Dans notre cas, nous allons utiliser des gabions avec un diamètre de 100-200 mm ($d_{50}=150$ mm) et un fond en matelas Reno avec un diamètre médian ($d_{50}=125$ mm) avec une vitesse limite de 5m/s et une vitesse admissible de 6.5m/s. Le coefficient de rugosité n est de 0,035 s/m^{1/3}, ce qui donne $KS=28,57$ m^{1/3}/s.



figure IV-8: canal en gabion avec fond en matelas reno

Tableau IV-16: caractéristique du canal en enrochement

Paramètre	Symbole	Valeur
Type de section	/	Canal en gabion
Largeur au fond	b	10
La pente(%)	I	1
La rugosité	n	0.03
Débit(m ³ /s)	Q	78.74
Nombre d'étage	k	2

• Simulation et vérification des condition d'écoulement

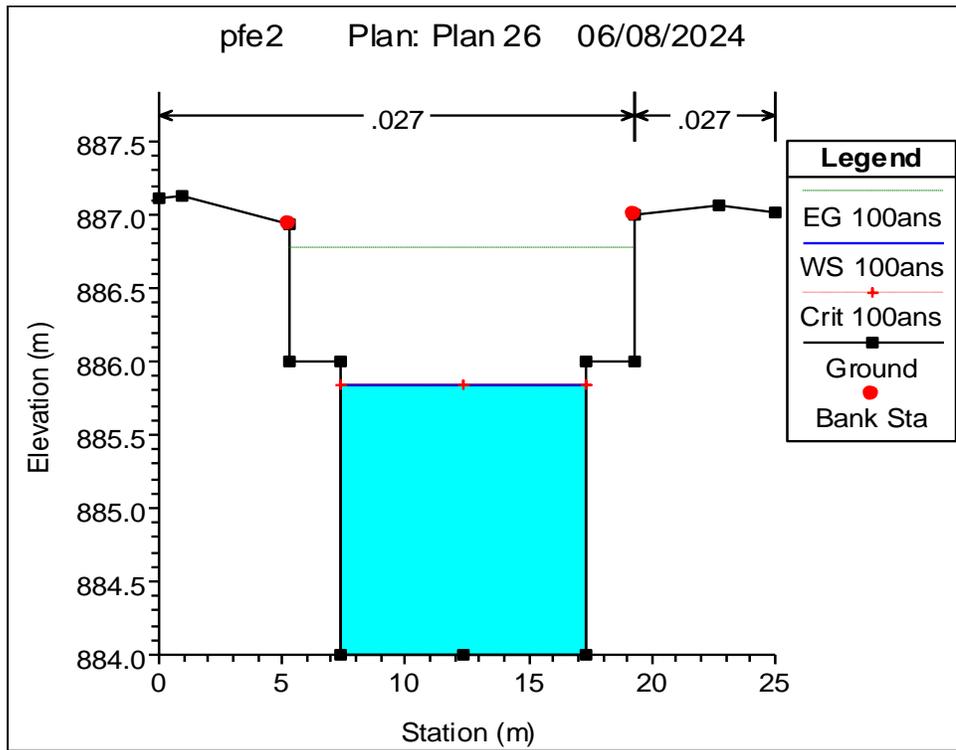


figure IV-9 : profil en travers d'une station avec un canal en gabion

figure IV.3 État d'écoulement à travers la section d'arrivée

- Résultats de calcul de la variante 3 :

Tableau IIV-17: résultat de calcul de la variante 3

Paramètres	Valeur
Débit Q (m ³ /s)	78.47
Largeur au miroir B (m)	10
Section S (m ²)	18.32
Hauteur critique y _c (m)	1.83
La vitesse V (m/s)	4.28
Nombre de Froude Fr	1.01
Régime d'écoulement	Torrentiel

- La vitesse le long du canal est de 4.28 m/s qui reste inférieur à la vitesse admissible.
- Le nombre de Froude reste supérieure à 1 indiquant un régime torrentiel au long du canal

IV.4.3.1 Conception du canal en gabion

Volume du gabion et matelas renos :

Les gabions peuvent être placés le long des berges du canal, et les matelas Reno peuvent être utilisés pour couvrir le fond du canal. On aura

1. Calcul du Volume des Matelas Reno

$$V_{\text{matelas}} = \text{largeur} \times \text{longueur} \times \text{épaisseur}$$

$$V_{\text{matelas}} = 10\text{m} \times 3000\text{m} \times 2\text{m} = 60000\text{m}^3$$

2. Calcul du Volume des Gabions

$$V_{\text{gabion}} = \text{largeur} \times \text{profondeur} \times \text{hauteur}$$

$$V_{\text{gabion}} = 2\text{m} \times 2\text{m} \times 2\text{m} = 8\text{m}^3$$

- a. Nombre de Gabions par Étages le Long du Canal:

$$N_{\text{gabions par etage}} = \text{longueur du canal} / \text{longueur d'un gabion} = 3000 / 2 = 1500 \text{ gabions}$$

- b. Nombre Total de Gabions (tous étages confondus):

$$\text{Nombre d'étages} = 2$$

$$N_{\text{total gabions}} = N_{\text{gabions par etage}} \times N_{\text{etages}} = 1500 \times 2 = 3000 \text{ gabions}$$

- c. Volume Total des Gabions

$$V_{\text{total gabions}} = N_{\text{total gabions}} \times V_{\text{gabion}} = 3000 \times 8 = 24000 \text{ m}^3$$

- **Volume des déblais et remblais**

Tableau IIV-18: volume des déblais et remblais

	Volume (m3)
déblais	7484
remblais	3140

IV.4.3.2 Estimation du cout de la variante

Tableau IIV-19: devis quantitatif estimatif de la variante 2

N	Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix Unitaire (DA)	Montant (DA)
1	Déblais	m ³	7484	300	2 245 200
2	Remblai	m ³	3140	700	2 198 000
3	Gabion	m ³	24000	5000	120 000 000
4	Matelas renos	m ³	60000	6000	360 000 000
				TTC (DA)	484 443 200

	TVA (%)	19
	TTC (DA)	576 487 408

IV.4.3.3 Interprétation de la variante 3

La troisième variante proposée consiste en la conception d'un canal en gabion avec un fond en matelas renos, avec une largeur de fond b de 10 m. En utilisant l'équation de Manning-Strickler, nous avons calculé ses dimensions pour un débit de 78.47 m³/s. La profondeur de projet pour la variante 3 est de 1.83 m, et la vitesse de l'eau est de 4.28 m/s, indiquant un régime d'écoulement torrentiel. Les calculs montrent que cette configuration assure le passage de la crue avec un régime torrentiel.

Pour estimer le coût de la variante 3, nous avons calculé les volumes de déblais, de remblais, des gabion, ainsi que la quantité de matelas renos nécessaires pour la réalisation du canal. Cette variante est plus économique que les deux premières (variante 1 et variante 2).

IV.4.4 Variante adoptée pour l'aménagement de oued El Had

Le choix de la variante d'aménagement de l'oued El Had est une décision cruciale qui nécessite une évaluation approfondie des caractéristiques de chaque option. Il est important de comparer les variantes proposées afin de sélectionner la plus appropriée. Ce choix dépend de plusieurs facteurs, notamment l'objectif principal du projet, qui est de concevoir un aménagement efficace pour protéger la ville de Bouinane contre les crues centennales, tout en minimisant autant que possible les opérations de démolition ou de délocalisation des riverains.

Dans le cadre de l'aspect technico-économique et la protection de la ville contre les inondations et après élaboration, on opte pour la variante numéro 3. Compte tenu que cette dernière assure une meilleure protection envers les citoyennes et une meilleure évacuation (drainage) des bassins versants de la zone

La variante 3 est la plus économique par rapport aux deux premières variantes (variante 1 et variante 2).

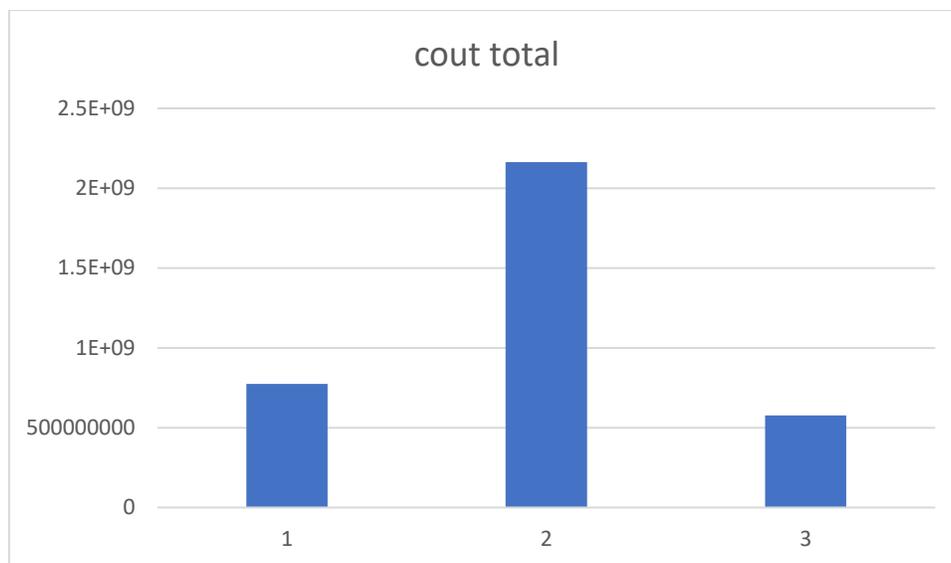


figure IV-10: histogramme présentant les couts des variantes

En combinant les gabions et les matelas Reno, on peut créer un système de protection durable et efficace qui renforce la stabilité et la résilience d'un canal face aux défis environnementaux.

IV.5 Conclusion

En conclusion, l'étude technico-économique réalisée pour oued El Had a permis d'examiner trois options d'aménagement visant à protéger les zones urbaines des inondations. Après une analyse approfondie, une évaluation des différentes solutions a été effectuée pour choisir la plus adaptée.

Le choix final s'est porté sur l'installation d'un canal en gabions avec un fond en matelas Reno, en raison des méandres présents dans le cours d'eau. Cette option s'est avérée efficace pour limiter l'érosion sur les berges extérieures et réduire l'accumulation de sédiments sur les berges intérieures, contribuant ainsi à la stabilité à long terme du cours d'eau.

L'utilisation de gabions avec un fond en matelas Reno présente de nombreux avantages : elle offre une grande fiabilité et durabilité, facilite l'installation, assure une perméabilité optimale permettant un drainage naturel, ralentit considérablement la vitesse de l'eau pour disperser l'énergie, et s'intègre harmonieusement dans le paysage naturel.

Ainsi, la solution du canal en gabions avec un fond en matelas Reno s'est révélée être la plus pertinente, tant sur le plan technique qu'environnemental, en fournissant une réponse équilibrée et durable aux défis de protection contre les inondations dans cette région spécifique de la ville de Bouiane.

CHAPITRE V :

ETUDE DETAILLEE DE LA VARIANTE D'AMENAGEMENT ADOPTEE

V. Chapitre V

ETUDE DETAILLEE DE LA VARIANTE D'AMENAGEMENT ADOPTEE

V.1 Introduction

Ce chapitre porte sur l'étude approfondie de la solution choisie pour l'aménagement de l'oued El Had, à savoir la construction d'un canal en gabion avec fond en matelas renos. Cette approche vise principalement à maîtriser les crues centennales pour garantir la sécurité des habitants et la protection de leurs biens le long de ce cours d'eau, situé dans la ville de Bouinane, dans la wilaya de Blida.

V.2 Détails de la variante adoptée

Dans cette section, nous présenterons en détail la solution d'aménagement choisie pour protéger la ville de Bouinane des risques d'inondations de oued El had. Cette solution consiste à concevoir un canal en gabion avec fond en matelas renos, sélectionné après une analyse technico-économique approfondie. Dans les sections suivantes, nous aborderons les principales caractéristiques de cette variante, notamment les dimensions du canal et les quantités de matériaux nécessaires pour sa réalisation.

V.2.1 Détails de conception

Tableau V-1: détails de la variante adoptée

Paramètre	Symbole	Valeur
Type de section	/	Canal en gabion
Largeur au fond	b	10
La pente(%)	I	1
La rugosité	n	0.03
Débit(m ³ /s)	Q	78.74
Nombre d'étages	k	2
Largeur au miroir	B	10
Section (m ²)	S	18.32
Hauteur critique (m)	yc	1.83
La vitesse (m/s)	V	4.28
Nombre de Froude	Fr	1.01
Régime d'écoulement	/	Torrentiel

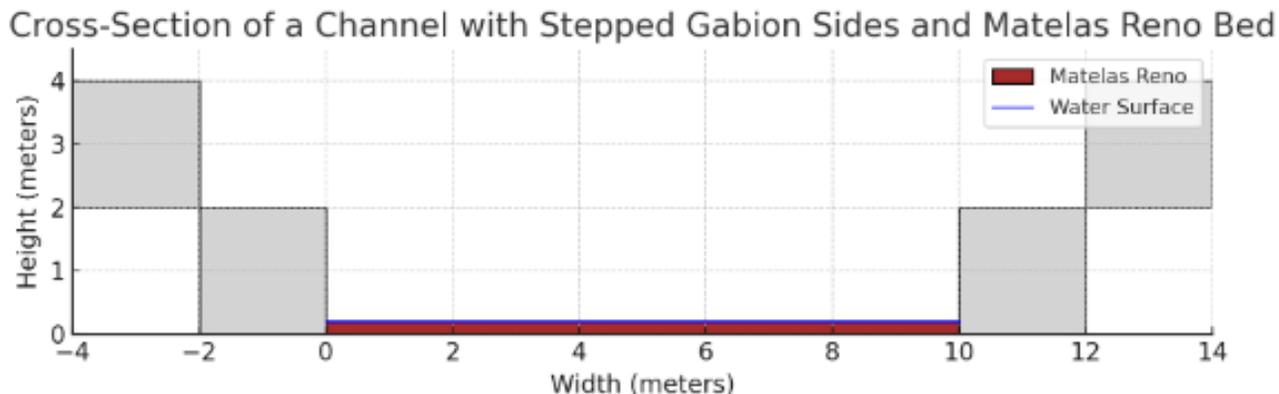


figure V-1: schéma représentatif du canal

V.2.1.1 Modélisation hydraulique et simulation

Voici les dimensionnement sur hecras

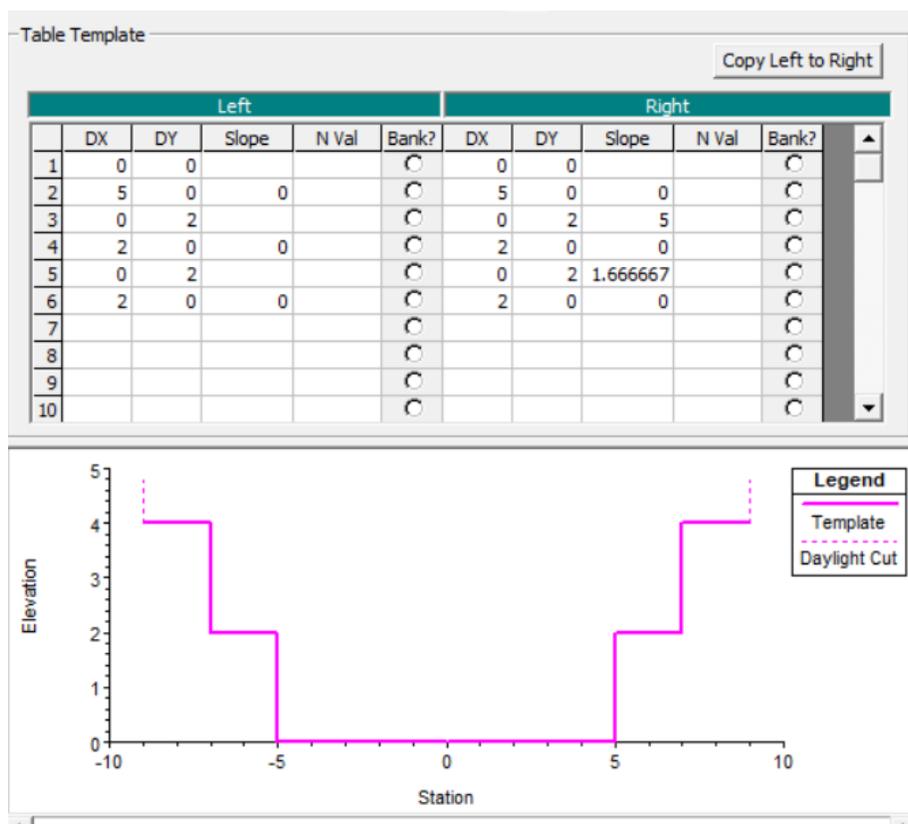


figure V-2 : détails des caractéristiques des gabions

La modélisation et la simulation hydraulique sont des étapes essentielles de notre étude approfondie pour la variante choisie dans le projet d'aménagement de l'oued El Had. L'objectif principal de cette phase est de vérifier la capacité de notre conception à gérer les crues centennales tout en garantissant la sécurité des habitants de la commune de Bouinane.

Pour ce faire, nous avons utilisé le logiciel HEC-RAS afin de créer un modèle hydraulique représentatif de la zone d'étude, en nous basant sur des données topographiques du terrain et d'autres paramètres spécifiques au projet. Nous avons conçu le canal sur l'ensemble de l'oued El Had, des tronçons amont aux tronçons aval, couvrant toute la longueur du projet.

Après avoir importé le modèle du canal dans HEC-RAS, nous avons intégré les données et paramètres relatifs à notre projet, tels que le débit aménagé par le canal. La simulation a ensuite été lancée, et les résultats obtenus sont les suivants :

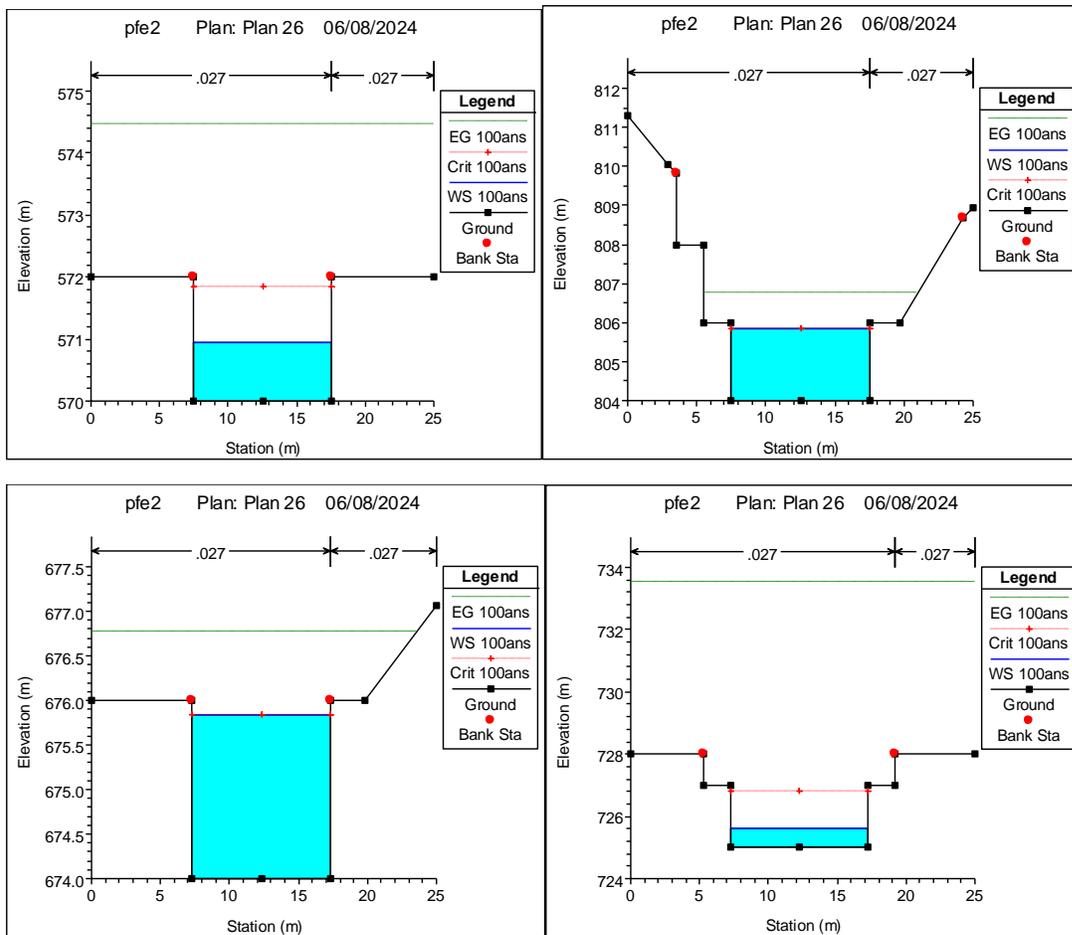


figure V-3 : resultat de la simulation

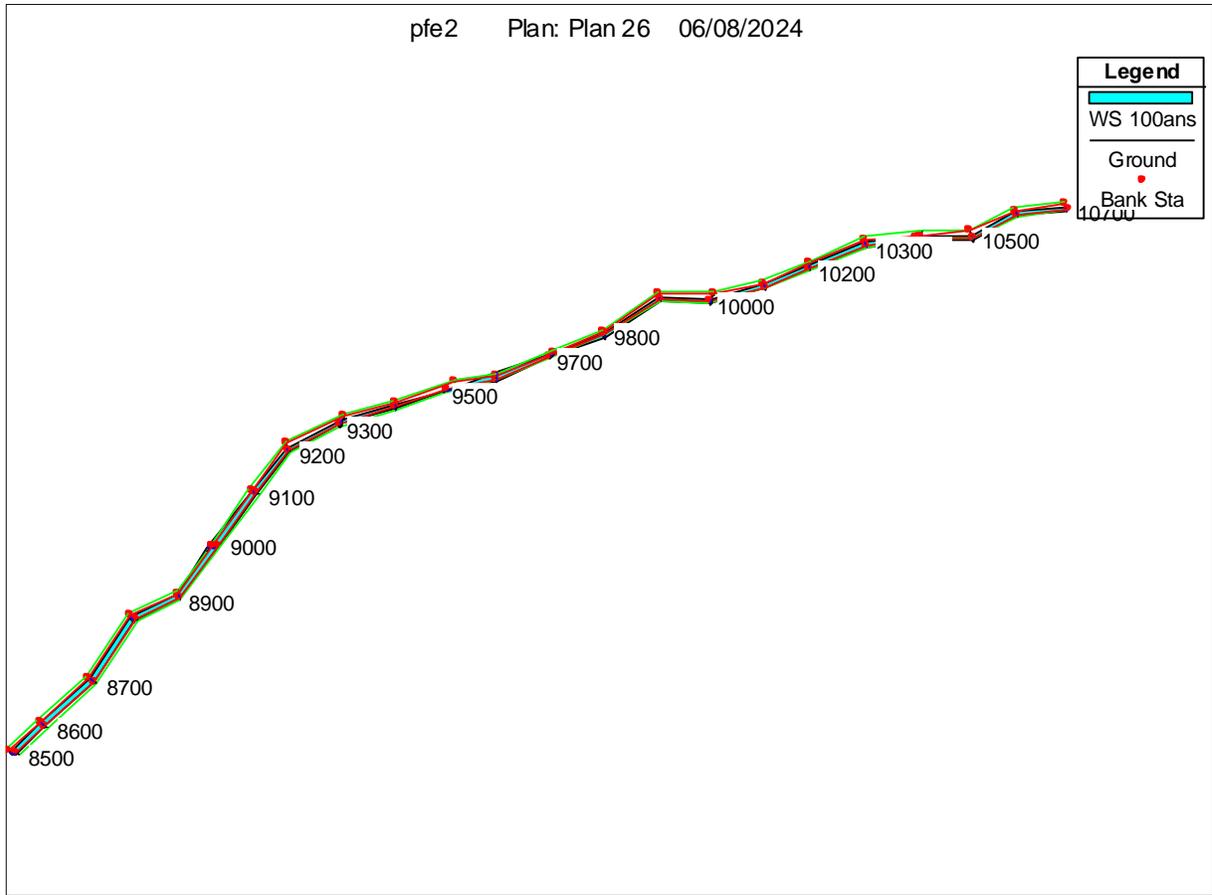


figure V-4: vue 3d sur la zone d'aménagement

Voici les resultat de calculs hydraulique sur hecras

Tableau V-2 : principaux parametre hydraulique de oued El Had après l'amenagement

HEC-RAS Plan: plan 25 River: oued el had Reach: 1 Profile: 100ans												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
1	11500	100ans	78.47	930.00	932.04	932.04	932.78	0.008886	3.81	20.60	14.00	1.00
1	11400	100ans	78.47	934.00	935.84	935.84	936.77	0.008896	4.26	18.42	10.00	1.00
1	11300	100ans	78.47	931.00	932.06	932.84	934.85	0.047556	7.39	10.62	10.00	2.29
1	11200	100ans	78.47	921.00	921.76	923.06	927.14	0.132930	10.27	7.64	10.00	3.75
1	11100	100ans	78.47	908.00	909.84	909.84	910.77	0.008885	4.26	18.43	10.00	1.00
1	11000	100ans	78.47	884.00	885.84	885.84	886.77	0.008927	4.26	18.40	10.00	1.00
1	10900	100ans	78.47	868.00	868.47	869.85	882.60	0.620839	16.65	4.71	10.00	7.74
1	10800	100ans	78.47	856.00	856.87	857.84	861.01	0.088115	9.01	8.71	10.00	3.08
1	10700	100ans	78.47	838.00	838.62	839.84	846.68	0.252766	12.57	6.24	10.00	5.08
1	10600	100ans	78.47	830.00	830.98	831.84	834.26	0.061183	8.02	9.79	10.00	2.59
1	10500	100ans	78.47	804.00	805.84	805.84	806.77	0.008878	4.26	18.44	10.00	1.00
1	10400	100ans	78.47	804.00	805.84	805.84	806.77	0.008926	4.26	18.40	10.00	1.00
1	10300	100ans	78.47	794.00	794.60	795.84	803.39	0.290598	13.14	5.97	10.00	5.43
1	10200	100ans	78.47	778.00	778.78	779.84	783.98	0.126182	10.10	7.77	10.00	3.66
1	10100	100ans	78.47	752.00	753.84	753.84	754.77	0.008989	4.27	18.36	10.00	1.01
1	10000	100ans	78.47	734.00	735.83	735.83	736.77	0.009025	4.28	18.33	10.00	1.01
1	9900	100ans	78.47	725.00	725.63	726.83	733.53	0.244762	12.45	6.30	10.00	5.01
1	9800	100ans	78.47	701.00	702.83	702.83	703.77	0.009040	4.28	18.32	10.00	1.01
1	9700	100ans	78.47	674.00	675.84	675.84	676.77	0.008977	4.27	18.37	10.00	1.01
1	9600	100ans	78.47	652.00	654.12	654.12	654.75	0.007220	3.54	23.06	19.66	0.91
1	9500	100ans	78.47	637.00	637.32	638.47	650.98	0.860190	15.32	4.84	13.22	8.69
1	9400	100ans	78.47	622.00	622.85	623.84	627.18	0.094419	9.21	8.52	10.00	3.19
1	9300	100ans	78.47	596.00	597.84	597.84	598.77	0.008884	4.26	18.43	10.00	1.00
1	9200	100ans	78.47	578.00	578.44	579.84	594.37	0.753258	17.68	4.44	10.00	8.47
1	9100	100ans	78.47	570.00	570.94	571.84	574.47	0.068538	8.31	9.44	10.00	2.73
1	9000	100ans	78.47	544.00	544.11	545.16	558.83	0.439135	5.52	5.20	14.70	5.34
1	8900	100ans	78.47	518.00	519.84	519.84	520.77	0.008863	4.25	18.45	10.00	1.00
1	8800	100ans	78.47	517.00	518.73	518.85	519.78	0.010770	4.54	17.28	10.00	1.10
1	8700	100ans	78.47	490.00	491.84	491.84	492.77	0.008913	4.26	18.41	10.00	1.00
1	8600	100ans	78.47	466.00	467.84	467.84	468.77	0.008895	4.26	18.42	10.00	1.00
1	8500	100ans	78.47	463.00	464.06	464.84	466.85	0.047551	7.39	10.62	10.00	2.29

V.2.2 Etude de stabilité des talus

L'étude de la stabilité des talus est une composante fondamentale de la géotechnique, ayant pour but d'évaluer la résistance des pentes aux forces susceptibles de les déstabiliser. Comprendre la stabilité des talus est essentiel pour garantir la sécurité des infrastructures, des bâtiments et des personnes vivant à proximité. Cette analyse inclut l'examen des propriétés géologiques et géotechniques du sol. Pour réaliser cette évaluation, nous utiliserons le logiciel GeoStudio.

V.2.2.1 Présentation du logiciel GeoStudio

GeoStudio est une suite logicielle puissante dédiée à l'analyse et à la modélisation géotechnique. Développé par Geo-Slope International, ce logiciel est largement utilisé pour l'évaluation de la stabilité des sols et des structures, la conception de projets géotechniques et la gestion des risques associés aux terrains.

Principales Fonctionnalités

1. Modélisation des Talus et de la Stabilité des Pentés

- **Stabilité des Talus** : Évaluation de la stabilité des pentes naturelles ou artificielles pour déterminer la sécurité des talus.
- **Analyse des Glissements de Terrain** : Identification des zones à risque et estimation des facteurs de sécurité.

2. Hydro-Géotechnique

- **Analyse de l'Écoulement de l'Eau dans les Sols** : Simulation du comportement de l'eau dans les sols pour évaluer les impacts sur la stabilité et la durabilité des structures.

3. Analyses de Sécurité

- **Évaluation des Risques** : Analyse des risques associés aux projets de construction et recommandations pour améliorer la sécurité.

Avantages de GeoStudio

- **Interface Intuitive** : Une interface utilisateur conviviale qui facilite la création et la gestion de modèles géotechniques complexes.
- **Modélisation Avancée** : Outils sophistiqués pour la modélisation et l'analyse de divers scénarios géotechniques.
- **Rapports et Visualisations** : Génération de rapports détaillés et visualisations graphiques pour une meilleure interprétation des résultats.
- **Intégration des Données** : Capacité à importer des données géologiques et topographiques pour des analyses précises.

V.2.2.2 Facteur de sécurité Fs

Le facteur de sécurité (FS) est un indicateur clé dans l'analyse de la stabilité des structures géotechniques, telles que les talus, les digues, les fondations et les murs de soutènement. Il exprime le rapport entre la capacité de résistance de la structure—c'est-à-dire sa capacité à supporter les charges et contraintes—et les forces ou charges appliquées à celle-ci. Le facteur de sécurité est essentiel pour évaluer la stabilité et la sécurité d'une structure.

V.2.2.3 Les étapes de l'étude de stabilité des talus avec SLOPE/W

- **Préparation des Données**

Collecte des Données Géotechniques : Rassemblez toutes les informations nécessaires sur les propriétés du sol, les conditions de chargement et les caractéristiques du talus.

Données Topographiques : Obtenez les relevés topographiques ou les plans du site pour définir la géométrie du talus.

- **Création du Modèle**

Lancement de SLOPE/W : Ouvrez le logiciel SLOPE/W et démarrez un nouveau projet.

Définition de la Géométrie : Dessinez la section du talus en utilisant les outils de modélisation pour représenter la forme du talus et les couches de sol.

- **Définition des Propriétés du Sol**

Assignment des Propriétés Géotechniques : Définissez les propriétés des différentes couches de sol, telles que la cohésion, l'angle de frottement interne, et la densité.

Incorporation des Conditions de Drainage : Si nécessaire, définissez les conditions de drainage et les niveaux de la nappe phréatique.

- **Configuration des Conditions de Chargement**

Détermination des Charges Appliquées : Ajoutez les charges et les forces externes qui agissent sur le talus, telles que les charges de construction, les charges de circulation, ou les pressions de l'eau.

Modélisation des Conditions de Contrainte : Spécifiez les conditions de bord et les contraintes de base pour le modèle.

- **Analyse de Stabilité**

Choix du Méthode d'Analyse : Sélectionnez la méthode d'analyse appropriée pour évaluer la stabilité du talus, telle que la méthode des cercles de rupture ou la méthode de la limite de stabilité.

Exécution de la Simulation : Lancez la simulation pour calculer le facteur de sécurité du talus et évaluer la stabilité.

V.2.2.4 Etude et résultats :

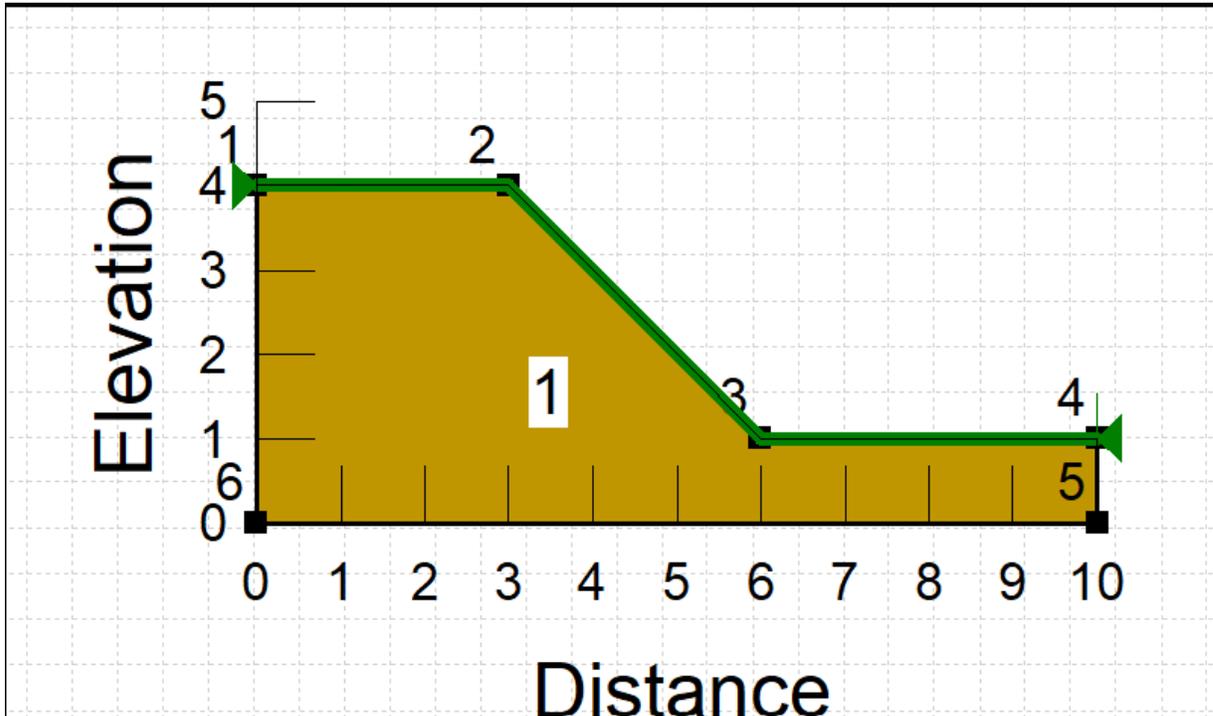


figure V-5 : géométrie du talus

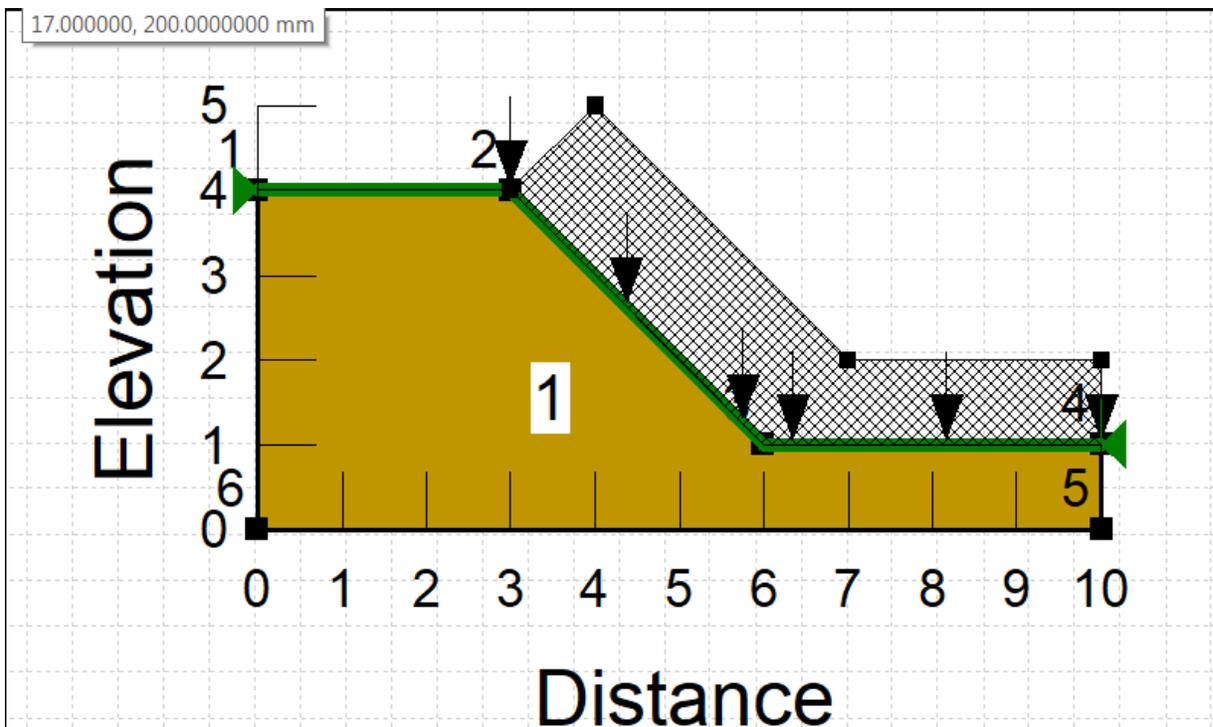


figure V-6 : application des charges des roches.

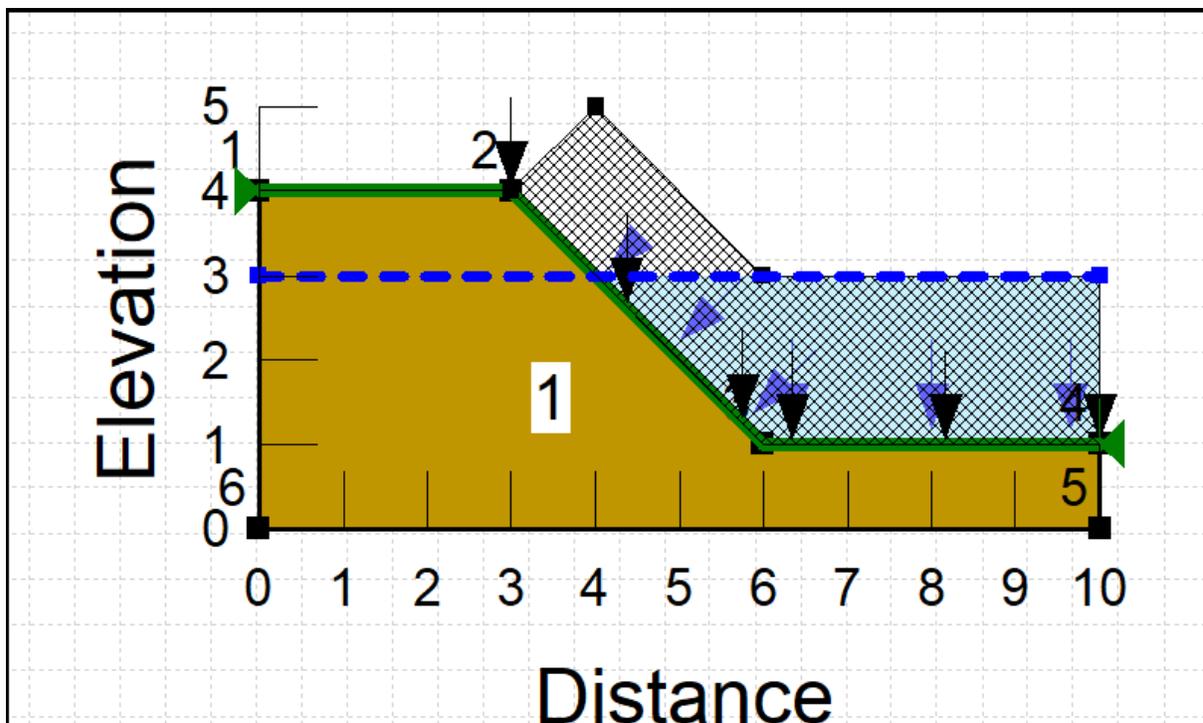


figure V-7 : dessin de la ligne piézométrique

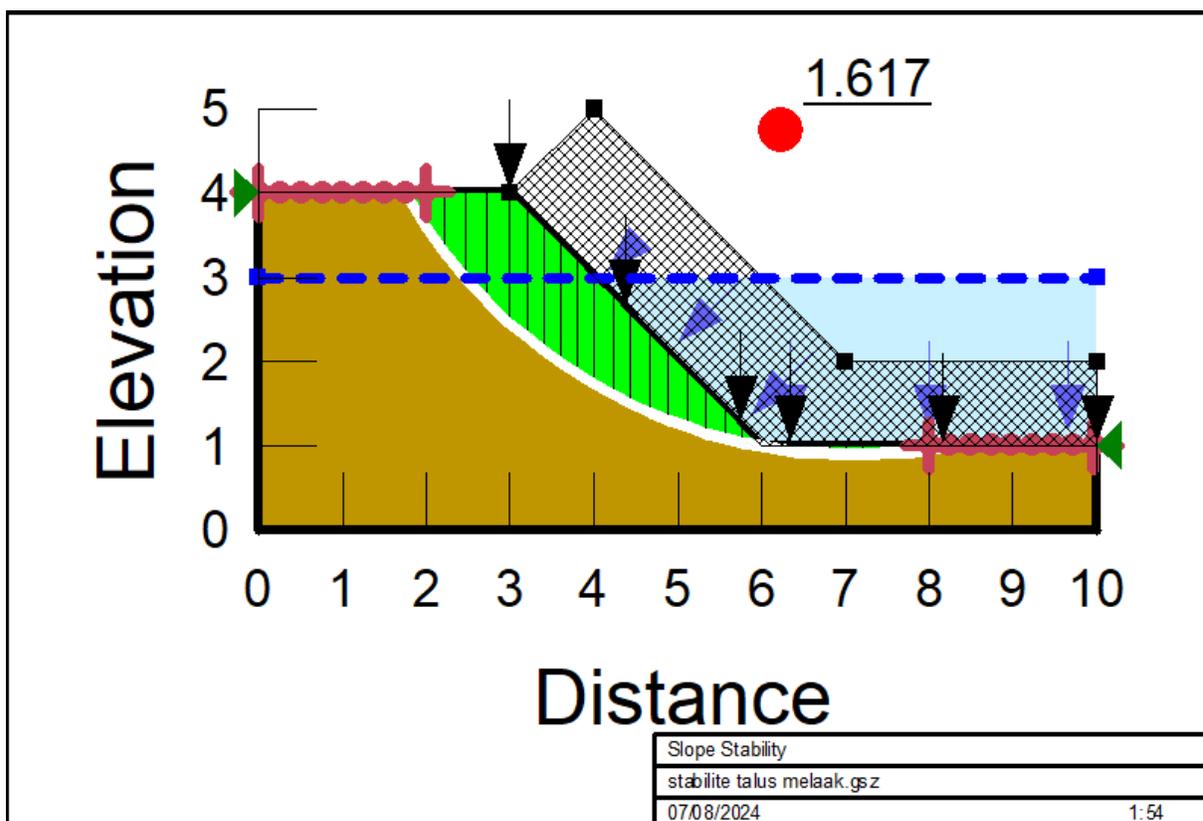


figure V-8: résultats de calcul

Pour l'étude des talus dans notre projet, nous réalisons l'analyse une seule fois en considérant le scénario le plus défavorable.

La ligne piézométrique se situe à 2 mètres au-dessus du fond du talus.

La valeur minimale du facteur de sécurité obtenue est de 1.617 , correspondant à un cercle critique. Il est crucial que ce facteur de sécurité dépasse le facteur de sécurité admissible, qui est de 1,5. Ainsi, avec un FS de 1.617, le talus analysé présente une marge de sécurité satisfaisante par rapport aux conditions de charge ou d'utilisation, ce qui est crucial pour assurer sa stabilité et sa fiabilité.

CHAPITRE VI :

MANAGEMENT DE PROJET

VI. Chapitre VI

MANAGEMENT DE PROJET

VI.1 Introduction

Le management de projet, ou l'organisation de chantier, englobe l'ensemble des mesures mises en place pour élaborer un projet dans des conditions optimales. Elle permet d'utiliser efficacement la main-d'œuvre et les autres ressources disponibles pour gérer le chantier et réaliser le projet tout en garantissant les meilleures conditions de sécurité.

VI.2 Devis quantitatif estimatif du projet

Les prix des différentes tâches à exécuter incluent le coût du décapage de la couche de terre végétale, ainsi que celui des déblais, des remblais, du compactage, du gabionnage du cours d'eau, et du transport des sols excédentaires.

VI.2.1 Calcul de volume des travaux

Volume de la couche de terre végétale est calculé selon la formule suivante

$$V_{cb} = H \cdot B \cdot L$$

Avec :

- V_{cv} : Volume de la couche de terre végétale en (m³).
- H : Profondeur la couche de terre végétale (on prend $H_v = 0,1$ m).
- L : Longueur totale de la tranchée en (m).
- B : Largeur de la couche de terre végétale en (m).

Tableau VI-1 : devis quantitatif et estimatif du projet

N	Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix Unitaire (DA)	Montant (DA)
1	Déblais	m ³	7484	300	2 245 200
2	Remblai	m ³	3140	700	2 198 000
3	Gabion	m ³	24000	5000	120 000 000
4	Matelas renos	m ³	60000	6000	360 000 000
5	Décapage de la couche végétale	m ³	15000	300	4 500 000
				HT (DA)	488 943 200
				TVA (%)	19
				TTC (DA)	581 842 408

Donc le montant total du projet revient à : 581842408.00 da soit, <<**Cinq cent quatre-vingt-un millions huit cent quarante-deux mille quatre cent huit** >>

VI.3 Planification du projet

VI.3.1 Définition :

La planification consiste à rechercher en permanence la manière la plus efficace d'utiliser la main-d'œuvre. Son objectif est de garantir que tout le travail soit effectué de manière :

- Ordonnée (avec une bonne succession des opérations du réseau).
- Ponctuelle (sans retard).
- Économique (avec des bénéfices).

VI.3.2 Technique de planification

il existe deux principales méthodes de planification a savoir :

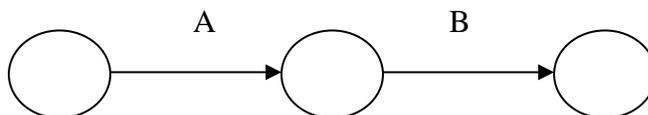
- méthodes basées sur le réseau
- méthodes basées sur le graphique

a. méthodes basées sur le réseau

Définition du réseau

Un réseau est une représentation graphique d'un projet qui illustre les relations entre les différentes opérations nécessaires pour atteindre les objectifs de la planification. Il existe deux types de réseaux :

Réseau a flèches : l'opération est représentée par une flèche et la liaison entre deux opération par un cercle appelé "nœud "



Réseau a nœud : l'opération est représentée par un nœud et la succession des opération par flèches.





L'opération (B) ne peut commencer que si l'opération (A) est achevée

VI.3.3 Construction du réseau

Pour construire un réseau , il faut effectuer les six opérations suivantes :

1. Établissement d'une liste des tâches :

La première étape consiste à faire un inventaire précis et détaillé de toutes les opérations essentielles à la réalisation d'un projet.

2. Détermination des tâches antérieures :

Après avoir dressé la liste des tâches, il n'est pas toujours simple de construire un réseau, car il peut être difficile de décider si les tâches antérieures doivent être exécutées successivement ou de manière convergente.

3. Construction des graphes partiels :

Créez des graphes partiels pour représenter les relations entre certaines tâches.

4. Regroupement des graphes partiels :

Combinez les graphes partiels pour former une vue plus complète du projet.

5. Détermination des tâches de début et de fin :

Identifiez les tâches qui marquent le début et la fin de l'ouvrage.

6. Construction du réseau :

Construisez le réseau complet en utilisant les informations des étapes précédentes.

VI.3.3.1 Méthode C.P.M (méthode du chemin critique)

L'objectif de cette méthode est de réduire les délais de réalisation d'un ouvrage en tenant compte de trois phases :

- 1ère phase : Déterminer l'effectif nécessaire pour effectuer le travail concerné.
- 2ème phase : Analyser systématiquement le réseau, heure par heure, jour par jour, selon l'unité de temps choisie.
- 3ème phase: Adapter le réseau aux conditions ou contraintes fixées par l'entreprise.

VI.3.3.2 Méthode PERT (program evaluation and review technical)

C'est une technique de gestion de projet utilisée pour planifier et coordonner les tâches dans des projets complexes. Elle est particulièrement utile lorsque les temps de réalisation sont incertains.

b. Méthodes basées sur le graphique

Les deux méthodes les plus usitées sont :

- Méthode linéaire (ligne of balance technic)

Cette méthode est destinée à la planification des projets de construction dont les travaux son répétitifs.

- Méthode des barres

Cette technique consiste à déterminer deux réseaux et in diagramme a barres (plan de travail).

VI.3.4 Les étapes de la planification

La planification est le processus qui consiste à organiser la séquence des travaux à réaliser, et elle comprend les étapes suivantes :

- **Collecte d'informations :**

L'établissement d'une synthèse des informations obtenues par des études comparatives permet une utilisation optimale du plan de réalisation de notre projet.

- **Décomposition du projet :**

Cette étape est cruciale car chaque projet peut être analysé de différentes manières. Nous assignons à chaque tâche un responsable et définissons ses besoins en matériel.

- **Relations entre les tâches :**

Deux relations essentielles existent entre les tâches pendant la réalisation : l'une repose sur un enchaînement logique, et l'autre sur un enchaînement préférentiel.

VI.4 Choix de la methode de calcul

Il est préférable dans le cas ou les opérations de suivent comme dans notre cas d'opter pour la méthode C.P.M

VI.4.1 Les paramètres de la méthode C.P.M

Les paramètres indispensables dans l'exécution de cette methode sont les suivants

DCP	TP
DFP	DCPP
DFPP	MT

Avec

- TR : temps de réalisation ;
- DCP : date de commencement au plus tôt ;
- DCPP : date de commencement au plus tard ;
- DFP : date de finition au plus tôt ;
- DFPP : date de finition au plus tard ;
- MT : marge totale.

Et :

- $DFP = DCP + TR$.
- $DCPP = DFPP - TR$.

Un autre parametre très important est le chemin critique CC.

Chemin critique (C.C) :

C'est le chemin qui donne la durée totale du projet (DTR) reliant les opérations possédant la marge totale nulle (0). Donc pour retrouver un chemin critique il suffit de vérifier les conditions suivantes :

- $MT = 0$
- $\sum TR_{cc} = DCP$

VI.4.2 Elaboration du reseau selon la methode C.P.M

Tableau VI-2 : symboles des opérations et leurs durées de réalisation

code	Opérations	Durée (jour)
A	Installation de chantier	15
	Délimitation de zone	7
	Accès aux engins	8
B	Le décapage de la terre végétale	20
	Planification et Préparation	5
	Enlèvement de la Couche Supérieure	15
C	Les travaux de terrassements	40
	Déblais	20
	Remblais	20
D	Compactage	30
E	Gabionnage et matelas renos	60
	Assemblage des gabions et matelas renos	20
	Pose du fond et 1 ^{er} étage	20
	Pose du 2eme étage et finitions	20
F	Travaux de finition	15
	Entretien	7
	Clôture	8



Diagramme de Gantt

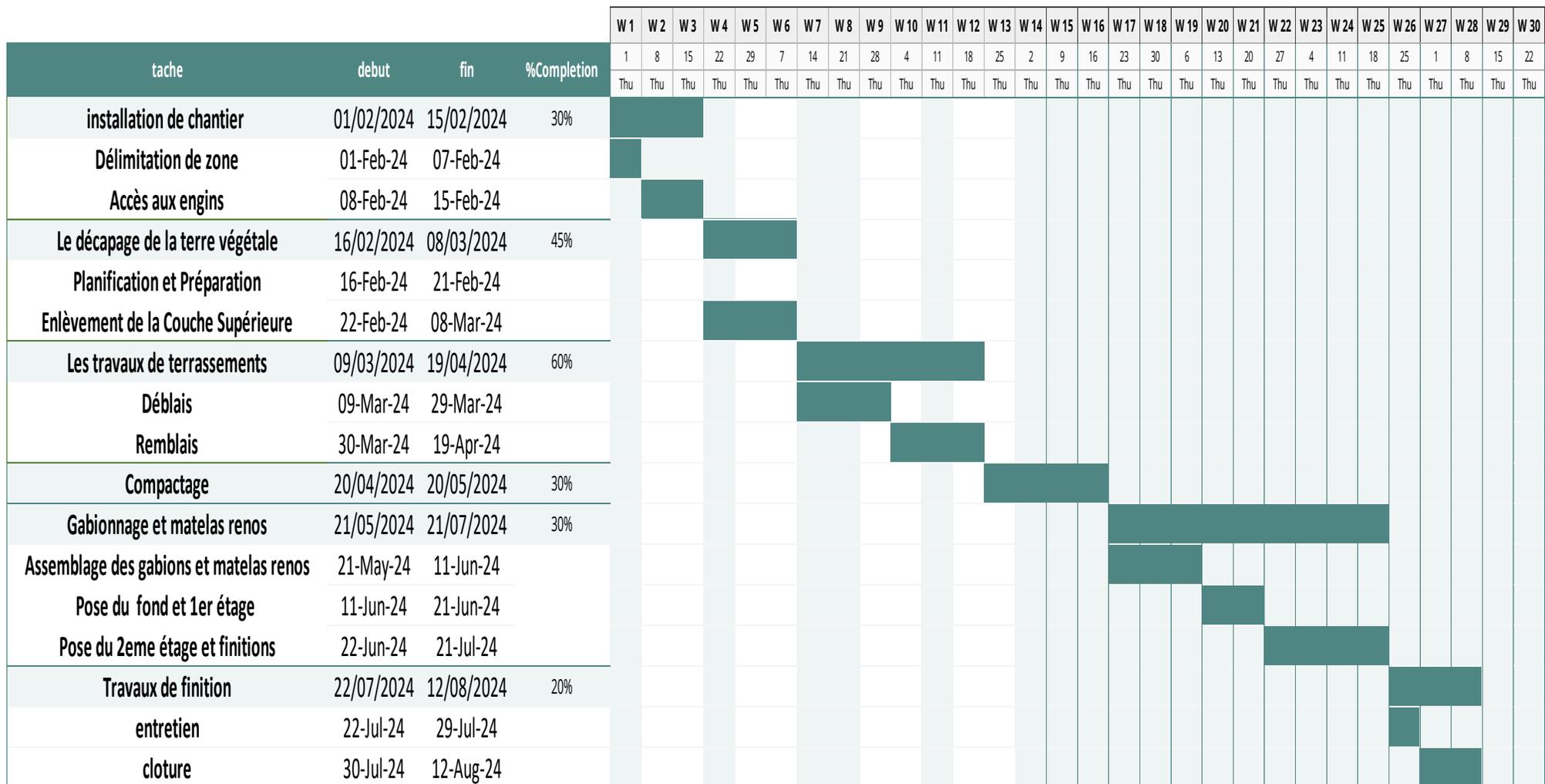


figure VI-1 : diagramme de gantt du projet

VI.5 Conclusion

En conclusion de ce chapitre sur l'organisation du chantier, il est évident que la réussite des travaux, dans le respect des délais et du budget prévus, dépend d'une gestion efficace du temps et d'une coordination optimale des ressources humaines, techniques et matérielles. Le coût total estimé du projet d'aménagement de la ville de Bouinane, s'élevant à 581,842,408.00 DA avec un délai de construction de 6 mois et 12 jours, souligne l'importance cruciale d'une planification rigoureuse pour atteindre l'objectif de livraison dans les délais impartis, sans dépasser les coûts d'investissement initiaux.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de cette étude était de protéger la zone de la nouvelle ville de Bouinane contre les inondations sur une période de retour centennale, tout en proposant l'aménagement du cours d'eau de Oued El Had pour augmenter leur capacité à évacuer ce débit centennial.

La première étape de ce travail consistait à analyser les données nécessaires sur notre zone d'étude du point de vue topographique, géologique, démographique, et hydraulique afin de représenter le bassin versant de la manière la plus précise possible.

Ensuite, nous avons étudié les caractéristiques hydro morphométriques du bassin versant en créant plusieurs types de cartes à l'aide du logiciel ArcGIS. Nous avons déterminé la quantité de précipitations en analysant les pluies maximales journalières, utilisant le logiciel HYFRAN basé sur les mesures satellites GPM et les mesures au sol. Par la suite, nous avons calculé les pluies de courte durée et construit les courbes IDF.

Nous avons ensuite calculé les débits de crue pour nos bassins versants en utilisant des formules empiriques et la méthode SCS-CN du modèle hydrologique HEC-HMS. Les résultats ont montré un débit de crue de 78.47 m³/s pour une période de retour centennale pour l'oued Palm Beach, et des débits de 44,8 m³/s et 79,5 m³/s pour les bassins versants de l'oued El had, respectivement. Avec le logiciel HEC-RAS, nous avons réalisé une simulation hydraulique de l'écoulement et établi une carte des zones inondables du secteur de Bouinane, ce qui nous a permis d'identifier les tronçons à risque en vue de leur aménagement

Enfin, trois variantes d'aménagement ont été proposées pour les différents tronçons. Après une étude technico-économique et écologique, nous avons choisi une variante de canal en gabion avec fond en matelas renos consistant en un reprofilage de la section des cours d'eau . Le montant total du projet a été estimé à 581,842,408.00DA, avec un délai d'exécution de 6 mois et 12 jours.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- AMMARI, Abdelhadi et REMINI, Boualem. (2014). *Vulnérabilité à l'envasement des barrages (cas du bassin Algérois)*. Éditions universitaires européennes.

Disponible sur : https://scholar.google.com/scholar?hl=fr&as_sdt=0%2C5&q=Vuln%C3%A9rabilit%C3%A9+%C3%A0+l%27envasement+des+barrages+%28cas+du+bassin+Alg%C3%A9rois%29&btnG=

- Benlaoukli, B. (2004). Organisation de chantier, la planification des travaux les M.M.O [Working Paper].

Disponible sur : <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/108>

- Boubchir, A. (2008). Risques d'inondation et occupation des sols dans le thore (region de Labruguière et de Mazamet)

Disponible sur : <https://docplayer.fr/8918784-Risques-d-inondation-et-occupation-des-sols-dans-le-thore-region-de-labruguiere-et-de-mazamet.html>

- Bouchelkia, H., & Remini, B. (2003). Quantification du transport solide dans le bassin versant algérien du Chellif. Sciences Eaux & Territoires, 33 Ingénieries-EAT, Article 33 Ingénieries-EAT.

Disponible sur : <https://hal.science/hal-00466014/document>

- Bouguerra, S., Bouanani, A., & Baba-Hamed, K. (2016). Transport solide dans un cours d'eau en climat semi-aride : Cas du bassin versant de l'Oued Boumessaoud (nord-ouest de l'Algérie). Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, 29(3), 179-195.

Disponible sur : <https://doi.org/10.7202/1038923ar>

- Cosandey, C. (1990). L'origine des crues dans les bassins-versants élémentaires : Du ruissellement sur les versants à l'écoulement de crue. Annales de Géographie, 99(556), 641-659.

Disponible sur : <https://www.jstor.org/stable/23452703>

- Degoutte, G., 2006: Diagnostic, aménagement et gestion des rivières Hydraulique et morphologie fluviales appliquées.

- Guillot, & Durand. (1969). La Méthode du gradex pour le calcul de la probabilité des crues à partir des pluies—UNESCO Digital Library.

Disponible sur : <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000014626>

- Helga Jane et Richad 2004 : RISQUE D'INONDATION ET AMÉNAGEMENT DURABLE DES TERRITOIRES
- Houbib, H. (2012). Analyse Multicritères des composantes du Milieu à l'aide des techniques de la géomatique pour un aménagement intégré de la vallée d'Oued Mellagou- Bouhmama W. KHENCHELA [Université El Hadj Lakhdar -Batna].
Disponible sur : <http://eprints.univ-batna2.dz/574/1/sce%20HOUBIB%20hanane.pdf>
- Idrici, A. (2017). Modélisation et simulation numérique d'écoulement d'eau à surface libre avec HEC-ras cas d'oued de Saida.
Disponible sur :
https://butec.univ-saida.dz/admin/opac_css/doc_num.php?explnum_id=523
- KVOČKA Davor, AHMADIAN Reza, FALCONER Roger A., 2018. Flood Hazard Indices in Torrential or Flashy River Basins and Catchments. Water Resour Manage 32, 2335–2352 (2018).
Disponible à l'adresse : <https://doi.org/10.1007/s11269-018-1932-6>
- LEDOUX, Bruno, 2006. La gestion du risque inondation, 770 pages, Edition TEC et DOC, 2006.
- Menad, W. (2019). Approche modèle pour une prise en charge globale des risques hydrologiques dans le bassin méditerranéen. Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, 88, 21.
Disponible sur : <https://doi.org/10.25518/0037-9565.8402>
- M.E.D.D (2004), (Ministère de l'écologie et du développement durable) France, direction de la Prévention des pollutions et des risques, sous-direction de la Prévention des risques majeurs. 2004. Risques naturels majeurs : Les inondations.
- Sedrati, C. (2018). Étude d'une retenue collinaire sur l'oued Charchar, commune de Hadjadj (Mostaganem) [mémoire de fin d'études]. École Nationale Supérieure d'Hydraulique -Arbaoui Abdellah-.
- Strahler, A. N. (1952). HYPSONETRIC (AREA-ALTITUDE) ANALYSIS OF EROSIONAL TOPOGRAPHY. Geological Society of America Bulletin, 63(11), 1117.
Disponible sur : [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2)

- Touaibia Bénina, 2004. Manuel Pratique d'Hydrologie. Presse Madani frères, Blida, Algérie. 166p.
- Touaibia, bénina. (2015). Manuel pratique d'hydrologie (2ème Edition). Disponible sur :
https://ia801004.us.archive.org/19/items/manuelpratiqedhydrologie/Manuel_pratique_d_hydrologie.pdf
- Toumi, A. (2016). Hydraulique à surface libre (cours & exercices). 197.
 Disponible sur :
<https://dspace.univ-guelma.dz/jspui/bitstream/123456789/601/1/H.S.L%28Cours%20%26%20Exercices%29-01.pdf>
- U.S. Army Corps of Engineers, 2016a. HEC-RAS River Analysis System – User's Manual, Hydrologic Engineering Center, CPD-68, Version 5.0. 960p.
 Disponible à l'adresse : <http://www.hec.usace.army.mil/software/>